

ЭЛЕКТР ЖӘНЕ ЭЛЕКТРОНИКА НЕГІЗДЕРІ МЕН ТЕХНОЛОГИЯСЫ

1

ELECTRICAL AND ELECTRONIC PRINCIPLES AND TECHNOLOGY

Fourth edition

John Bird, BSc (Hons), SEng, CSci, CMath, MIEE, FIEE,
FIET, FIMA, FCollT

Қазақстан Республикасы
Білім және ғылым министрлігі

Джон Бёрд

ЭЛЕКТР ЖӘНЕ ЭЛЕКТРОНИКА НЕГІЗДЕРІ МЕН ТЕХНОЛОГИЯСЫ

1

Оқулық

Алматы, 2013

ӘОЖ 621.3=3:111=512.122 (075.8)
КБЖ 31.2 (5Каз-Англ) я 73
Б 45

*Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің «Оқулық»
республикалық ғылыми-практикалық орталығы бекіткен*

*Қазақ тіліне аударғандар:
Маженов Н.А., Смирнов Ю.М., Маженова О.*

Бёрд Дж.
Б 45 **Электр және электроника негіздері мен технологиясы: Оқулық /**
ауд. Н.А. Маженов, Ю.М. Смирнов, О. Маженова. – Алматы, 2013.

ISBN 978-601-7427-23-8
1-бөлім. – 2013. – 468 б.
ISBN 978-601-7427-24-5

Оқулықтың бұл төртінші басылымында теориядан гөрі мысалдар мен есептер көп келтірілген. Оқулықта электротехниканың негізгі заңдары баяндалған. Электрлік өлшеу аспаптарының реостаттар мен транзисторлардың тұрақты және уақытша токпен жұмыс істеу, электроника аспаптары мен құрылғыларының құрылымдары мен сызбалары келтірілген.

Оқулықтың мәтінін меңгеру телекоммуникация, электроника мен электртехника саласында жұмыс істейтін техниктерге, техникалық университеттердің 1, 2-курс студенттеріне, оқушыларға, электр техникасымен айналысатын оқырмандарға электроника мен электртехника саласы үшін кіріспе түрінде пайдалы.

ӘОЖ 621.3=3:111=512.122 (075.8)
КБЖ 31.2 (5Каз-Англ) я 73

© 2000, 2003, 2007, 2010 John Bird.
All rights reserved. Authorised
translation from the English
language edition published by
Routledge, a member of the Taylor &
Francis Group

© Қазақ тіліндегі басылым, ҚР
жоғары оқу орындарының
қауымдастығы, 2013

ISBN 978-601-7427-23-8 (1-б.)
ISBN 978-601-7427-24-5 (орт.)

Съюз

Мазмұны

Қазақ басылымына алғы сөз	12	
Кіріспе	14	
1-бөлім		
Электр және электроника негіздері мен технологиясы		
1—тарау. Негізгі электр өлшем бірліктерінен шыққан туынды шамалар		21
1.1. СИ жүйесіндегі өлшем бірліктері	22	
1.2. Заряд.....	23	
1.3. Күш.....	24	
1.4. Жұмыс	25	
1.5. Қуат	25	
1.6. Электр потенциалы және электр қозғаушы күш	28	
1.7. Кедергі мен өткізгіштік	28	
1.8. Электр қуаты мен энергия.....	29	
1.9. Терминдер, өлшем бірліктер мен олардың символдары	31	
2—тарау. Электр тізбегіне кіріспе.....		36
2.1. Электр және электрондық жүйелердің блок–сызбалары.....	37	
2.2. Электр құраушыларының стандартты белгілері	39	
2.3. Электр тоғы мен электр мөлшері.....	39	
2.4. Потенциалдар айырымы мен кедергі.....	42	
2.5. Негізгі электрөлшеуіш құралдар	43	
2.6. Сызықтық және сызықтық емес құралдар	44	
2.7. Ом заңы	46	
2.8. Еселі және бөлікті бірліктер	46	
2.9. Өткізгіштер мен диэлектриктер (изоляциярлар)	50	
2.10. Электр қуаты мен энергия	50	
2.11. Электр тоғының негізгі қасиеттері.....	57	

2.12. Сақтандырғыштар	58
2.13. Изоляциялық материалдар және оның қауіпсіздігі.....	60

3–тарау. Кедергінің өзгеруі.....64

3.1. Резисторлардың конструкциялары	64
3.2. Электрлік кедергі мен меншікті электрлік кедергі ...	65
3.3. Кедергінің температуралық коэффициенті	71
3.4. Резисторды түстермен кодтау және олардың омдық мөндері.....	77

4–тарау. Батареялар мен энергия көздерінің түрлері.....84

4.1. Батареяларға кіріспе	85
4.2. Электрдің кейбір химиялық әсерлері	86
4.3. Қарапайым элементтер	87
4.4. Коррозия.....	90
4.5. Элементтің ішкі кедергісі мен электр қозғаушы күш	91
4.6. Тұрақты элементтер	98
4.7. Аккумуляторлар	99
4.8. Элементтердің сымдылығы	105
4.9 Аккумуляторды қауіпсіз тазарту.....	105
4.10. Отындық элементтер	107
4.11 Энергия көздерінің жаңғыртылған және эквивалентті түрлері.....	107
1-тексеру тесті.....	113

5–тарау. Тізбекті және параллель желілер.....116

5.1. Тізбекті сызбалар	117
5.2. Кернеуді бөлу	121
5.3. Параллель желілір	124
5.4. Токты бөлу	132
5.5. Жүктеме әффектісі	142

5.6. Потенциометр мен реостаттар.....	143
5.7. Салыстырмалы және абсолют кернеулер	150
5.8. Жердің потенциалы мен қысқа тұйықталу	153
5.9. Шамдарды тізбекті және параллель қосу	154
6—тарау. Конденсатор мен сыйымдылық	160
6.1. Конденсатор (кіріспе).....	161
6.2. Электростатикалық өріс	161
6.3. Электр өрісінің күші	164
6.4. Сыйымдылық	164
6.5. Конденсаторлар.....	165
6.6. Электр ағынының тығыздығы немесе векторлық ығысу	168
6.7. Диэлектрлік өтімділік.....	169
6.8. Параллель конденсаторлар	173
6.9. Конденсаторларды параллель және тізбекті қосу	179
6.10. Диэлектрлік беріктік.....	189
6.11. Конденсаторда энергияны жинақтау	190
6.12. Конденсаторлардың түрлері	193
6.13. Конденсаторды зарядсыздандыру	197
7—тарау. Магнит тізбектері	202
7.1. Магнетизм мен магниттік тізбекке кіріспе	203
7.2. Магнит өрісі	203
7.3. Магниттік ағындары мен оның тығыздығы.....	206
7.4. Магнит қозғаушы күш және магнит өрісінің кернеулігі	207
7.5. Өтімділік пен В–Н магниттеу қисығы	209
7.6. Меншікті магниттік кедергі	216
7.7. Магнитті сызбадағы композитті топтама.....	218
7.8. Электрлік және магниттік шамаларды салыстыру ...	225
7.9. Гистерезис және гистерезис тұзағы	225
2-тексеру тесті.....	231

8–тарау. Электрмагнетизм

8.1. Электр тоғы мен магниттік өріс	234
8.2. Электрмагнетизм	235
8.3. Тоғы бар өткізгіштегі күш	243
8.4. Тұрақты ток қозғалтқышының жұмыс істеу принципі	251
8.5. Орамасы қозғалмалы құралдың жұмыс істеу принципі	253
8.6. Заряд күші	255

9–тарау. Электрмагниттік индукция.....260

9.1. Электрмагниттік индукцияға кіріспе	261
9.2. Электрмагниттік индукция заңдары	264
9.3. Магнит өрісінде тұзақтың айналуы	271
9.4. Индуктивтілік	274
9.5. Индукторлар	277
9.6. Жинақталған энергия	279
9.7. Орамдағы индуктивтілік	280
9.8. Өзара индуктивтілік	285

10–тарау. Электрді өлшейтін

құрылғылар мен өлшеулер294

10.1. Кіріспе.....	295
10.2. Аналогты аспаптар	296
10.3. Электрмагнитті өлшеуіш аспаптар	297
10.4. Түзеткіш пен орамы қозғалмалы аспаптар	298
10.5. Магнитэлектрлік, электрмагниттік аспаптарды салыстыру.....	299
10.6. Шунттар мен мультипликаторлар	299
10.7. Электрондық аспаптар	304
10.8. Омметр.....	305
10.9. Мультиметрлер.....	306
10.10. Ваттметрлер.....	307

10.11. « Жүктеулік» әсері бар аспаптар.....	308
10.12. Осциллограф	314
10.13. Виртуалды тест пен өлшеуіш аспаптар	325
10.14. Виртуалды цифрлық еске сақтаушы осциллографтар	327
10.15. Толқынның гармоникаларының пішіндері	336
10.16. Логарифмдік қатынастар	339
10.17. Өлшеудің нөл тәсілі	346
10.18. Уитстон көпірі	346
10.19. Тұрақты ток потенциометр	348
10.20. Айнымалы ток көпірлері.....	349
10.21. Q–метр.....	353
10.22. Аспап тізбегінің бұзылуы нәтижесіндегі қателер..	355
11-тарау Жартылай өткізгіш диодтары.....	366
11.1. Материалдардың түрі	367
11.2 Жартылай өткізгіштер	368
11.3 Жартылай өткізгіштік материалдардағы өткізу қабілеті	373
11.4 Электронды–кемтіктік $p-n$ ауысу.....	374
11.5 Тура және кері ығысулар	379
11.6 Жартылай өткізгіштік диодтар.....	387
11.7 Сипаттама белгілері мен максималды мәндер	388
11.8 Түзету	389
11.9 Стабилитрондар.....	389
11.10 Кремниймен басқарылатын түзеткіштер.....	393
11.11 Жарық диодтары.....	395
11.12 Варактор диодтары	395
11.13 Шоттки диоды	396
12-тарау Транзисторлар	402
12.1. Транзисторлардың классификациясы	403
12.2. Биполярлы транзисторлар	404

12.3. Транзистордың жұмыс атқару негіздері	406
12.4. Жылыстау тоғы.....	408
12.5. Ығысу мен ток ағыны	410
12.6. Транзисторлық операциялық конфигурация	411
12.7. Биполярлы транзистор сипаттамасы.....	412
12.8. Транзистор параметрлері	415
12.9. Ток бойынша күшейту коэффициенті	419
12.10. Биполярлы транзисторлардың негізгі сипаттамалары мен ең үлкен мәндері	421
12.11 Өрістік транзисторлары.....	423
12.12 Өріс әффектілерін сипаттайтын транзистор.....	425
12.13 Өрістік транзисторлардың типтік сипаттамалары мен мен шектік мәндер	430
12.14 Транзистор –күшейткіш.....	431
12.15 Жүктеме сызықтары.....	436
3-тексеру тесті	452
Тест сұрақтарына дұрыс жауапты таңдау	456
Пәндік көрсеткіш	458

Қазақ басылымына алғы сөз

Қазақ тіліне аударылған оқулығыма алғы сөз жазу мен үшін үлкен абырой және қуаныш. Соңғы уақытта Қазақстан экономикасы дамыған өскелең елдердің қатарына өте бастағаны белгілі. Осыған орай, жоғары білімге жіті көңіл бөлінуде. Ғалымдар мен инженерлер әр кезде экономика мен қоғам үшін өмірлік маңызды мамандар болып саналады. Олардың қаржы қызметінен бастап өндіріске дейін көптеген секторларда білімдері мен дағдылары үлкен сұраныста болып келе жатыр. Сол себептен, келешекте сұранысты қанағаттандыру үшін елді біраз білікті мамандармен қамтамасыз ету өте маңызды. ХХІ ғасырда білім алдыңғы қатарлы инвестицияға жатады, себебі ақпараттық экономика білімді, білікті мамандарға тәуелді. Елде неғұрлым білімді студенттер көп болса, соғұрлым халық экономикалық табыстарға тезірек жетпек. Кез келген инженерлік немесе ғылыми салаларда үлкен жетістерге жетіп, мансап жасау үшін математиканың негіздерін жақсы меңгеру маңызды. Адамзат математикасыз кез келген принципті түсіне, өлшей, шекараларды анықтай, әртүрлі варианттарды зерттей, дәлелдей, концепциялардың тұжырымдарын келтіре алмас еді. Математиканың арқасында телефон, ұялы телефон, теледидар, стереожүйелер, бейнежүйелер, бейне ойындар, микротолқынды пештер, компьютерлер мен әртүрлі электроника түрлері жасалды. Математиканы меңгерудің арқасында көпірлер, тоннельдер, жолдар, биік зеңгір үйлер, автомобильдер, кемелер, ұшақтар, зымырандар, сонымен қатар көптеген дүниелер жасалып, өркениет күннен күнге дамып келе жатыр. Осы мысалдардан бүгінгі күндерде қоғамның жоғары дәрежеде даму себебі ғылымның жемістерін пайдаланудың арқасында екенін ұмытпау керек. Білікті электр инженерлерін коммерциялық, индустриялық, әскери, ғылыми сұранысты қамтамасыз ету үшін дайындайды. Сондықтан өндірісті және электр жабдықтарын

бақылау, жобалау, зерттеу, тексеру жұмыстарын меңгеру инженерлерге маңызды.

Көптеген жылдар бойы педагог және инженер болып өндірісте істеген өмір тәжірибесі арқасында электртехника мен электрониканың принциптері туралы оқулықты жазуыма себеп болды. Осы оқулықтың мазмұны көпшілік оқырманға пайдалы болып, техниканың салаларын меңгеруге көмектесе алады деп сенемін.

Ізгі тілекпен,
Джон Берд

Кіріспе

«Электрлік және электрондық принциптер мен технологиялар» деп аталатын оқулықтың 4-басылымында айнымалы және тұрақты ток тізбектерінің принципіалды сызбалары келтіріліп, олардың өтпелі және орнықты күйлері қамтылған, желіні сүзу, операциондық күшейткіштер, үшфазалы электр қоректендіру көзі, трансформаторлар, тұрақты ток машиналары мен үшфазды асинхронды қозғалтқыштар сияқты маңызды сұрақтар қарастырылғын.

Бұл басылымда жаңа материалдар қосылған: ол резисторлардың құрылымдары, жүктемелік әсерлер, құралдар мен потенциометрлер, реостаттар, жердің гравитациялық кернеулігі, қысқыша тұйықтау, электрлік сақтану изоляциясы мен сақтандырғыштар. Сонымен қатар оннан артық практикалық зертханалық жұмыстар қосылған (жергілікті жабдықтардың түріне байланысты оқытушылар зертхана жұмыстарын редакциялап немесе жүктеп алуына болады).

Осы оқулықтың 4-басылымы ең соңғы оқу бағдарламасын қамтиды:

- (i) **«Электр және электроника принциптері»** (ВТЕС – Бизнес пен Технология саласында білім беру кеңесі – осы курсты Ұлттық сертификат және Ұлттық дипломмен белгілей отырып, оның біліктік деңгейін 5 бірлікпен бағалаған) – 1–10 мен 11 (бөлімдерінде) тарауларды қараңыз.
- (ii) **«Кеңейтілген электр принциптері»** (ВТЕС Техника және технология саласындағы дипломмен осы курсты белгілей отырып, 67 бірлікпен бағалаған) 13, 15-18, 20, 22, 23 тарауларды қараңыз.
- (iii) Келесі тараулар ВТЕС-ің ұлттық оқу жоспарына енеді: Электрлік қосымша, үш фазалы жүйе, электрондық құрылғылармен тізбектердің негіздері мен қолдану,

электрлік машиналар мен ұшақтар, телекоммуникация негіздері.

- (iv) Техниктер үшін «Қолданбалы электроника мен механикалық ғылым» деп келтірілген электр принциптеріне арналған тарау ВТЕС-ің бірінші мертификатымен бағаланған.
- (v) Лондон Сити және Гильдия сертификат дипломмен осы курстың келесі тарауларын бағалаған: Телекоммуникация жүйесі, электртехника принциптері мен электроника.
- (vi) «Электрлік және электрондық принциптер» Техника мен Технология саласында Дипломмен бағаланған.
- (vii) Курстың кіріспесі дайындық курстар үшін өте пайдалы.

Оқулықтың мәтіні негізгі 4 бөлімнен тұрады.

1-бөлім 1-ден 12-тарауларды қамтиды. Бұл тарауда электрлік және электрондық техникалық принциптер, электр өлшем бірліктері мен олардың шамалары, электр тізбектері, кедергінің өзгеруі, батареялар мен энергияның альтернативті көздері, тізбекті және параллель сызбалар, конденсатор мен сиымдылықтар, магниттік сызбалар, электромагнетизм мен электромагниттік индукциялар, электр өлшеуіш құралдары мен өлшеулер, жартылай өткізгіштер, диодтар және транзисторлар қарастырылады.

2-бөлім 13-тараудан 19-тарауды қамтиды. Бұл тарауларда электр және электрондық принциптер, тұрақты ток тізбегінің теориясы, альтернативті кернеу мен ток, бір фазалы тізбектер мен параллель тізбектер, желі сүзгіштері, тұрақты токты өтпелі процесс пен операциялық күшейткіштер келтірілген.

3-бөлім 20-дан бастап 23-тараулардан тұрады. Оның құрамына келесі тақырыптар енеді: Электр қуатының технологиясы, үш фазалы жүйе, трансформаторлар, тұрақты ток машиналары, үш фазалы асинхронды қозғалтқыштар.

4-бөлім 24-тараудан тұрады. Оның құрамына он практикалық және зертханалық тәжірибелер енеді.

Мәтінде әр тақырып әлі алдын ала таныс емес материалмен беріледі. Тарау теорияны қысқыша мазмұндама түрінде қарастырады. Есептерді шығару үшін анықтамаларды, формулалар мен теорияларды сипаттау минимумға келтіріліп, мейлінше жеңілдетілген.

Теорияны меңгеруді жетілдіру – есептерді шығару арқылы жүзеге асырылады.

Осы басылымда оқытушыларға көмек ретінде интернеттен келесі тегін жүктеулерге қол жеткізуге мүмкіндік бар:

- (i) Кітапта 540 қосымша есептердің 410 үшін **шешу үлгілері** келтірілген.
- (ii) **Тексеру тесттерін** шығару үшін **Нұсқаушының** көмегімен жұмыс істеуге болады.
- (iii) **10 практикалық зертханалық тәжірибелер** оқу орындарының мүмкіндігіне сай редакциялана алынады.
- (iv) Бекітілген ВТЕС-тің оқу жоспары бойынша берілген материалдар, емтихан сұрақтары мен практикалық жұмыстарды қайта жаңғыртып, өзгертулерді жүргізуге болады.
- (v) Оқулықта 538 сурет келтірілген.

«Электрлік және электрондық принциптер мен техникалар» деп аталатын оқулықтың төртінші басылымында 410 есеп берілген, оның 341 бірнеше жолмен шығарылған (жауаптары кітаптың соңында келтірілген), сонымен қатар 455 қысқаша сұрақтар енгізілген, бұл сұрақтарға жауапты алдыңғы тараудың материалдарынан табуға болады. 146 жаттығуларда 540 қосымша сұрақтар жақша ішіндегі дайын жауаптарымен бірден берілген; жаттығулар үнемі 3–4 беттен кейін барлық мәтін бойынша қайталанып отырады. 538 суреттер теорияны түсіну мен меңгеруге көмектеседі. Барлық есептердің шешімдері көп амалды, жауаптары қысқа және қосымша сұрақтармен жабдықталған – осының бәрі электрлік және электрондық техникада кездесетін практикалық жағадайлармен байланыстырылған.

Мәтін бойынша уақыттың тең аралықтары арқылы барлық материалдар бойынша Тексеру тесті негізгі түсініктерді меңгеру үшін пысықталып отырады. Мысалы, 1-тексеру тесті 1 мен 4-тараулардағы материалдарды шолып, пысықтап қамтып отырады, ал 2-тексеру тесті 5–7-тарауларды қамтиды, сөйтіп барлық мәтін бойынша орындалып отырады. Бұл Тексеру тесттерінің жауаптары жоқ, себебі оқытушы мен нұсқаушы осы кітап материалымен ол сұрақтарды тексере алады. Дәріскерлер мен нұсқаушылар интернеттен (**Instructor's Manual**) – Тексеру тесттері үшін жауаптарды тегін жүктей алады.

Тиісті формулалар тізімі кітаптың үш бөлімдерінің соңына қосылған.

«**Learning by Example**» – «Мысалдар арқылы меңгеру» – «Электрлік және электрондық принциптер мен технологиялар» 4-басылымының ең ортаңғы жағында орналасқан.

Джон Бёрд

*Кемелерге машина жасаудың
Корольдік соғыс-теңіз мектебі,
HMS Султан,
Портсмут университеті және
Хайбери колледжі, Портсмут*

Веб-тегін жүктеулер

Осы мәтінді жақсы меңгеру үшін үйретуші мен оқытушыларға көмекке бес жиынтықтардан тұратын материалдық қолдау тек қана Elsevier оқулық сайтынан алынады. Керекті материалды табу үшін <http://www.booksite.elsevier.com/newnes/bird>, сайтына еніп, дұрыс кілт сөздерін таба білу қажет, осы келтірілген атаулардың кез келгенін бассаңыз сұрақтарыңызға дұрыс жауап таба аласыздар.

(i) Қажетті басшылық материалдар

Оқулықта 540 қосымша есептер мен 146 жаттығулар келтірілген. 410 есептерін лекторлар үшін шығару жолдары дайындалған.

(ii) Қолдану жөніндегі басшылық

Оқулықта есептердің шығару жолдары мен 7 тексеру тесттері келтірілген.

(iii) Зертхана тәжірибелері

24-тарауда 10 зертханалық тәжірибе берілген. Бұл тәжірибелерді оқытушылар өздерінің мүмкіншіліктеріне сай және қолда бар жабдықтарына сәйкес өзгертулеріне болады.

(iv) Сабақтардың жоспары мен материалдарды шолу

30 апталық сабақтың дәріс жоспарлары «Әлектр және электрондық технологиялар» үшін 5 тарау, қосымша электр принциптері үшін 67 тарау – әрбір блокта есептердің шешу жолдары мен емтихан сұрақтары және екі практика сұрақтары келтірілген.

(v) Суреттермен көркемдеу

4-басылымда 538 сурет берілген және оларды дәріскерлер электронды файлдардан көшірулеріне болады.

1–бөлім

Электр
және
электроника
негіздері
мен
ТЕХНОЛОГИЯСЫ

1–тарау

Негізгі электр өлшем бірліктерінен шыққан туынды шамалар

Осы бөлімнің соңында меңгерілетін сұрақтардың тізімі:

- СИ жүйесінің негізгі өлшем бірліктері;
- СИ өлшем бірліктеріндегі туынды шамалар;
- Көбейту мен бөлуді белгілейтін префикстер;
- Зарядтың, күштің, жұмыс пен қуаттың өлшем бірліктері және осы өлшем бірліктермен өте қарапайым-есептеулер;
- Электр потенциалының, электр қозғаушы күшінің, кедергінің, өткізгіштің, күштің, энергияның өлшем бірліктері және осы өлшем бірліктермен-есептер шығару.

1.1 СИ жүйесіндегі өлшем бірліктері

Бірліктердің Халықаралық Жүйесі (СИ), (SI) – өлшем мен салмақ жөніндегі 11-Бас конференцияда (1960) қабылданған физикалық шамалар бірліктерінің жүйесі. Бірліктердің Халықаралық Жүйесінің артықшылығы – оның ғылым мен техниканың барлық саласын қамтитын универсалдылығы және пропорционалдық коэффициенттері болмайтын теңдеулер негізінде құрылатын туынды бірліктерінің бір-бірімен үйлесімділігі. Алғашқы үш негізгі бірлік (метр, килограмм, секунд) механикалық табиғаты бар барлық шамалардың үйлесімді туынды бірліктерін құрастыруға мүмкіндік береді. Ал қалған төрт негізгі бірлік (ампер, кельвин, кандела, моль) механикалық табиғаты болмайтын шамалардың үйлесімді туынды бірліктерін құрастыру үшін қосылған (мысалы, ампер – электрлік және магниттік, кельвин – жылулық, кандела – жарық, моль молекулалық физика мен химия саласындағы шамалар үшін). Ондық еселік бірліктер мен үлестік бірліктердің аталуы арнаулы қосымша жалғаулардың көмегімен құрастырылады.

Халықаралық бірлік жүйесі (International System of Units) – 1960 жылы Парижде өткен мөлшер мен салмақ туралы XI Генералдық конференцияда барлық ғылыми, техникалық, халық шаруашылық салаларына және білім жүйесіне арналып, қабылдаған физикалық шамалардың әмбебап бірлік жүйесі.

Шаманың атауы	Халықаралық өлшем бірлігі	Мемлекеттік тілдегі белгісі
Ұзындық	Метр, m	М
Масса	Килограмм, kg	Кг
Уақыт	Секунд, s	С
Электр тоғы	Ампер, А	А
Термодинамикалық температура	Кельвин, К	К

Жарық күші	Кандела,	Кд
Заттың мөлшері	Моль	М

Метр, килограмм, секунда бірі-бірімен үйлестіріліп қолдануы мүмкін. Көлем, қуат, қысым, жылдамдық үшін әртүрлі өлшемдер жасалады.

Кей уақытта үлкендеу немесе кішілеу өлшеу мағыналарын айтқанда, өлшем атаулары алдына арнайы префикс қосылады. Мысалы, *кило* – «1000», *милли* – «0.001». Сонда километр – 1000 метр болады, миллиграмм – 1/1000 грамм. Осы арнайы префикстер үшін төмендегі кестені қараңыз.

Префикс	Халықаралық атауы	Мемлекет тіліндегі белгілеу	Еселігі
М	Мега	М	Көбейту керек $1000000 (\times 10^6)$
к	кило	к	Көбейту керек $1000 (10^3)$
м	милли	м	Бөлу керек (10^{-3})
μ	микро	мк	Бөлу керек 10^{-6}
п	нано	н	Бөлу керек 10^{-9}
р	пико	п	Бөлу керек 10^{-12}

1.2 Заряд

Зарядтың өлшем бірлігі ретінде СИ жүйесінде кулон алынады ($1 \text{ кулон} = 6.24 \times 10^{18}$ электронның заряды). 1 Кл – ток күші 1 А болатын өткізгіштің көлденең қимасы арқылы 1 с ішінде тасылатын заряд мөлшеріне тең. Олай болса, *заряд кулонмен алғанда* $Q = It$ тең болады.

мұндағы, I - ток күші, t - секундпен алынған уақыт.

1-есеп. Егер 2 минут ішінде өтетін ток 5 A болса, онда өтетін заряд мөлшері қандай? Кулонмен алынған заряд мөлшері Q , мұндағы,

$$I = 5\text{ A}, t = 2 \times 60 = 120\text{ c},$$

$$\text{Олай болса, } Q = 5 \times 120 = 600\text{ Кл}$$

1.3 Күш

Күштің өлшем бірлігі ретінде **НЬЮТОН** алынады, 1 H – массасы 1 кг дененің 1 секунд аралығында жылдамдығын 1 м / с – қа өзгертетін күш.

Күш ньютонмен алынғанда $F = ma$

Мұндағы, m – масса килограммен, ал a үдеу м / с^2 алынған. Гравитациялық күш немесе салмақ mg тең, сондықтан

$$g = 9.81\text{ м / с}^2.$$

2-есеп. 5000 грамм масса 2 м / с^2 үдеумен қозғалады. Осыған сай күшті табыңыз.

$$\text{Күш } Q \text{ масса} \times \text{үдеу} = 5\text{ кг} \times 2\text{ м/с}^2 = 10\text{ кгм/с}^2 = 10\text{ Н.}$$

3-есеп. Сымға бекітілген 200 г массаға төмен қарай тік әсер ететін күшті табу керек.

$$\text{Масса} = 200\text{ г} = 0.2\text{ кг}, \text{ салмақ күшінің үдеу } g = 9.81\text{ м / с}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Төмен әсер ететін күш} &= \text{салмақ} \\ &= \text{масса} \times \text{үдеу} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= 0.2 \text{ кг} \times 9.81 \text{ м} / \text{с}^2 \\ &= 1.962 \text{ Н} \end{aligned}$$

1.4 Жұмыс

Жұмыстың немесе энергияның өлшем бірлігі ретінде джоуль алынады, ал джоульдің өзі 1 *ньютон* көбейтілген 1 *метр*. Джоуль деп 1 *ньютон* күштің 1 *метр* жол бойында істеген жұмысын айтады. Олай болса,

Істелінген жұмыс джоульмен алынады: $W = Fs$.

мұндағы, F – ньютонмен алынған күш, s – әсер ететін күш бағытымен алынған дененің жүріп өткен жолы. Энергия жұмыс істеліну үшін қажетті қабілеттілік.

1.5 Қуат

Қуаттың өлшем бірлігі **ватт**. Ватт тең 1 *Дж* бөлінген 1 *сек*. **Қуат** дегеніміз істелінген жұмыстың шапшаңдылығы немесе энергияның түрленуі. Олай болса, **ваттпен алынған қуат:**

$$P = \frac{W}{t}$$

мұндағы, W – джоульмен алынған жұмыс, не түрлендірілген энергия. t – секундпен алынған уақыт. Олай болса, **джоульмен алынған энергия:**

$$W = Pt$$

4-есеп. Бқшам машинаны қозғалту үшін 200 ньютон күш қажет. Осы машина үшін 20 *м* жол жүргендегі жұмысы мен 25 секунд ішіндегі орташа қуатын табыңыз.

Істелінген жұмыс = күш × арақашықтық:

$$\begin{aligned} 200 \text{ Н} \times 20 \text{ м} &= 4000 \text{ немесе } 4 \text{ кДж} = \\ 200 \text{ Н} \times 20 \text{ м} &= 4000 \text{ Н} \cdot \text{м} \text{ немесе } 4 \text{ кДж} \end{aligned}$$

Қуат = істелінген жұмыс/жұмсалған уақыт:

$$= \frac{4000}{25 \text{ с}} = 160 \text{ Дж/с} = 160 \text{ Вт}$$

5-есеп. 1000 кг масса 10 метр биіктікке 20 секунд ішінде көтеріледі. Сондағы жасалған жұмыс пен қуатты анықтаңыз.

(а) Істелінген жұмыс = күш × арақашықтық

Күш = масса × үдеу

Олай болса, (а) Істелінген жұмыс = масса × үдеу

$$= (1000 \text{ кг} \times 9.81 \text{ м} / \text{с}^2) \times (10 \text{ м})$$

$$= 98100 \text{ Нм}$$

$$= 98.1 \text{ кНм} \text{ немесе } 98.1 \text{ кДж}$$

(б) Қуат істелген жұмыс /жұмсалған уақыт =

$$= 98100 \text{ Дж} / 20 \text{ секунд} = 4905 \text{ Дж} / \text{с} = 4905 \text{ Вт} \text{ немесе}$$

4.905 кВт.

Келесі жаттығуларды орындаңыздар.

1-жаттығу. Заряд, күш, жұмыс пен қуатқа арналған қосымша есептер.

Есептерде еркін түсу үдеуін $g = 9.81 \text{ м} / \text{с}^2$ деп алған дұрыс.

1. 6.24×10^{21} электрондар қандай заряд мөлшерін тасымалдайды?

[1000 Кл]

2. 1 А ток 30 Кл заряд мөлшерін тасымалдау үшін қанша уақыт керек?

[30 с]

3. 5 минут ішінде 3 А ток ағады, сонда қанша заряд тасымалданады?

[900 Кл]

4. 0.1 А ток 30 Кл зарядты тасымалдау үшін қанша уақыт керек?

[5 минут]

5. 20 кг массаға 30 м / с² үдеу беру үшін қанша күш қажет?

[600 Н]

6. Массасы 1.7 Мг (мегаграмм) автомобиль өзінің жылдамдығын тұрақты 3 м / с² үдеумен ұлғайтады, сондағы үдетуші күшті табыңыздар.

[5.1 кН]

7. 40 Н күш 5 м / с² үдеумен қандай массаны қозғалта алады?

[8 кг]

8. Жіпке массасы 1500 г дене ілулі тұр. Осы массаға төмен қарай қандай күш әсер етеді?

[14.72 Н]

9. 4 Н күш объектіні 20 см қашықтыққа ауыстырады, сонда қанша жұмыс істелінеді?

Н [8 Дж]

10. Жүкті 500 см биіктікке көтеру үшін 2.5 кН күш қажет, сол күштің істеген жұмысын табыңыз.

[12.5 кДж]

11. Электромагнит 12 Н күшпен темір арматураны 1.5 см арақашықтыққа 40 мс аралығында көтереді. Тұтынылған қуатты табыңыздар.

[4.5 Вт]

12. 30 секунд ішінде 500 кг масса 6 м биіктікке көтеріледі. Істелінген жұмыс пен қуатты табыңыздар.

[(a) 29.43 кНм (b) 981 Вт]

13. Төменде келтірілген өрнектерді аяқтаңыздар:

(a) $1000 \text{ нФ} = \dots\dots\dots \text{нФ}$

(b) $0.02 \text{ мкФ} = \dots\dots \text{нФ}$

(c) $5000 \text{ кГц} = \dots\dots\dots \text{МГц}$

(d) $47 \text{ кОм} = \dots\dots\dots \text{МОм}$

(e) $0.32 \text{ мА} = \dots\dots\dots \text{мкА}$

[(a) 1 нФ (b) 20000 нФ (c) 5 МГц (d) 0.047 МОм (e) 320 мкА]

1.6 Электрлік потенциал және электр қозғаушы күш – э.қ.к.

Электрлік потенциалдың өлшем бірлігі вольт, ал *1 вольт* дегеніміз 1 джоульдің кулонға қатынасы. *1 вольт* ол өткізгіштегі екі нүкте арасындағы потенциалдар айырымы, *1 А* ток өткенде *1 Вт* қуат жұмсалады.

$$\text{вольт} = \frac{\text{ватт}}{\text{ампер}} = \frac{\text{джоуль} / \text{секунд}}{\text{атмпер}} = \frac{\text{джоуль}}{\text{амперсекунд}} = \frac{\text{джоуль}}{\text{кулон}} = \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}}$$

Электр тізбегіндегі екі нүкте аралығындағы электр потенциалының өзгеруін **потенциалдар айырымы** деп атайды. Батарея немесе генератор сияқты энергия көздерінен алынған **электр қозғаушы күштерінің** (э.қ.к.) өлшем бірліктері **вольтпен** анықталады.

1.7 Кедергі мен өткізгіштік

Кедергінің өлшем бірлігі ретінде **Ом** алынады, ом – вольттің амперге қатынасы. **1 Ом** – өткізгіштің кернеуі *1 В* болғанда бойынан *1 А* ток өтетін кедергі.

$$\text{Кедергі, } R = \frac{V}{I} \text{ Ом}$$

Мұндағы, *V* – вольтпен алынған екі нүкте арасындағы потенциалдар айырымы, ал *I* – ампермен алынған өткізгіштен өтетін ток.

Кедергіге кері шама өткізгіштік деп аталады, ол сименс (См) деп аталатын өлшем бірлігімен анықталады.

$$\text{Өткізгіштік, сименс } G = \frac{1}{R}$$

Мұндағы, R – оммен алынған кедергі.

6-есеп. Кедергілері (а) 10 Ом , (b) 5 кОм , (с) 100 мОм өткізгіштердің сәйкес өткізгіштігін табыңыз?

$$(a) \text{ Өткізгіштік } G = \frac{1}{R} = \frac{1}{10} \text{ сименс} = 0.1 \text{ См}$$

$$(b) G = \frac{1}{R} = \frac{1}{5 \times 10^3} \text{ См} = 0.2 \times 10^{-3} \text{ См} = 0.2 \text{ мСм}$$

$$(c) G = \frac{1}{R} = \frac{1}{100 \times 10^{-3}} \text{ См} = \frac{10^3}{100} \text{ См} = 10 \text{ См}$$

1.8 Электр қуаты мен энергия

Электрлік тізбектен тұрақты 1 А ток өтеді, өткізгіштің ұштарындағы кернеу 1 вольт, қуатты табыңыз:

Қуат (ватт), $P=VI$

Электр энергиясы = Қуат × уақыт = VIt джоуль.

Энергияның өлшем бірлігі Дж, оның үлкен мәндерінде өлшем бірлігіне кВт/сағ алынады, мұндағы?

$$1 \text{ кВт} = 1000 \text{ ватт} \cdot \text{сағат} = 1000 \times 3600 \text{ ватт} \cdot \text{секунд} \\ \text{немесе джоуль } 3600000 \text{ Дж}$$

7-есеп. 5 вольт э.қ.к. 3 А тұрақты тоқты 10 минут ішінде тасымалдайды. Осы уақыт ішіндегі энергия түрленуі қандай?

Энергия = қуат × уақыт және қуат = кернеу × ток. Сонда

$$\text{Энергия} = VI t = 5 \times 3 \times (10 \times 60) = 9000 \text{ Вт} \cdot \text{с}$$

немесе $\text{Дж} = 9 \text{ кДж}$

8-есеп. 250 В кернеу көзінен 30 минут ішінде электр қыздырғыш 1.8 МДж энергияны тұтынады. Қыздырғыш үшін оның номиналды қуаты мен ток көзінің күшін табыңыз.

$$Q_{\text{уат}} = \frac{\text{энергия}}{\text{уақыт}} = \frac{1.8 \times 10^6 \text{ Дж}}{30 \times 60 \text{ с}} = 1000 \text{ Дж} / \text{с} = 1000 \text{ Вт}$$

Қыздырғыштың номиналды қуаты = 1 кВт

$$Q_{\text{уат}} P = VI, \text{ осыдан } I = \frac{P}{V} = \frac{1000}{250} = 4 \text{ А}$$

Сонымен, қоректендіру көзінен тұтынатын токкүші 4А болғаны.

Келесі жаттығуларды орындаңыздар.

2-жаттығу. Э.қ.к., кедергі, өткізгіштік, қуат

және энергияға арналған қосымша-есептер.

1. Өткізгіштердің келесі кедергілері берілген: (а) 10 Ом (б) 2 кОм (с) 2 мОм. Резисторлардың осыған сәйкес өткізгіштіктерін табыңыз.

$$[(a) 0.1 \text{ См} (b) 0.5 \text{ мСм} (c) 500 \text{ См}]$$

2. Резистордың өткізгіштігі 50 мкСм. Оның кедергісін табыңыз:

$$[20 \text{ кОм}]$$

3. Э.қ.к.-і 250 В электр тізбегіне 4 А ток күші өтетін кедергі қосылған. Сондағы ток көзінің қуаты қандай?

$$[1 \text{ кВт}]$$

4. Бір минутта 450 джоуль энергия жылуға айналады, сондағы қуаттың шамасы қандай?

[7.5 Вт]

5. Өткізгіш арқылы 10 А ток өтеді және 10 Вт қуат өндіріледі, өткізгіштің ұшындағы потенциал айырымдары қандай?

[1 В]

6. Батареяның ә.қ.к.-і 12 В, одан 2 минут ішінде 5 А ток шығады. Осы уақыт ішінде ол қанша электр энергиясын береді?

[7.2 кДж]

7. Электрқозғалтқыш бір сағат бойы 250 В кернеу көзіне жалғанған, сонда ол 36 МДж энергияны жұмсалған. Осы электрқозғалтқыштың номиналды қуаты мен тоғын табыңыз.

[10 кВт.40 А]

1.9. Терминдер, өлшем бірліктер, олардың символдары

Шама	Шаманың белгісі		Өлшем бірлік	Өлшем бірліктің белгісі
	Халық-аралық	Мемлекеттік		
Ұзындық	l	l	метр	м
Масса		kg	килограмм	кг
Жылдамдық	v	m / s	метр/секунд	м / с
Үдеу	a	m / s ²	метр/секунд квадрат	м / с ²
Күш	F	N	ньютон	Н
Электр заряды	Q	C	кулон	К
Ток күші	I	A	ампер	А
Өткізгіштік	G	S	симен	См
Ә.қ.к.	E	V	вольт	В

Потенциалдар айырымы	V	V	вольт	<i>B</i>
Кедергі	R	Ω	ом	<i>Ом</i>
Жұмыс	W	J	джоуль	<i>Дж</i>
Қуат	P	W	ватт	<i>Вт</i>
Уақыт	t	s	секунд	c
Энергия	E немесе (W)	J	джоуль	<i>Дж</i>

Келесі жаттығуларды орындаңыздар.

3-жаттығу. Негізгі электрлік шамалардың өлшем бірліктеріне қысқаша жауап

- СИ өлшем бірлігі деген мағына нені білдіреді?
- Келесі өрнекті аяқтаңыздар: $Kүш = \dots \times \dots$
- Потенциалдар айырымы деген не?
- Заряд пен уақыт арқылы электр тоғын анықтау.
- Өлшеуге арналған өлшем бірліктері:
 - заряд мөлшері;
 - кедергі;
 - өткізгіштік;
- Кулонның анықтамасы:
- Электр энергиясының анықтамасы мен оның өлшем бірлігі
- Электрлік қуаттың анықтамасы мен оның өлшем бірліктері
- Электр қозғаушы күш (э.қ.к.) деген не?
- Тұрақты ток тізбегінде қуатты анықтау формуласы
- Келесі шамалар үшін олардың белгілері: (a) электр заряды; (b) электр қозғаушы күш; (c) жұмыс; (d) потенциалдар айырымы.
- Келесі қысқартулар қандай өлшем бірліктеріне жатады:
 - A

- (b) Кл;
- (c) Дж
- (d) м,
- (e) Н.

4-жаттығу. Электр шамаларының өлшем бірліктеріне арналған тест (жауаптары кітаптың соңында)

1. 50 кОм кедергінің өткізгіштігі қандай:

- (a) 20 См
- (b) 0.02 См
- (c) 0.02 мСм
- (d) 20 кСм

2. Келесі өрнектердің қайсысы дұрыс емес:

- (a) $1 \text{ Н} = 1 \text{ кгм} / \text{с}^2$
- (b) $1 \text{ В} = 1 \text{ Дж} / \text{Кл}$
- (c) $30 \text{ мА} = 0.03 \text{ А}$
- (d) $1 \text{ Дж} = 1 \text{ Н} / \text{м}$

3. Егер резистордың кедергісі 10 Ом және оның бойымен 10 А ток өтсе қуат қандай?

- (a) 0.4 Вт
- (b) 20 Вт
- (c) 40 Вт
- (d) 200 Вт

4. Белгілі бір күштің әсерімен 1200 г масса $200 \text{ м} / \text{с}^2$ үдеумен қозғалады, сондағы күштің шамасын табыңыз:

- (a) 2.4 Н
- (b) 2.400 Н
- (c) 240 кН
- (d) 0.24Н

5. 2 минут ішінде 240 Кл заряд өтеді, сонда токтың шамасы қандай болады?

- (a) 120 А
- (b) 480 А

(c) 2 A

(d) 8 A

6. Резистордың кедергісі 100 Ом, ол арқылы 10 сағат бойы 2 A ток өтіп жатады, сондағы резистордың тұтынатын энергиясы қандай?

(a) 0.5 кВт · сағ

(b) 4 кВт · сағ

(c) 2 кВт · сағ

(d) 0.02 кВт сағ

7. Электр мөлшерінің өлшем бірлігі:

(a) вольт

(b) кулон

(c) Ом

(d) джоуль

8. Электр қозғаушы күш ненің есебінен қамтамасыз етіледі?

(a) кедергінің

(b) өткізгіштің ұзындығының

(c) электр тогының

(d) электрлік қоректендіру көзінің

9. Кулон қандай шаманың өлшем бірлігі?

(a) қуат

(b) кернеу

(c) энергия

(d) заряд мөлшері

10. Жұмыс орындалу үшін не қажет?

(a) энергияны тасымалдау

(b) сызбадағы ажыратқыш

(c) көмірді жағу

(d) екі сым

11. Ом қандай шаманың өлшем бірлігі?

(a) зарядтың

(b) кедергінің

(c) қуаттың

(d) ТОКТЫҢ

12. Токтың өлшем бірлігі?

(a) ВОЛЬТ

(b) КУЛОН

(c) ДЖОУЛЬ

(d) АМПЕР

2–тарау

Электр тізбегіне кіріспе

Тараудың соңында меңгерілетін сұрақтардың тізімі:

- Инженерлік жүйелер блок-сызбалар арқылы көрсетіледі
- Жалпы электрлік тізбек белгілерін тану
- Электр тоғы – ол зарядтар қозғалысы, оның өлшем бірлігі – ампер
- Кулон зарядтың өлшем бірлігі
- Зарядты немесе Q - заряд мөлшерін $Q = It$ өрнегі арқылы есептей білу
- Өткізгіштен ток өту үшін оның ұштарында потенциалдар айырымы болуы қажет
- Вольт – потенциалдар айырымының өлшем бірлігі
- Кедергі ток күшіне кері пропорционал және оның өлшем бірлігі – Ом
- Амперметр, омметр, мультиметр, осциллограф, ваттметр, мегаметр көпірі мен тахометр және стробоскоп сияқты құралдармен өлшеулерді бағалай білу
- Сызықтық және сызықтық емес құрылғыларды ажырата білу
- Келесі өрнектер арқылы Ом заңына анықтама беріңіздер $V = IR$ немесе $I = V / R$ немесе $R = V / I$
- Есептеулерде Ом заңын пайдалана білу, сонымен қатар еселі және бөлікті бірліктерді де қолдану
- Өткізгіш пен диэлектриктерге (изоляцияға) мысалдар келтіру

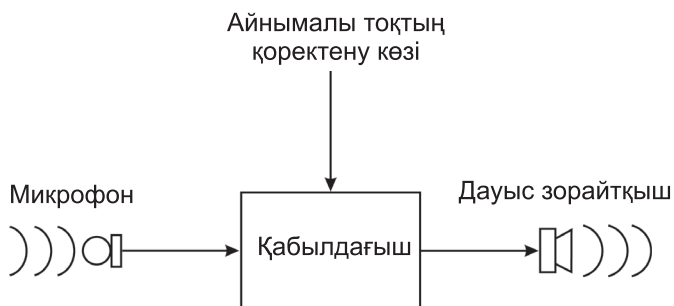
- P – электр қуатының формуласы: $P = VI = I^2R = V^2 / R$ Вт
- Электр қуатын есептеу
- Электр энергиясына анықтама беру және оның өлшем бірлігі
- Электр энергиясын есептеу
- Электр тоғының ең маңызды үш әсерін анықтай алу және олардың әрқайсысына мысалдар келтіру
- Электр тізбегіндегі сақтандырғыштың маңызын түсіндіру
- Изоляциялық материалдарға үлкен токтың қауіптілігі

2.1 Электр және электрондық жүйелердің блок-сызбалары

Электр/электрондық жүйе қажетті функцияны орындау үшін бірге қосылған құрамдас бөліктер тобын құрайды. 2.1-суретте хабарлаудың қарапайым жүйесі көрсетілген, мұндай интегралдық сызбада дауыс зорайтқышқа түскенше микрофон дыбыстық толқындардың қысымы түрінде акустикалық қуатты жинау үшін пайдаланылады және оларды электр энергиясына шағын кернеу немесе ток түрінде түрлендіреді; электрон сызбасында транзисторлардың көмегі арқылы осы сигналдар күшейтіледі.

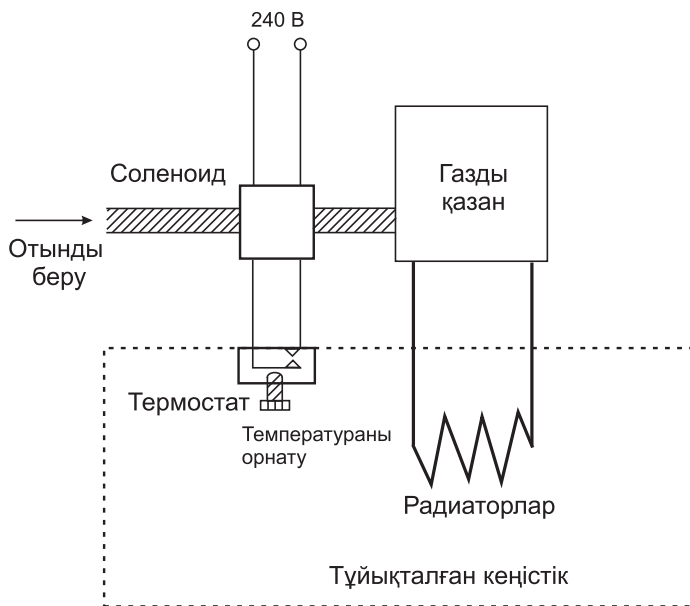
Ішкі жүйе толық жүйенің бір бөлігі болып табылады, сөйтіп тұтас жүйе шеңберінде анықталған функцияларды орындайды. Осындай ішкі жүйенің мысалы *2.1-суретте* келтірілген. Компонент немесе элемент тұтас жүйенің ең қарапайым бөлігі және ол нақты белгілі айқын функцияларды орындай алады, осыған мысал ретінде *2.1-суреттегі* микрофонды алуға болады.

2.1-суретте көрсетілген блок–сызба немесе электрлік/электрондық жүйе болып табылады; мұндай жүйелер көбінесе, өте күрделі, сондықтан түсінікті болу үшін оларды шағын бөліктерге, яғни ішкі жүйеге бөледі. Тұтас жүйенің құрамдас бөліктерін нақты білудің қажеті жоқ, тек олардың қалай жұмыс істейтінін білсе жеткілікті.

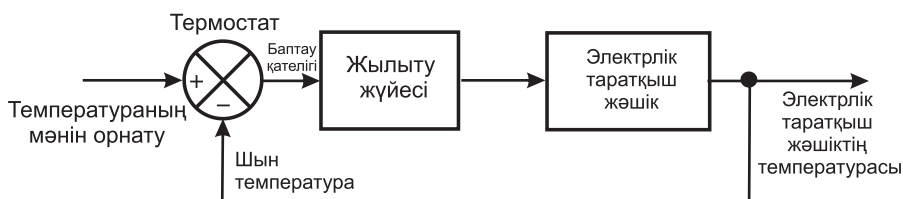


2.1-сурет

Мысал ретінде 2.2-суретте көрсетілген температураны басқару жүйесін алайық. Бұл жүйе жылу көзінен (газды қазан), отын контролерінен (электр клапаны), термостат пен электр энергиясының көзінен тұрады. 2.2-суреттегі жүйенің блок-сызбасы 2.3-суретте қайтадан басқаша түрде келтірілген. Термостат бөлме температурасын қажетті температураға дейін теңестіріп, жылыту жабдығын сөндіріп немесе жағып отырады.



2.2-сурет



2.3-сурет

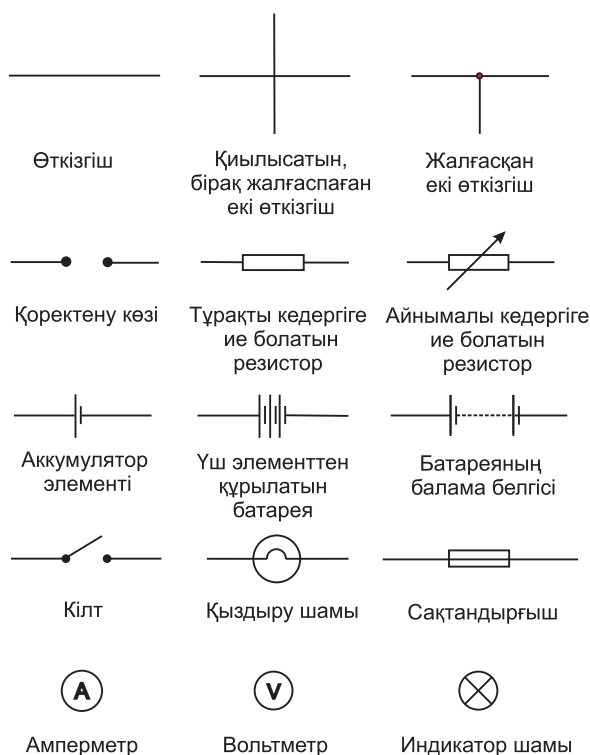
Практикада техникалық жүйелердің көптеген түрлері кездеседі. Мысал ретінде байланыс жүйесін (коммуникацияны) алайық. Жергілікті торап файл–серверден, коаксиальді кабельден, желі адаптерінен (бейімдеушіден), бірнеше компьютерден және лазерлік принтерден тұрады. Басқа мысал ретінде электрмеханикалық жүйені алуға болады, автомобильдің электр жүйесінің құрамына аккумулятор, стартер, тұтандыру орамы, сөндіру мен жағу, контактары мен дистрибьюторлер енеді. Осындай жүйелердің бәрін блок–сызбалар арқылы өрнектеуге болады.

2.2 Электр құраушыларының стандартты белгілері

Электрлік сызбаларда компоненттерді белгілеу үшін символдар қолданылады. Олардың ішінде әсіресе кең таралғаны стандартты символдар *2.4-суретте* келтірілген.

2.3 Электр тогы мен электр мөлшері

Барлық атомдар протоннан, электроннан және нейтроннан тұрады. Ядроның құрамына оң зарядталған протон мен зарядсыз нейтрон енеді. Ядроны теріс зарядталған электрон белгілі–бір қашықтықта айналып жүреді. Әр түрлі материалдардың атомдарының бір–бірінен ерекшеліктері осы протон, нейтрон мен электрон сандарының айырмашылығында. Атом ішінде протон мен электрон саны тең. Сондықтан атомды нейтралды электрлік баланста деп санайды, себебі онда теріс зарядтар мен оң зарядтардың сандары тең.



2.4-сурет

Егер атомда электронның саны екіден асатын болса, онда осы электрондар ядродан әртүрлі қашықтықта орналасқан электрон қабаттарында үлестіріліп орналасады. Ядроның сыртқы қабаттағы электрондарымен байланысы ішкі өзіне жақын жатқан қабаттармен салыстырғанда әлдеқайда әлсіз. Егер атом өзінің бір электронын жоғалтса, онда ол нейтрал бөлшектен зарядты бөлшекке, яғни **ионға** айналады. Енді ол электрлік баланста болмағандықтан оң зарядталады, сондықтан ол басқа атомнан электронды өзіне тартуға мәжбүр. Бір атомнан екінші атомға оңай өтетін электрондар **бос электрондар** деп аталады және мұндай кездейсоқ қозғалыстар шексіз ұзақ жалғаса береді. Егер материалға электрлік қысыммен немесе **электрлік кернеумен** әсер етсе, онда электрондар белгілі бір бағытта қозғала бастайды.

Мұндай бос электрондардың белгілі бір бағыттағы қозғалысын **электр тогының ағыны** деп атайды. Сонымен ток дегеніміз – зарядтар қозғалысының ағыны. **Өткізгіш** дегеніміз – өзінің құрамында ядромен әлсіз байланысқан электрондары бар материалдар. Бұл бос электрондар материал ішіндегі атомдар арасында біріне–бірі оңай ауысып отырады. **Изолятор** деп аталатын материалдарда ядро электрондарды өте мықты ұстап отырады, сондықтан бос электрондар оларда пайда бола алмайды. Q – электр зарядының мөлшері, оның өлшем бірлігі кулон ($1 \text{ кулон} = 6.24 \times 10^{18}$ электрондардың заряды). Егер 1 секунд аралығында өткізгіштен 1 кулон заряд өтетін болса, онда зарядтың ағыны 1 А токқа тең.

Сондықтан 1 ампер = 1 кулон/секунд немесе $1 \text{ A} = 1 \text{ Кл} / \text{c}$.

Олай болса 1 кулон = 1 ампер × секунд немесе $1 \text{ Кл} = 1 \text{ A} \cdot \text{c}$.

Егер I ток күші ампермен, ал t уақыт секундпен берілсе, онда олардың көбейтіндісі Q кулонмен алғандағы электр зарядының мөлшеріне тең. Олай болса электр зарядының мөлшері келесі өрнекпен анықталады.

$$Q = I \times t$$

1-есеп. 0.24 Кл зарядты 15 мс ішінде тасымалдау үшін қандай ток қажет?

Заряд мөлшері $Q = I \times t$ болғандықтан:

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{0.24}{15 \times 10^{-3}} = \frac{0.24 \times 10^3}{15} = \frac{240}{15} = 16 \text{ A}$$

2-есеп. Егер өткізгіштен 4 минут ішінде 10 А ток өтсе, онда заряд мөлшері қандай?

Заряд мөлшері: $Q = It$ кулон. $I = 10 \text{ A}$ $t = 4 \times 60 = 240 \text{ c}$

Олай болса, $Q = 10 \times 240 = 2400 \text{ Кл}$.

Келесі жаттығуларды орындаңыздар.

5-жаттығу. Зарядтың шамасын анықтау үшін қосымша-есептер

10 А ток 50 Кл зарядты қанша уақытта тасымалдай алады?
[5 с]

10 минут ішінде 6 А ампер ток қандай зарядты тасымалдайды?

[3600 Кл]

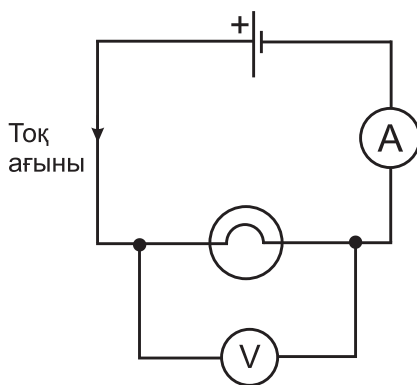
100 мА ток 80 кулон зарядты қандай уақытта тасымалдай алады?

[13 мин 20 с]

2.4 Потенциалдар айырымы мен кедергі

Тізбекте екі нүкте арасында үздіксіз ток өтуі үшін олардың арасында **потенциал айырымы** немесе кернеу (V) болуы қажет; ток болуы үшін электр энергиясының қоректендіру көзінен зарядты тасымалдайтын өткізгіштер керек. Потенциал айырымының өлшем бірлігі ретінде **вольт—В** алынады.

2.5-суретте құрамында қыздыру шамы бар тізбек көрсетілген. Тізбекте элементтің оң клеммасынан теріс клеммасына қарай сыз-



2.5-сурет

ба бойымен ток өтіп жатыр. Электр тоғы тізбектің ішінде үйкеліске ұшырайды. Бұл үйкеліс қарсылық кедергі деп аталады, ол өткізгіштің тоқты шектейтін қасиетіне жатады. Кедергінің өлшем бірлігі ретінде Ом алынады. Егер электр тізбегі бөлігінің кедергісі 1 Ом болса, онда 1 вольт кернеу 1 А ампер ток күшін тудырады.

$$\text{Кедергі, } R = \frac{\text{потенциал айырымы}}{\text{ток}}$$

2.5 Негізгі электр өлшегіш құралдар

Амперметр электр тоғының күшін өлшеуге арналған құрал және ол ток тізбегінде басқа элементтермен тізбектеп қосылады. 2.5-суретте амперметр ток тізбегінде ток күшін анықтау үшін тізбектеп қосылған. Осы тізбектегі барлық ток амперметр арқылы өтетіндіктен оның кедергісі өте төмен болуы тиісті.

Вольтметр потенциалдар айырымын өлшейтін құрал. Ол тізбектегі жүктемеге немесе электр энергия көзіне параллель қосылады. 2.5 (а)-суретте потенциалдар айырымын өлшеу үшін вольтметр шаммен параллель қосылған. Ток тізбегіндегі вольтметр арқылы өтетін токтың шамасын жоғалтпас үшін оның кедергісі өте жоғары болғаны жөн. Омметр – кедергіні өлшеу үшін арналған құрал.

Мультиметр – кернеуді де, кедергіні де, токты да өлшей алатын универсалды құрал. Оған мысал ретінде Авометр (қысқыша ампервольтомметр) жатады.

Осциллограф – сигналдарды байқауға, кернеу мен токты өлшеуге арналған құрал. Осциллографтың экранында жарық дағы қозғалып отырады. Осы жарық дағының алғашқы орнынан ауытқу шамасы осциллографтың клеммаларына (ұстатқыштарына) қосылады және осы ауытқу таңдап алынған диапазонға тәуелді. Осы ауытқу бөлік бағасымен анықталады. Мысалы, егер жарық дағы 3 см ауытқыса және бөлік бағасы $10 \text{ В} / \text{см}$ –мен

анықталса, онда потенциал айырымы келесі көбейтіндіге тең: $3\text{см} \times 10\text{В} / \text{см}$, яғни **30В**.

Ваттметр – электр тізбегіндегі қуатты өлшейтін құрал. **ВМ80 құралы** тізбектегі үзікті және кедергінің изоляциясын өлшейді. **Үздіксіздікті тексеру** дегеніміз тізбектегі кабельдің кедергісін тексеру болып табылады, яғни кабельдің үзілген жерлерінде немесе түйіскен жерде кедергінің өте үлкен болуы. **Изоляцияланған** (оқшауланған) **кедергіні** тестеу – кабельдер арасындағы изоляцияның кедергісін, жеке кабельдерді немесе розеткаларды тексеру деген сөз. **Изоляцияны тексеру немесе кедергіні тестілеу** деген ол жеке кабельдердің, розеткалардың, түзеткіштер мен сақтандырғыштардың және жерлендірудің кедергілерін өлшеу болып табылады.

Изоляциялық кедергі **1 Ом** – *нан* кем болмауы керек.

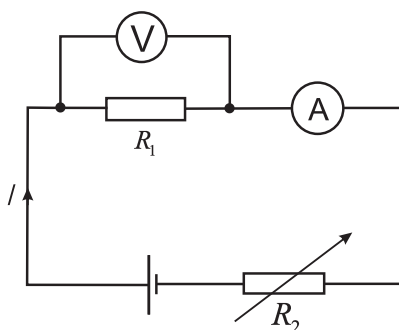
Тахометр – айналу жылдамдығын көрсететін құрал, әдетте, қозғалтқыш білігінің минутта айналу санынын көрсетеді.

Стробоскоп дегеніміз уақыт аралығында қайталана айналып тұратын объектіні бақылайтын құрал, оны ол айналмалы немесе дірілдейтін бекітпелер арқылы немесе мерзімде тұтанатын шамның ыңғайлы жобасымен жүзеге асырады. Егер бақылау уақытымен айналу кезеңдері зырылдауықтың бір айналым уақытымен сәйкес келсе, кезеңдердің ұзақтылығы өте қысқа және объект қозғалмайтындай болып көрінеді.

(10-тарауда келтірілген **электр өлшеуіш құралдар мен өлшеулер** тақырыбында бұл сұрақтар толығырақ қарастырылады).

2.6 Сызықтық және сызықтық емес құралдар

2.6-суретте келтірілген тізбекте айнымалы R_2 резистор арқылы токтың шамасын өзгертуге болады. R_1 мен R_2 резисторларында өтетін ток амперметрмен анықталады, R_1 ұштарындағы потенциал айырымы вольтметрде көрсетіледі, потенциал айырымы мен ток күшінің арасындағы байланыс график түрінде 2.7(а)–суретте келтірілген.



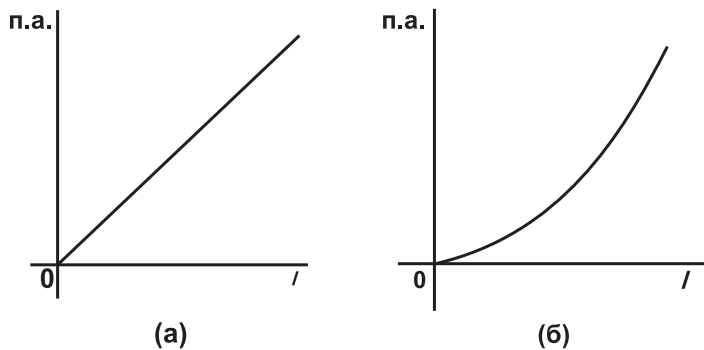
2.6-сурет

2.7(a)-суретте потенциал айырымы мен ток күшінің арасындағы тәуелділік графигі координата басынан өтетін түзу сызықпен сипатталған. Мұның өзі потенциал айырымының ток күшіне тура пропорционал екендігін көрсетеді.

Мұндағы п.а. – потенциалдар айырымы.

График градиентінің өзгермеуі потенциал айырымының токқа қатынасының тұрақты шама екенін көрсетеді, яғни R_1 кедергісі тұрақты деген сөз, олай болса резистор да сызықтық құрылғыға мысал бола алады.

Егер R_1 резисторды шам сияқты компонентке ауыстырса, онда график түрі 2.7 (b)-суретте көрсеткендей түзу сызықты бол-



2.7-сурет

май шығады. Бұл тәуелділіктің градиенті өзгермелі, сондықтан **шам сызықтық емес құрылғының** мысалы болып келеді.

2.7 Ом заңы

Тізбек бөлігіндегі I ток күші V кернеу мен R электр кедергісін байланыстырады, сондықтан осы теңдеуді тізбек бөлігіне арналған Ом заңы деп атайды, мұндай жағдай үшін температура тұрақты болуы қажет. Олай болса,

$$I = \frac{V}{R} \text{ немесе } V = IR \text{ немесе } R = \frac{V}{I}$$

Ом заңына арналған тәжірибелер 24 тарауда келтірілген.

3-есеп. Резистор арқылы өтетін ток 0.8 A , потенциалдар айырымы 20 B болғандағы кедергінің мәнін табыңыз.

Кедергі Ом заңы бойынша:

$$R = \frac{V}{I} = \frac{20}{0.8} = \frac{200}{8} = 25 \text{ Ом}$$

2.8 Еселі және бөлікті бірліктер

Ток, кедергі және кернеу сияқта параметрлер жиі үлкен де және өте кішкентай да шамалар болуы мүмкін. 1-тарауда көрсеткендей еселі және бөлікті бірліктер жиі қолданылады. **2.1-кестеде** солардың ішінде әсіресе, кең тараған бірліктері келтірілген.

2.1-кесте

Префикс	Аты	Мәні	Мысал
М	мега	$1000000 (x10^6)$	$2 \text{ МОм} = 2000000 \text{ Ом}$
к	кило	$1000 (10^3)$	$10 \text{ кВ} = 10000 \text{ В}$

м	милли	10^{-3}	$25 \text{ мА} = \frac{25}{1000} \text{ А}$
мк	микро	10^{-6}	$50 \text{ мкВ} = \frac{50}{1000000} \text{ В} = 0.00005 \text{ В}$

4-есеп. Кедергісі 2 кОм резистордан 10 мА тұрақты ток ағу үшін қандай потенциалдар айырымы қажет.

$$\text{Кедергі: } R = 2 \text{ кОм} = 2 \times 10^3 = 2000 \text{ Ом}$$

$$\text{Ток күші } I = 10 \text{ мА} = 10 \times 10^{-3} \text{ А}$$

$$\text{немесе } \frac{10}{10^3} \text{ А немесе } \frac{10}{1000} \text{ А} = 0.01 \text{ А}$$

Ом заңына сай потенциалдар айырымы тең:

$$V = IR = (0.01)(2000) = 20 \text{ В}$$

5-есеп. Орам бойымен 50 мА ток өтеді және оған 12 В кернеу беріледі, сондағы орамның кедергісін табыңыз.

$$\text{Кедергі тең } R = \frac{V}{I} = \frac{12}{50 \times 10^{-3}} = \frac{12 \times 10^3}{50} = \frac{12000}{50} = 240 \text{ Ом}$$

6-есеп. Батареяның кернеуі 100 В , ол резистор арқылы тізбекке қосылған және одан 5 мА ток өтеді, сонда резистордың кедергісі қандай? Егер кернеу 25 В – ке төмендесе, оған сәйкес ток күші қандай?

$$\text{Кедергі: } I = \frac{V}{R} = \frac{100}{5 \times 10^{-3}} = \frac{100 \times 10^3}{5} = 20 \times 10^3 = 20 \text{ кОм}$$

Кернеу 25 В азайғандағы ток күші:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{25}{20 \times 10^3} = \frac{25}{20} \times 10^{-3} = 1.25 \text{ мА}$$

7-есеп. Кернеуі 120 В қоректендіру көзінен орамның бойымен (а) 50 мА және (б) 200 мкА ток өтеді. Соған сәйкес орамның (катушканың) кедергісін табыңыз:

$$(a) \text{ кедергі: } R = \frac{V}{I} = \frac{120}{50 \times 10^{-3}} = \frac{120}{0.05} = \frac{12000}{5} = 2400 \text{ Ом}$$

немесе 2.4 кОм

$$(b) \text{ кедергі, } R = \frac{120}{200 \times 10^{-6}} = \frac{120}{0.0002} = \frac{1200000}{2} = 6000 \text{ Ом}$$

немесе 600 кОм

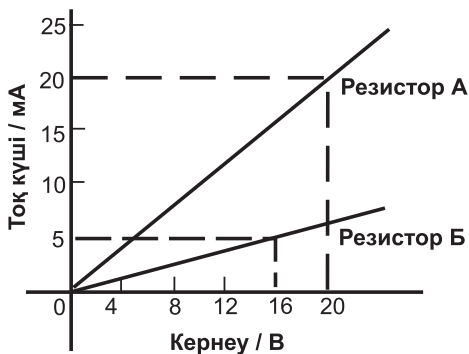
немесе 0.6 МОм

8-есеп. 2.8-суретте график түрінде А және В резисторлары үшін ток күшінің кернеуге қатынастары келтірілген. Әрбір резистор үшін оның кедергілерінің мәндерін табыңыз.

А резисторы үшін

$$R = \frac{V}{I} = \frac{20V}{20mA} = \frac{20}{0.02} = \frac{2000}{2} = 1000 \text{ Ом немесе } 1 \text{ кОм}$$

В резисторы үшін?



2.8-сурет

$$R = \frac{V}{I} = \frac{16V}{5mA} = \frac{16}{0.005} = \frac{16000}{5} = 3200 \text{ Ом немесе } 3.2 \text{ кОм}$$

Келесі жаттығуларды орындаңыздар.

6-жаттығу. Ом заңына қосымша-есептер.

1. Жылытқыш элементтен өтетін ток күші 5 A , потенциалдар айырымы 35 B жеткен кезде оның кедергісі қандай болады?

[7 Ом]

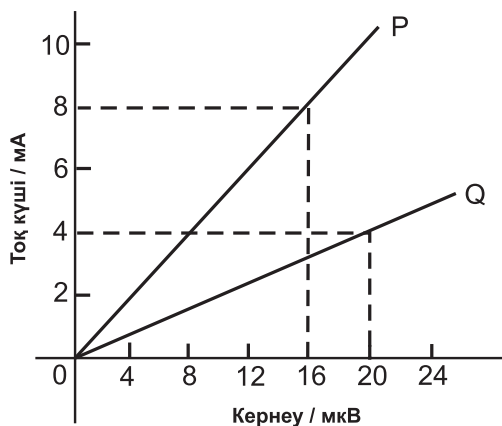
2. 600 Вт электр шамы 240 B ток көзіне жалғасқан (а) шамның ток күшін және (б) шамның кедергісін есептеңіздер.

[(а) 0.25 A (б) 960 Ом]

3. 2.9-суретте P және Q екі резистор үшін токтың кернеуге қатынасының графигі келтірілген. Әрбір резистор үшін олардың кедергілерін-есептеңіздер.

[2 мОм 5 мОм].

4. Егер резистордың кедергісі 5 кОм , ал ток күші 6 mA болса, онда оның потенциалдар айырымы қандай болғаны?



2.9-сурет

[30 В]

5. Ток көзінің э.қ.к. 20 В , кедергісі 400 Ом тізбекке қосылған. Тізбектен қандай ток өтеді?

[50 мА]

2.9 Өткізгіштер мен диэлектриктер (изоляциялар)

Электр тогын өткізетін меншікті кедергісі төмен заттарды өткізгіш деп атайды. Барлық металдар өткізгіштерге жатады, мысалы, мыс, алюминий, күміс, алтын, платина және т.б.

Изолятор немесе диэлектрик – меншікті кедергісі өте жоғары электр тогын мүлдем өткізбейтін зат. Оған пластмасса, резеңке, фарфор, слюда, керамика, шыны, ауа, тығын, қағаз және мұнай мен мұнай өнімдері жатады.

2.10 Электр қуаты мен энергия

Электр қуаты

Бірінші тарауда келтіргендей электр тізбегіндегі P – қуаты дегеніміз V – потенциал айырымы мен I ток күшінің көбейтіндісі. Оның өлшем бірлігі ватт, Вт. Олай болса,

$$P = V \times I \text{ ватт} \quad (1)$$

Ом заңынан келесі өрнек шығады: $V = IR$. (1) теңдеуге V мәнін қоя отырып, өрнекті табамыз:

$$P = (IR) \times I \text{ яғни } P = I^2 R$$

$$\text{Сонымен Ом заңынан: } I = V / R .$$

Теңдеуге ток күшінің мәнін қоя отырып, табамыз:

$$P = V \times \frac{V}{R} \text{ яғни } P = \frac{V^2}{R} \text{ теңдеуі шығады.}$$

Қуатты-есептеу үшін үш түрлі формуланы пайдалануға болады.

9-есеп. 100 Вт электр шамы кернеуі 250 В ток көзіне қосылған.
(а) электр шамының ток күшін; (б) электр шамының кедергісін есептеңіздер.

$P = V \times I$ қуаттың өрнегінен ток күшін табамыз: $I = \frac{P}{V}$

(а) ток күші $I = \frac{100}{250} = \frac{10}{25} = \frac{2}{5} = 0.4 \text{ А}$

(б) кедергі $R = \frac{V}{I} = \frac{250}{0.4} = \frac{2500}{4} = 625 \text{ Ом}$

10-есеп. 5 кОм кедергі арқылы 4 мА ток өткендегі тұтынылатын қуатты есептеңіз.

Қуаттың теңдеуі:

$$P = I^2 R = (4 \times 10^{-3})^2 (5 \times 10^3) = 16 \times 10^{-6} \times 5 \times 10^3 \\ = 80 \times 10^{-3} = 0.08 \text{ Вт}$$

Немесе **80 мВт**

Сонымен қатар $I = 4 \times 10^{-3}$ мен $R = 5 \times 10^3$ осы мәндерінен бастап, Ом заңына сүйене отырып, кернеу өрнектеледі:

$$V = IR = 4 \times 10^{-3} \times 5 \times 10^3 = 20 \text{ В}$$

Олай болса, қуат $P = V \times I = 20 \times 4 \times 10^{-3} = 80 \text{ мВт}$

11-есеп. Электр шәйнегінің кедергісі 30 Ом, осы шәйнекті кернеуі 240 В ток көзіне жалғаған, сондағы ток пен шәйнектің номиналды қуаты қандай?

Ток күшінің теңдеуі: $I = \frac{V}{R} = \frac{240}{30} = 8 \text{ А}$

Шәйнектің номиналды қуаты:

$$P = VI = 240 \times 8 = 1920 \text{ Вт} = 1.92 \text{ кВт}$$

12-есеп. Электрқозғалтқыш орамның ток күші 5 А , кедергісі 100 Ом : (а) орамның потенциал айырымын; (б) орамның тұтынатын қуатын есептеңіздер.

(а) Орамадағы потенциал айырымы:

$$V = IR = 5 \times 100 = 500 \text{ В}$$

(б) Орамның тұтыну қуаты:

$$P = I^2 R = 5^2 \times 100 = 2500 \text{ Вт} = 2.5 \text{ кВт}$$

Басқа жолы: $P = V \times I = 500 \times 5 = 2500 \text{ Вт}$ немесе 2.5 кВт

13-есеп. Кернеуі 240 В ыстық қызу шамының кедергісі 360 Ом .

Шамның тұтынатын номиналды қуаты мен оның ток күшін есептеңіздер.

Ом заңына сүйене отырып, келесі өрнектерді келтірейік:

$$\text{Ток күші: } I = \frac{V}{R} = \frac{240}{360} = \frac{24}{96} = \frac{1}{4} \text{ А немесе } 0.25 \text{ А}$$

$$\text{Номиналды қуаты: } P = VI = (240) \left(\frac{1}{4} \right) = 60 \text{ Вт}$$

Электр энергиясы

Электр энергиясы = қуат \times уақыт

Егер қуат ваттпен ал уақыт секундпен өлшенсе, онда энергияның өлшем бірлігі ватт – секунд немесе **джоуль** болады. Ал егер қуатты киловаттпен, ал уақытты сағатпен алса, онда энергияның өлшем бірлігі **киловатт–сағат** болады. Немесе оны жиі ‘**электр бірлігі**’ депте атайды. Үйдегі ‘электр санауыш’ тоқтың жұмысын киловатт–сағатпен тіркеп жазып отырады, сонда тұтынған энергияны есептейтін құрылғы электр санауыш қондырғысы болып табылады. Төменде берілген есептерде санауыш бойынша тұтынатын энергияға төлем ақша ағылшын

фунт стерлингiсiмен және пенспен берiледi. Бiр фунт стерлинг 246 теңгеге балама және ол 100 пенстен тұратынын есеп шығарғанда естен шығармау керек.

14-есеп. Кедергiсi 40 Ом , кернеуi 12 В аккумулятор тiзбекке жүктеме арқылы қосылған. Осы жүктеме арқылы өтетiн токты, 2 минут iшiнде тұтынылатын қуат пен энергияны есептеңiз.

Ток күшiнiң теңдеуi:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{12}{40} = 0.3 \text{ A}$$

Тұтынатын қуат:

$$P = VI = (12)(0.3) = 3.6 \text{ Вт}$$

Энергияның тұтынатын шығыны = қуат = уақыт

$$= (3.6 \text{ Вт}) (2 \times 60 \text{ с}) = 432 \text{ Дж}$$

$$(1 \text{ Дж} = 1 \text{ Вт} \cdot \text{с}).$$

15-есеп. 15 В э.қ.к.-нiң көзiнен 6 минут iшiнде ток өтедi. Осы уақытта қандай электрлiк энергия пайда болады?

Энергия = қуат × уақыт және қуат = кернеу × ток күшi.

Сонда:

$$\text{Энергия} \quad VIt = 15 \times 2 \times (6 \times 60) = 10800 \text{ Вт} \cdot \text{с}$$

Немесе 10800 Вт · с немесе Дж = 10.8 кДж

16-есеп. 240 В кернеу көзiнен кеңседегi электр жабдығы 13 А токты қабылдайды. Егер әрбiр киловатт–сағат энергия үшiн 1275 пенс жұмсалса және электр жабдығы апта бойына 30

сағат энергияны тұтынса, бір апта ішінде тұтынылатын энергияның құнын есептеңіздер.

$$\text{Қуат, } VIWt = 240 \times 13 \times (3.12 \text{ кВт}) \times (30 \text{ сағ}) = 93.6 \text{ кВт} \cdot \text{сағ}$$

$$\begin{aligned} \text{Энергия (бір апта үшін)} &= \text{қуат} \times \text{уақыт} \\ &= (3.12 \text{ кВт}) \times (30 \text{ сағ}) \\ &= 93.6 \text{ кВт} \cdot \text{сағ} \end{aligned}$$

Бір киловатт сағаттың құны 12.5 пенс болса, 93.6 кВт·сағ үшін қанша төленеді: $93.6 \text{ кВт} = 93.6 \times 12.5 = 1170$ пенс. Олай болса аптасына электр қуатына төленетін ақы = **11.70 фунт стерлинг**.

17-есеп. 250 В кернеу көзінен 40 минут ішінде электр жылытқыш 3.6 МДж энергияны тұтынды. Электр жылытқыштың номиналды қуатын және тоқтың шамасын есептеңіздер.

Қуат = уақыт энергиясы

$$= \frac{3.6 \times 10^6 \text{ Дж}}{40 \times 60 \text{ с}} \text{ (немесе Вт)} = 1500 \text{ Вт} = 1.5 \text{ кВт}$$

Сонымен, жылытқыштың қуаты = 1.5 кВт .

$$\text{Қуат } P = VI \text{ осыдан } I = \frac{P}{V} = \frac{1500}{250} = 6 \text{ А}$$

Ток көзінен тұтынатын тоқтың шамасы **6 А** .

18-есеп. Кедергісі 20 Ом электр қыздырғыштан 10 А ток өткен кездегі тұтынылатын қуат қандай? Егер электр энергиясының бір киловатт–сағатының құны 13 пенс болса, онда 6 сағат бойы қыздырылған электр қыздырғыштың тұтынатын энергиясы қандай?

$$\text{Қуат } P = I^2 R = 10^2 \times 20 = 100 \times 20 = 2000 \text{ Вт} = 2 \text{ кВт}$$

(Басқа жолмен шығарғанда, Ом заңына сай:

$$V = IR = 10 \times 20 = 200 \text{ В},$$

Сонымен қуат $P = V \times I = 200 \times 10 = 2000 \text{ Вт} = 2 \text{ кВт}$).

6 сағат бойы тұтынылған энергия = қуат \times уақыт = $2 \text{ кВт} \times 6 \text{ сағ} = 12 \text{ кВт} \cdot \text{сағ}$.

Электр энергиясын $1 \text{ кВт} \cdot \text{сағатпен}$ алғандағы саны;

Олай болса тұтынатын бірліктер саны 12 болғаны. Сонымен энергияның ақысы = $12 \times 13 \text{ пенс} = 156 \text{ пенс} = 1.56 \text{ фунт стерлинг}$

19-есеп. Әрқайсысы 3 кВт екі жылытқыш орташа алғанда аптасына 20 сағат тұтынылған, сонымен қатар 150 Вт 6 жарық шамы аптасына әрқайсысы 30 сағаттан пайдаланылған, егер электр энергиясының құны әр бірлік үшін 14 пенс болса, онда тұтыну үшін аптасына қанша электр энергияның шығыны жұмсалған?

Энергия = қуат \times уақыт.

20 сағат ішінде 3 кВт қуаты бар бір қыздырғыштың тұтынатын энергиясы = $3 \text{ кВт} \times 20 \text{ сағ} = 60 \text{ кВт} \cdot \text{сағ}$.

3 кВт қуаты бар екі қыздырғыштың бір аптада тұтынатын

Энергиясы = $2 \times 60 = 120 \text{ кВт} \cdot \text{сағ}$.

150 кВт қуаты бар бір жарық көзінің 30 сағаттағы тұтынатын энергиясы = $150 \text{ Вт} \times 30 \text{ сағ} = 4500 \text{ Вт сағ} = 4.5 \text{ кВт} \cdot \text{сағ}$.

Сонымен 150 ватты 6 жарық шамының бір аптадағы = $6 \times 4.5 =$ энергиясы = $27 \text{ кВт} \cdot \text{сағ}$.

Бір аптадағы тұтынылған жалпы энергия

$$= 120 + 27 = 147 \text{ кВт} \cdot \text{сағ}.$$

Электр энергиясының 1 бірлігі = $1 \text{ кВт} \cdot \text{сағ}$. Апта сайын 1 кВт сағатқа кететін шығын $14 \text{ пенс} = 14 \cdot 147 = 2058 \text{ пенс} = 20 \text{ фунт стерлинг } 58 \text{ пенс}$

Келесі жаттығуларды орындаңыздар.

7-жаттығу. Қуат және энергияға арналған қосымша-есептер.

1. Кернеуі 250 В ыстық қыздыру шамының кедергісі 625 Ом . Шамның тұтынатын қуаты мен ток күшін есептеңіздер.

[$0.4 \text{ А } 100 \text{ Вт}$]

2. Орама 150 В кернеу көзіне қосылған, кедергісін есептеңіз, егер оның бойынан келесі шамадағы токтар өтсе:

(a) 75 мА ; (b) 300 мкА .

[(a) 2 кОм (b) 0.5 МОм]

3. 240 В кернеу көзіне тоғы 12 А электр қыздырғыш алауошақ қосылған, сонда осы жабдықтың кедергісін табыңыз. Сонымен қатар 20 сағат ішінде электр қыздырғыш алауошақпен тұтынылатын энергия мен қуатты есептеңіз.

[$20 \text{ Ом}, 2.88 \text{ кВт}, 57.6 \text{ кВт} \cdot \text{сағ}$]

4. 8 кОм кедергісі бар аспаптан 10 мА ток өтеді, сондағы тұтынатын қуатты анықтаңыз.

[0.8 Вт]

5. 85.5 Дж энергия 9 секунд ішінде жылуға айналады, қуатты есептеңіз.

[9.5 Вт]

6. Өткізгіш арқылы 4 А ток өткенде 10 Вт қуат өндіріледі. Сонда өткізгіштің ұштарында қандай потенциалдар айырымы пайда болады?

[2.5 В]

7. Келесі жағдайлар үшін қуатты есептеңіздер. Егер:

(a) 20 кОм кедергі арқылы 5 мА ток өтсе;

- (b) Кернеуі 400 В резистордың кедергісі 120 кОм болса;
 (c) Кернеуі 10 кВ резистордан 4 мА ток өтсе.

[*(a) 0.5 Вт (b) 1.33 Вт (c) 40 Вт*]

8. Э.қ.к.-і 15 В , тоғы 2 А элемент 5 минут ішінде қанша электр энергиясын шығарады?

[*9 кДж*]

9. Энергиясы 72 МДж 400 В кернеу көзіне 2 сағат 30 минут аралығында тұрақты электрқозғалтқышы қосылған. Осы электр қозғалтқыштың тұтынатын номиналды қуаты мен тоғын есептеңіз.

[*8 кВт; 20 А*]

10. Кедергісі 50 Ом электр қозғалтқышының орамсына 500 В потенциал айырымы келтірілген. Осы орамның тұтыну қуатын есептеңіз.

[*5 кВт*]

11. Үй шаруашылығында қуаты 2 кВт үш жылытқыш пайдаланылған. Оның әрқайсысы 25 сағат бойы іске қосылған. 100 Вт 8 жарық шамы 35 сағат бойы жанған. Егер электр энергиясының бірлігіне 15 пенс жұмсалатын болса, онда бір аптадағы электр энергиясының құны қандай?

[*26 фунт стерлинг 70 пенс*]

12. Электр шамының кедергісі 30 Ом , ал одан өтетін ток 10 А . Электр шамы 30 сағат бойы жанса және энергия бірлігін 13.5 пенс деп алса, онда тұтыну қуаты мен оның құны қандай және қанша энергия жұмсалады?

[*3 кВт, 90 кВт·сағ, 12 фунт стерлинг 15 пенс*]

2.11 Электр тоғының негізгі қасиеттері

Электр тоғының ең негізгі үш қасиеттері:

- а) Магниттік қасиеті;*
- ә) Химиялық қасиеті;*
- б) Жылу қасиеті.*

Электр тоғы әсерлерінің кейбір практикалық қолданулары:
Магниттік әсерлері: қоңырау, реле, қозғалтқыштар, генераторлар, трансформаторлар, телефон, автокөліктердің оталдыруы мен жүк көтеру магниттері (8-тарауды қараңыздар).

Химиялық әсерлер: бастапқы және қайталама элементтер (Аккумулятор батареялары, аккумулятор), гальваникалық қаптау (4-тарауды қараңыз).

Жылу әсерлері: плиткалар, су қыздырғыштар, электр пештер, үтіктер, шәйнектер, дәнекерлегіштер.

2.12 Сақтандырғыштар

Егер құрылғылардың бір бөліктерінде ақау кетсе, онда ток шамадан тыс аға бастайды, осы себептен құрылғы қызып кетіп, өрт басталуы мүмкін. Сақтандырғыш құрылғыны осындай қауіпті жағдайлардан қорғай алады. Сонда сақтандырғыш құрылғы мен ток көзінің арасында орналасып, ток күшінің рұқсат етілген мөлшерін реттеп отырады. Сақтандырғыш сымның бір бөлігі, ол арқылы рұқсат етілген ток өтіп жатады, егер ток күші рұқсат етілген мөлшерден асып түссе, осы сымның бөлігі ери бастайды, сол себептен тізбекте ток жүрмей, құрылғы оқшауланып, ток көзінен үзіледі. Сақтандырғыш жабдықтың жұмыс тоғымен салыстырғанда одан бірнеше артық токты рұқсат етуді қамтамасыздандырып, токтың шағын ырғағын тудырады. Кейбір жабдықтарды ток көзіне қосқан кезде қысқа мерзім ішінде ток өте қатты өсіп кетуі мүмкін. Егер орнатылған сақтандырғыш токтың осы ырғағына төтеп берсе, онда ол қалыпты токтан жоғары мөлшерлерді де көтере алады, сөйтіп ол құрал жабдықтарды ақаулықтан, жарамсыздықтан сақтай алады. Сондықтан сақтандырғыштарда арнаулы токтың ырғағына қарсы тұра алатын компоненттер орналастырылады. Осындай ток ырғақтары 10 миллисекунд ішінде номиналды ток мөлшерінен ондаған есе артып кетуі мүмкін. Міне осындай жағдайларда ток ырғағы он миллисекундтан әлдеқайда

артық жалғасса, онда сақтандырғыш жанып кетеді. 2.4-суретте сақтандырғыштың сызбадағы шартты белгісі келтірілген.

20-есеп. 5 А , 10 А және 13 А сақтандырғыштардың қайсысы төмендегі екі құрылғыларға қолайлы:

(а) қуаты 1 кВт электр тостері

(b) номиналды қуаты 3 кВт электр шамы.

Қуат: $P = VI$,

осыдан ток күші: $I = PV$

(a) Тостер үшін:

$$\text{Ток күші } I = \frac{P}{V} = \frac{1000}{240} = \frac{100}{24} = 4.17 \text{ А}$$

Олай болса ең қолайлы ток күші 5 А сақтандырғыш.

(b) Электр шамы үшін

$$\text{Ток } I = \frac{P}{V} = \frac{3000}{240} = \frac{300}{24} = 12.5 \text{ А}$$

Олай болса ең қолайлы ток күші 13 А сақтандырғыш.

Келесі жаттығуларды орындаңыздар.

8-жаттығу. Сақтандырғышқа арналған қосымша есептер

Теледидардың номиналды қуаты 120 Вт электр қозғалтқыштың номиналды қуаты 1 кВт және бұл екі аспапта 250 В кернеу көзіне жалғанған. Сонда үш сақтандырғыштардың қайсысы: 3 А , 5 А немесе 10 А аспаптардың әрқайсысына сәйкес келе алады?

[3 А, 5 А]

2.13 Изоляциялық материалдар және оның қауіпсіздігі

Электр аспаптарында изоляциялық материалдарды қолдану өте қажетті мәселе, себебі ол бір жағынан жылудың шығынын алдын ала сақтайды, яғни жылу тарқаймайды, сондықтан өрттің қауіп-қатері орын алмайды. Сонымен қатар изоляциялық материалдардың температуралық диапазоны максималды, яғни ол жылу әсеріне зақымданбай төзе алады. Олай болса, барлық аспаптар мен электр элементтері өздерінің номиналды ток мөлшерлерімен шектелген, сондықтан жылуды сақтаудың қауіпсіз шектері болады. Сонымен қатар изоляциялық материалдарды таңдағанда кернеудің максимум шамасын ескерген жөн.

9-жаттығу. Электр тізбегіне арналған сұрақтар

1. Электр сызбаларын пайдалана отырып, келесі компоненттер үшін керекті шартты белгілерді қойыңыздар:

- (a) тұрақты кедергі;
- (b) элемент;
- (c) қыздыру шамы;
- (d) сақтандырғыш;
- (e) вольтметр.

2. Өлшем бірлігін көрсетіңіз:

- (a) ток күші
- (b) потенциалдар айырымы
- (c) кедергі

3. Өлшеуіш аспаптардың атын атаңыздар:

- (a) ток күші
- (b) потенциалдар айырымы
- (c) кедергі

4. Мультиметр деген не?

5. Өлшеуіш аспаптардың атын атаңыздар:

- (a) қозғалтқыштың айналу жылдамдығы

(b) қысқа тұйықталу мен үзіктерді анықтайтын

(c) электр қуатын

6. Ом заңына анықтама беріңіздер:

7. Келесі құрылғыларға мысал келтіріңіздер:

(a) сызықтық құрылғы

(b) сызықтық емес құрылғы

8. Электрлік өлшем бірліктеріне арналған төмендегі қысқартылған префикстердің мағынасын келтіріңіздер:

(a) *к*

(b) *мк*

(c) *м*

(d) *М*

9. Өткізгіш дегеніміз не және оған мысал келтіріңіздер.

10. Диэлектрик немесе изолятор дегеніміз не және оған мысал келтіріңіздер.

11. Электр энергиясын өлшейтін екі өлшем бірлікті атаңыздар.

12. Келесі анықтаманы толықтырыңыздар.

«Вольтметрдің кедергісі... және ол жүктемеге... қосылу керек.

13. Электр қуатының өлшем бірлігі. Қуатты есептейтін үш формуланы келтіріңіздер.

14. Электр тогының ең негізгі үш әсерін атаңыздар және әрқайсысына екі–екіден мысал келтіріңіздер.

15. Электр тізбегінде сақтандырғыш қандай қызмет атқарады?

16. Келесі тұжырымды толықтырыңыздар: амперметрдің кедергісі... және ол жүктемеге... жалғану керек.

10-жаттығу. Электр сызбасына арналған сұрақтар (жауаптары кітаптың соңында)

1. 60 мкс төмендегі қай нұсқаға эквивалентті:

(a) 0.06 с (b) 0.00006 с (c) 1000 мин

(d) 0.6 с 2. 10 мс ішінде 0.1 Кл заряд өткенде токтың шамасы қандай?

- (a) 1 А
- (b) 10 А
- (c) 10 мА
- (d) 100 мА

3. 100 мкА ток өту үшін 1 кОм кедергіге қанша потенциалдар айырымын келтіру керек.

- (a) 1 В
- (b) 100 В
- (c) 0.1 В
- (d) 10 В

4. Электр қуатының төменде келтірілген формулаларының қайсысы дұрыс емес?

- (a) VI
- (b) $\frac{V}{I}$
- (c) I^2R
- (d) $\frac{V^2}{R}$

5. 4 Ом кедергіден 5 А тогы өтеді, сонда қуаттың мөлшері қандай:

- (a) 6.25 Вт
- (b) 20 Вт
- (c) 80 Вт
- (d) 100 Вт

6. Келесі тұжырымның қайсысы дұрыс?

(a) Электр тогы вольтпен өлшенеді
 (b) 200 кОм және 2 МОм кедергілердің шамалары біріне бірі эквивалентті

(c) Амперметрдің кедергісі төмен, сондықтан сызбада ол параллель жалғанады

(d) Электр изоляторының кедергісі өте үлкен.

7. 50 сағатта 3А ток 6 резистордан өтеді, сондағы тұтыну энергиясы қандай?

- (a) $0.9 \text{ кВт} \cdot \text{сағ}$
- (b) $2.7 \text{ кВт} \cdot \text{сағ}$
- (c) $9 \text{ кВт} \cdot \text{сағ}$
- (d) $27 \text{ кВт} \cdot \text{сағ}$

8. Электр аспабы пайдаланатын энергияны-есептеу үшін нені білу қажет?

- (a) кернеу мен ток күшін
- (b) ток күші мен уақыт
- (c) қуат пен уақыт
- (d) ток күші мен кедергі

9. Кернеудің тңсуі деген:

- a) максимум потенциал
- (b) екі нүкте арасындағы потенциалдар айырымы
- (c) ток көзінің кернеуі
- (d) тізбек соңындағы кернеу

10. Кернеуі 240 В, қуаты 60 Вт шамның кедергісі қандай?

- (a) 1400 Ом
- (b) 60 Ом
- (c) 960 Ом
- (d) 325 Ом

11. 240 В кернеу көзіне сақтандырғыш қойылған, сонда тізбекке қанша 100 Вт электр шамын қосуға болады?

- (a) 2
- (b) 7
- (c) 31
- (d) 18.

12. 5 минутта қуаты 1.5 кВт қыздырғыш қанша энергия тұтынады?

- (a) 5 Дж
- (b) 450 Дж
- (c) 7500 Дж
- (d) 450 000 Дж

13. Атом электронын жоғалтқанда, ол:

- (a) оң зарядты бөлшекке айналады
- (b) ыдырайды
- (c) ешқандай өзгеріске ұшырамайды
- (d) теріс зарядталған бөлшекке айналады

3–тарау

Кедергінің өзгеруі

Осы бөлімнің соңында меңгеретін сұрақтардың тізімі:

- Резистор құрылымының жалпы үш түрін тану
- Электр кедергісінің төрт фактордан тәуелділігін білу
- Кедергінің формуласын меңгеру $R = \rho l / a$, мұндағы, ρ меншікті кедергі
- Меншікті кедергіні және оның өлшем бірліктерін тану
- $R = \rho l / a$ формуласын есептеулерде пайдалану
- Кедергінің температуралық коэффициентін анықтай білу, α
- α –ның негізгі мәндерін білу
- $R_\theta = R_0(1 + \alpha\theta)$ өрнегін есептеулерде пайдалану
- Тұрақты резистордың кедергісі мен шыдамдылығын оның түсті коды арқылы анықтау

3.1 Резисторлардың конструкциялары

Резисторлардың түрі кең спектрлі болады. Ең жалпы тараған конструкцияларының үш әдістері белгілі: **оралған сымнан, металл тотығынан жасалған және көміртегі резисторлары.**

(i) Сым оралған резисторлар

Нихром, манганин сияқты сымдардың ұзындығын керекті мөлшерде кесуге, керамика формаларына орауға, лактауға болады, ұзындық бірлігіне белгілі бір кедергінің мағынасы берілген. Мұндай резисторлардың мөлшерлері үлкен болғандықтан, ол оның кемшілігіне жатады, бірақ олардың дәлділігі мен номиналды қуаттары өте жоғары; сым оралған резисторлар күштік тізбектер мен электрқозғалтқышты іске қосуда пайдаланады.

(ii) Металл тотығынан жасалған резисторлар

Шыны пластинанкаға өте жұқа металдың тотығы жағылып, күйдіріледі, осы себептен шыныда тотықтың орнында із қалады. Сонан кейін ол түгелімен сыртқы түтікшеге орналастырылады. Металл тотықты резисторлар электронды жабдықтарда пайдаланылады.

(iii) Көміртегі резисторлары

Мұндай резисторлар көміртегі мен отқа төзімді үгінділердің қоспасынан тұрады, қоспа сығымдалып, отқа күйдіріліп, олардан ұзындығы мен ені стандартқа сай етіліп, өзек (стерженьдер) дайындалады. Олардың кедергілерінің шамасы құрамындағы заттардың қатынасына тәуелді. Металдың ұшы өзекке бұралып жалғанғандықтан электр тізбегі тұйықталады. Мұндай резисторлар кішкентай, дәлділігі шектеулі, қуаттары төмен және жаппай өтімділігі арзан болып келеді. Көміртегі резисторлары электрондық құрылғыларда кеңінен қолданылады.

3.2 Электрлік кедергі мен меншікті электрлік кедергі

Электр өткізгіштің кедергісі төрт факторға тәуелді: (a) өткізгіштің ұзындығына, (b) өткізгіштің көлденең қимасына, (c) материалдың табиғатына, (d) материалдың температурасына. R – кедергі өткізгіштің l – ұзындығына тура пропорционал, яғни

$R \propto l$. Мысалы, егер сымның ұзындығын екі еселеп ұлғайтса, онда оның кедергісі де екі еселенеді.

Кедергі өткізгіштің көлденең қимасының ауданына кері пропорционал, яғни $R \propto 1/a$, олай болса, мысалы, сымның көлденең қимасының ауданы екі еселенсе, онда оның кедергісі керісінше екі есе азаяды.

$R \propto l$ мен $R \propto 1/a$ алынады. Осы өрнекке пропорционал коэффициентін қосу арқылы жаңа теңдеу алуға болады.

Бұл пропорционал тұрақты коэффициент немесе материалдың меншікті кедергісі ретінде белгілі және оның грекше символы – ρ .

Ол белгілі кедергі, R , оның өлшем бірлігі Ом.

$$\text{Кедергі } R = \frac{\rho l}{a} \text{ Ом}$$

ρ – меншікті кедергінің өлшем бірлігі Ом·м. Материалдың бірлік кубының кедергісі осы кубтың қарама-қарсы қырларының арасындағы кедергісімен өлшенетінін ρ -дің мәні анықтай алады.

Меншікті кедергі температураға тәуелді. Кейбір материалдардың меншікті кедергісінің (бөлме температурасына сай) мәндері төменде келтірілген.

Мысалы,

Мыс 1.7×10^{-8} Ом (0.017 мкОм)

Алюминий 2.6×10^{-8} Ом · м (0.026 мкОм · м)

Көміртегі 10×10^{-8} Ом · м (немесе 0.10 мкОм · м)

Шыны 1×10^{10} Ом · м (немесе 10^4 мкОм · м)

Слюда, (қара шақпақ тас) 1×10^{13} Ом · м (немесе 10^7 мкОм · м)

Күшті электр өткізгіштердің кедергілері төмен және жақсы диэлектриктердің кедергілері керісінше өте жоғары.

1-есеп. Ұзындығы 5 м сымның кедергісі 600 Ом. Осы сымның (а) 8 м ұзындығы үшін кедергісін есептеңіз, (б) кедергісі 420 Ом болғандағы осы сымның ұзындығын табыңыз.

(а) R кедергі l – сымның ұзындығына тура пропорционал, яғни $R \propto l$ Олай болса $600 \text{ Ом} \propto 5$ немесе $600 \text{ Ом} = (k)(5)$, мұндағы, k пропорционалдық коэффициент.

$$\text{Олай болса, } = \frac{600}{5} = 120$$

Сымның ұзындығы 8 м болғанда оның кедергісі

$$R = kl = (120)(8) = \mathbf{960 \text{ Ом}}$$

(b) Кедергі 420 Ом болғанда $420 = kl$

$$\text{осыдан } l = \frac{420}{k} = \frac{420}{120} = \mathbf{3.5 \text{ м}}$$

2-есеп. Сымның көлденең қимасының ауданы 2 мм^2 оған сәйкес кедергі 300 Ом . (а) Осы ұзындыққа сәйкес сымның кедергісін және сонымен қатар сымның көлденең қимасы 5 мм болса, оның қандай материалдан жасалғанын; (b) кедергісі 750 Ом сымның ұзындығына сай оның көлденең қимасының ауданын табыңыз.

R – кедергі өткізгіштің көлденең қимасының ауданына кері пропорционал. Олай болса $R \propto l / a$

$$\text{яғни } 300 \text{ Ом} \propto \frac{1}{2} \text{ мм}^2 \text{ немесе } 300 = (k)\left(\frac{1}{2}\right)$$

осыдан пропорционалдық коэффициент

$$k = 300 \times 2 = 600$$

(а) Сымның көлденең қимасының ауданы $a = 5 \text{ мм}^2$ тең болғанда,

$$R = (k)\left(\frac{1}{5}\right) = (600)\left(\frac{1}{5}\right) = \mathbf{120 \text{ Ом}}$$

Сымның көлденең қимасының ауданы ұлғайғанда кедергі азаяды.

$$(b) \text{ Кедергі } 750 \text{ Ом болғанда } 750 = (k) \left(\frac{1}{a} \right)$$

Осыдан сымның көлденең қимасының ауданы

$$a = \frac{k}{750} = \frac{600}{750} = 0.8 \text{ мм}^2$$

3-есеп. Сымның ұзындығы 8 м көлденең қимасының ауданы 3 мм², кедергісі 0.16 Ом. Егер осы сымның көлденең қимасын 1 мм дейін созса, сымның жаңа кедергісі қандай болғаны?

R кедергісі l ұзындыққа $R \propto l$ тура пропорционал ал өткізгіштің a көлденең қимасына кері пропорционал, олай болса $R \propto l/a$ немесе $R = k(l/a)$ болғаны. Мұндағы, k – пропорционалдық коэффициент

$$R = 0.16, l = 8, a = 3$$

$$\text{сонда } 0.16 = (k)(8/3)$$

$$\text{осыдан } k = 0.16 \times 3 / 8 = 0.06$$

Егер өткізгіштің көлденең қимасының ауданы алғашқы ауданымен салыстырғанда $1/3$ есе азайса, онда оның ұзындығы да 3 есе ұлғаюы керек, яғни $3 \times 8 = 24$. Соған сәйкес өткізгіштің ұзындығы: 24 м.

$$\text{Жаңа кедергі } R = k \left(\frac{l}{a} \right) = 0.06 \left(\frac{24}{1} \right) = 1.44 \text{ Ом}$$

4-есеп. Ұзындығы 2 км алюминий кабеленің көлденең қимасының ауданы 100 мм², кедергіні есептеңіз, егер алюминийдің меншікті кедергісі 0.03×10^{-6} Ом · м болса.

Ұзындық $l = 2 \text{ км} = 2000 \text{ м}$; Көлденең қимасының ауданы $a = 100 \text{ мм}^2 = 100 \times 10^{-6} \text{ м}^2$ меншікті кедергісі $\rho = 0.03 \times 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$
Кедергі

$$R = \frac{\rho l}{a} = \frac{(0.03 \times 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{ м})(2000 \text{ м})}{(100 \times 10^{-6} \text{ м}^2)} = \frac{0.03 \times 2000}{100} \text{ Ом} = 0.6 \text{ Ом}$$

5-есеп. Мыс сымның ұзындығы 40 м, кедергі 0.25 Ом, сымның көлденең қимасының ауданын есептеңіз, егер оның меншікті кедергісі 0.02×10^{-6} Ом · м болса.

Сымның мм^2 алғандағы көлденең қимасының ауданын табыңыз.

$R = \rho l / a$ кедергінің формуласынан сымның көлденең қимасының ауданы тең:

$$\begin{aligned} a &= \frac{\rho l}{R} = \frac{(0.02 \times 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{ м})(40 \text{ м})}{0.25 \text{ Ом}} \\ &= 3.2 \times 10^{-6} \text{ м} = (3.2 \times 10^{-6}) \times 10^6 \text{ мм}^2 = 3.2 \text{ мм}^2 \end{aligned}$$

6-есеп. Сымның ұзындығы 1.5 км, көлденең қимасының ауданы 0.17 мм^2 , кедергісі 150 Ом. Осы сымның меншікті кедергісін табыңыз.

Кедергінің формуласынан $R = \rho l / a$ сымның меншікті кедергісінің өрнегін табуға болады: $\rho = \frac{Ra}{l}$ олай болса

$$\rho = \frac{Ra}{l} = \frac{(1500 \text{ м})(0.17 \times 10^{-6} \text{ м}^2)}{1500 \text{ м}} = 0.017 \times 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{ м}$$

$$\text{немесе } \rho = 0.017 \text{ мк} \cdot \text{ Ом} \cdot \text{ м}$$

7-есеп. Мыс кабеленің ұзындығы 1200 м, диаметрі 12 мм, мыстың меншікті кедергісі 1.7×10^{-8} Ом · м. Кедергіні табыңыз.

Кабельдің көлденең қимасының ауданы:

$$a = \pi r^2 = \pi \left(\frac{12}{2} \right)^2 = 36\pi \text{ мм}^2 = 36\pi \times 10^{-6} \text{ м}^2$$

Кедергісі:

$$R = \frac{\rho l}{a} = \frac{(1.7 \times 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м})(1200 \text{ м})}{(36\pi \times 10^{-6} \text{ м}^2)} =$$

$$= \frac{1.7 \times 1200 \times 10^6}{10^8 \times 36\pi} \text{ Ом} = \frac{1.7 \times 12}{36\pi} \text{ Ом} = 0.180 \text{ Ом}$$

Келесі жаттығуларды орындаңыздар.

11-жаттығу. Кедергі мен меншікті кедергіге арналған қосымша-есептер

1. Кабельдің ұзындығы 2 м , кедергісі 2.5 Ом . Анықтаңыз: (а) осы кабельдің ұзындығы 7 м болса, кедергісі қандай? (б) осы сымның кедергісі 6.25 Ом болса, ұзындығы қандай?

$$[(a) 8.75 \text{ Ом} (b) 5 \text{ м}]$$

2. Сымның көлденең қимасының ауданы 1 мм^2 , кедергісі 20 Ом . Анықтаңыз: (а) осы сымның көлденең қимасының ауданы 4 мм^2 болса, оның ұзындығы қалай өзгереді? (б) көлденең қимасының ауданы 4 мм^2 сымға сәйкес ұзындық берілген, осы сымның кедергісін табыңыз.

$$O [(a) 5 \text{ Ом} (b) 0.625 \text{ Ом}]$$

3. Сымның ұзындығы 5 м , көлденең қимасының ауданы 2 мм^2 , егер осы сымды көлденең қимасының ауданы 1 мм^2 жеткенше созғанда, сымның кедергісі қалай өзгереді?

$$[0.32 \text{ Ом}]$$

4. Мыс кабельдің ұзындығы 800 м , көлденең қимасының ауданы 20 мм^2 . Мыстың меншікті кедергісін $0.02 \text{ мкОм} \cdot \text{м}$ деп алыңыздар. Сымның кедергісін табыңыз.

$$[0.8 \text{ Ом}]$$

5. Алюминий сымның ұзындығы 100 м, кедергісі 2 Ом . Меншікті кедергісін $0.06 \times 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ деп алғандағы алюминий сымның көлденең қимасының ауданын мм²-пен табыңыз.

$$[1.5 \text{ мм}^2]$$

6. 500 мм сымның көлденең қимасының ауданы 2.6 мм^2 , кедергісі 5 Ом . Осы сымның мкОм метрмен алғандағы меншікті кедергісін табыңыз.

$$[0.026 \text{ мкОм} \cdot \text{метр}]$$

7. Мыс кабельдің ұзындығы 1 км , диаметрі 10 мм , мыстың меншікті кедергісі $0.017 \times 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$, кедергісін табыңыз.

$$[0.216 \text{ Ом}]$$

3.3. Кедергінің температуралық коэффициенті

Жалпы алғанда күшті өткізгіштердің температурасы ұлғайса, кедергісі де өседі, ал изоляторлар мен диэлектриктер үшін материалдардың температурасы өскен сайын кедергілері төмендейді, кейбір құймалар үшін кедергі өзгермей тұрақты болып қала береді.

Резистордың температурасын 1°C ұлғайтқанда, оның кедергісінің 1 Ом ға өсуі материал кедергісінің температуралық коэффициенті болып табылады. Температуралық коэффициент электр кедергісінің температураға тәуелділігін көрсетеді және Кельвиннің кері шамасымен өлшенеді. Кедергінің температуралық коэффициентінің белгісі (символы) α_0 –грек әрпімен белгіленеді. Осыдан мысалы, мыс сымның кедергісі 1 Ом болса, оны 1°C қыздырғанда кедергісі 1.0043 Ом –ға өзгереді, сонда мыс үшін $\alpha = 0.0043 \text{ Ом} / \text{Ом}^\circ\text{C}$. Өлшем бірлігі Цельсийге кері шама $1^\circ/\text{C}$ болып табылады, сонда мыс үшін $\alpha_0 = 0.0043 /^\circ\text{C}$. Егер кедергісі 1 Ом сымды 100°C қыздырса кедергі тең болады: $1 + 100 \times 0.0043 = 1.43 \text{ Ом}$. Төменде кейбір материалдар үшін температуралық коэффициенттер келтірілген 0°C үшін:

Мыс	0.0043 / °C
Никель	0.0062 / °C
Константан	0
Алюминий	0.0038 / °C
Көміртегі	-0.00048 / °C
Эврика	0.00001 / °C

(Көміртегі үшін коэффициенттің теріс таңбасы температура өскенде оның кедергісінің төмендейтіндігін көрсетеді.)

Егер °C үшін материалдардың температуралық коэффициенті белгілі болса, онда кез келген басқа температураға да сай келетін кедергіні табуға болады:

$$R_{\theta} = R_0(1 + \alpha_0\theta)$$

мұндағы

$$R_0 = 0^{\circ}\text{C кедергі}$$

$$R_{\theta} = \theta^{\circ}\text{C кедергі}$$

$$\alpha_0 = 0^{\circ}\text{C кедергінің температуралық коэффициенті}$$

8-есеп. Мыстан жасалған орамның кедергісі 100 Ом, температурасы 70 °C . Егер 0 °C үшін мыс кедергісінің температуралық коэффициенті 0.0043 / °C болса, осы орамның кедергісін табыңыз.

Кедергі, $R_{\theta} = R_0(1 + \alpha_0\theta)$. Олай болса, 100 °C кедергі тең:

$$\begin{aligned} R_{100} &= 100 [1 + (0.0043)(70)] \\ &= 100 [1 + 0.301] \\ &= 100(1.301) = 130.1 \text{ Ом} \end{aligned}$$

9-есеп. Алюминий кабелінің кедергісі 27 Ом, температурасы 35 °C . Оның 0 °C кедергісін табыңыз. Кедергінің 0 °C температуралық коэффициентін 0.0038 деп алыңыздар.

$$\theta^{\circ}\text{C –тағы кедергі } R_{\theta} = R_0(1 + \alpha_0\theta)$$

$$R_{\theta} = R_0(1 + \alpha_0\theta) = \frac{27}{[1 + (0.0038)(35)]}$$

$$= \frac{27}{1 + 0.133} = \frac{27}{1.133} = 23.83 \text{ Ом}$$

10-есеп. 0°C –та көміртегінің кедергісі 1 кОм . Егер көміртегі кедергісінің температуралық коэффициенті 0°C –та $0.0005/^{\circ}\text{C}$ тең болса, 80°C кедергіні табыңыз.
 0°C температурадағы кедергі -0.0005°C

$$R_{\theta} = R_0(1 + \alpha_0\theta)$$

Сондықтан:

$$R_{\theta} = 1000[1 + (-0.0005)(80)]$$

$$= 1000[1 - 0.040] = 1000(0.96) = 960 \text{ Ом}$$

Егер бөлме температурасында (жуықтап алғанда 20°C) материалдың кедергісі R_{20} , ал оның 20°C кедергісінің температуралық коэффициенті α_{20} болса, R_{θ} кедергінің температураға тәуелді өрнегі келесі түрде жазылады:

$$R_{\theta} = R_{20}[1 + \alpha_{20}(\theta - 20)]$$

11-есеп. Мыс орамның кедергісі 10 Ом , осы температурада мыс кедергісінің температуралық коэффициенті $0.004/^{\circ}\text{C}$ екен, олай болса, 100°C – осы орамның кедергісін табыңыз.

$\theta^{\circ}\text{C}$ тағы кедергі $R_{\theta} = R_{20}[1 + \alpha_{20}(\theta - 20)]$
осыдан 100°C кедергі:

$$R_{100} = 0[1 + (0.004)(100 - 20)] = 10[1 + (0.004)(80)] \\ = 10[1 + 0.32] = 10(1.32) = 13.2 \text{ Ом}$$

12-есеп. 18°C алюминий сымнан жасалған орамның кедергісі 200 Ом . Сымның температурасы көтерілгенде оның кедергісі 240 Ом –ға дейін ұлғаяды. Кедергінің температурасы 18°C болғанда температуралық коэффициентті $0.0039/^\circ\text{C}$ деп алса, температура қалай өзгереді? $^\circ\text{C}$ кедергінің формуласы:

$$R_\theta = R_{18}[1 + \alpha_{18}(\theta - 18)]$$

яғни

$$240 = 200[1 + (0.0039)(\theta - 18)]$$

$$240 = 200 + (200)(0.0039)(\theta - 18)$$

$$240 - 200 = 0.78(\theta - 18)$$

$$40 = 0.78(\theta - 18)$$

$$\frac{40}{0.78} = \theta - 18$$

$$51.28 = \theta - 18$$

осыдан шығады:

$$\theta = 51.28 + 18 = 69.28 \text{ }^\circ\text{C}$$

Сонымен орамның температурасы 69.28°C дейін көтерілген.

Егер 69.28°C -та кедергінің мәні белгісіз, ал бірақ басқа θ_1 температурада белгілі болса, онда кез келген температурада кедергіні табатын теңдеуді келесі түрде жазуға болады:

$$R_1 = R_0(1 + \alpha_0\theta_1)$$

және

$$R_2 = R_0(1 + \alpha_0\theta_2).$$

Бір теңдеуді екіншісіне бөле отырып, табамыз:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{1 + \alpha_0\theta_1}{1 + \alpha_0\theta_2}$$

мұндағы, θ_2 температурадағы R_2 кедергі.

13-есеп. 20°C мыс сымның кедергісі 200 Ом . Мыс сымды 90°C дейін қыздырған, сосын электр тогын өткізген, табу керек: 90°C мыс сымның кедергісін, 0°C оның кедергісінің температуралық коэффициенті $0.004 / ^\circ\text{C}$.

$$R_{20} = 200\text{ Ом}, \alpha_0 = 0.004 / ^\circ\text{C}$$

және

$$\frac{R_{20}}{R_{90}} = \frac{[1 + \alpha_0(20)]}{[1 + \alpha_0(90)]}$$

$$\text{Олай болса } R_{90} = \frac{R_{20}[1 + 90\alpha_0]}{[1 + 20\alpha_0]}$$

$$\begin{aligned} \frac{R_{20}[1 + 90\alpha_0]}{[1 + 20\alpha_0]} &= \frac{200[1 + 90(0.004)]}{[1 + 20(0.004)]} \\ &= \frac{200[1 + 0.36]}{[1 + 0.08]} = \frac{200(1.36)}{(1.08)} = 251.85\text{ Ом} \end{aligned}$$

Бірлікке дейін шыққан шаманы жуықтаса сымның 90°C кедергісі 252 Ом .

Келесі жаттығуларды орындаңыздар

12-жаттығу. Кедергінің температуралық коэффициентіне арналған қосымша есептер

0°C алюминий орамның кедергісі $50\ \text{Ом}$, егер оның кедергісінің температуралық коэффициенті $0^{\circ}\text{C}\ 0.0038 / ^{\circ}\text{C}$ болса, 100°C сәйкес оның кедергісін табыңыз:

[69 Ом]

2. Мыс кабелінің кедергісі $30\ \text{Ом}$. Егер 0°C -тағы меншікті температуралық коэффициенті $0.0043 / ^{\circ}\text{C}$ тең болса, 0°C кедергісін табыңыз.

0 [24.69 Ом]

3. 0°C көміртегінің меншікті кедергісі – $0.00048 / ^{\circ}\text{C}$. Минус таңбаның мағынасы қандай? Көміртегінің 50°C кедергісін табыңыз, егер 0°C кедергісі $500\ \text{Ом}$ болса.

0 [488 Ом]

4. 18°C мыс орамның кедергісі $20\ \text{Ом}$, 18°C мыс кедергісінің температуралық коэффициенті $0.004 / ^{\circ}\text{C}$, ораманы 98°C қыздырғанда оның кедергісі қалай өзгереді?

0 [26.4 Ом]

5. Никель орамның 20°C кедергісі $100\ \text{Ом}$. Металдың температурасын көтергендіктен оның кедергісі $130\ \text{Ом}$ дейін өсті, егер 20°C никельдің меншікті кедергісі $0.006 / ^{\circ}\text{C}$ болса, онда орамның температурасы қалай өзгереді?

0 [70 $^{\circ}\text{C}$]

6. Алюминий сымның 20°C кедергісі $50\ \text{Ом}$. Сым 100°C дейін қыздырылады, 100°C алюминий сымның кедергісін есептеңіз, егер 0°C оның кедергісінің температуралық коэффициенті $0.004 / ^{\circ}\text{C}$ болса.

[64.8 Ом]

7. Мыс кабелінің ұзындығы $1.2\ \text{км}$, 20°C көлденең қимасының ауданы $5\ \text{мм}^2$. Оның меншікті кедергісінің мәні $0.02 \times 10^{-6}\ \text{Ом}$,

сонда оның 80°C кедергісі қандай. Мыс кедергісінің температуралық коэффициенті $0.004 / ^{\circ}\text{C}$.

[5.95 Ом]

3.4 Резисторларды түстермен кодтау және олардың омдық мәндері

(а) Тұрақты резисторлардың түсті (кодтары) таңбалары келтірілген.

Төрт жолақты тұрақты резистор (кедергінің шамасы екі қос мәнді цифрлармен таңбаланған):

Сары–күлгін–қызғылт сары–қызыл түстер 47 кОм –ды көрсетеді, оның дәлділігі $\pm 2\%$ (бірінші түс жолақ резистордың шетіне ең жақын жатады).

Бес жолды тұрақты резистор (кедергінің мағынасы үш мәнді цифрмен таңбаланған): қызыл–сары–ақ–қызғылт сары–қоңыр түстер 249 кОм –ды көрсетеді, оның дәлділігі $\pm 1\%$ (бесінші жолақ басқа түсті жолақтармен салыстырғанда 1.5–2 есе жалпақтау).

14-есеп. Келесі түстермен таңбаланған резистордың шамасы мен дәлділігін анықтаңыздар: қызғылт сары–қызғылт сары – күміс–қоңыр. 3.1-кестеден бірінші екі жолақ, яғни қызғылт сары 33 санын береді, үшінші жолақ – күміс коэффициенті 10^2 кестеден алынады, сонда резистордың кедергісі 0.33 Ом ға тең болады. Төртінші жолақ кестеден көрсеткендей қоңыр, ол дәлділікті көрсетеді (ауытқуы): $\pm 1\%$. Сонымен қызғылт сары–қызғылт сары –күміс–қоңыр түсті таңба резистордың шамасын **0.33 Ом деп анықтап, $\pm 1\%$ дәлділігін көрсетеді.**

15-есеп. Резистордың түсті таңбасы арқылы, яғни қоңыр –қара – қоңыр оның мағынасы мен дәлділігін есептеңіздер.

Бірінші екі жолақ, яғни қоңыр – қара 3.1-кестеден 10 деген санды береді.

Үшінші жолақ, яғни қоңыр 3.1-кестеден 10 деген көбейтіндіге сай, сонда резистордың мағынасы $10 \times 10 = 100 \text{ Ом}$.

Бұл жағдайда төртінші жолақ келтірілмеген, онда 3.1-кестеден көрсеткендей резистордың дәлділігі $\pm 20\%$ деп алынады. Олай болса, қоңыр – қара – қоңыр түстермен таңбаланған резистордың шамасы **100 Ом, дәлділігі $\pm 20\%$** .

16-есеп. Қоңыр–қара–қоңыр–күміс түсті таңбалы резистор қандай екі шамалардың ортасында орналасады.

3.1-кестеден қоңыр–қара–қоңыр–күміс үшін резистордың шамасы 10×10 , яғни 100 Ом және дәлділігі $\pm 10\%$ тең. Мұның мағынасы резистордың түсті таңбасының шамасы ($100 - 10\% \text{ } 100 \text{ ден}$) Ом және ($100 + 10\% \text{ } 100 \text{ ден}$) Ом, яғни қоңыр–қара–қоңыр–күміс жолақтары **90 Ом мен 110 Ом–ның аралығындағы** кезкелген мәнге ие бола алады.

17-есеп. Резистордың кедергісі 47 кОм , дәлділігі $\pm 5\%$, олай болса, оның түсті таңбасын анықтаңыздар.

3.1-кестеден $47 \text{ кОм} = 47 \times 10^3$ екені көрінеді, ол келесі түстерге лайық: сары–күлгін – ашық қызғылт сары және дәлділігі $\pm 5\%$. Төртінші жолақ алтын түске сәйкес, сонымен: $47 \text{ кОм} \pm 5\%$ түсті таңба: сары–күміс–ашық қызғылт сары–алтын.

18-есеп. Резистордың түсті таңбасы – ашық қызғылт сары–жасыл–қызыл–сары–қоңыр, олай болса, осы резистордың шамасы мен дәлділігін анықтаңыз.

3.1-кестеден ашық қызғылт сары–жасыл–қызыл–сары–қоңыр түстер келесі мағынаны білдіреді: $352 \text{ Ом} \times 10^4 \text{ Ом}$ және $\pm 1\%$ дәлділік.

$352 \times 10^4 \text{ Ом} = 3.52 \times 10^6 \text{ Ом}$, олай болса, **3.52 МОм**.

Сонымен ашық қызғылт сары– жасыл– қызыл–сары–қоңыр түстер келесі мағынаны білдіреді **3.52 МОм ± 1%**.

(b) Резисторларды әріппен немесе цифрлармен таңбалау

3.2-кестеде резисторлардың мағынасын таңбалаудың басқа да аралас әріппен цифрлар арқылы таңбалау жолдары келтірілген. Ол үшін келесі дәлділіктер алынған:

$$F = \pm 1\%, G = \pm 2\%, J = \pm 5\%, K = \pm 10\%$$

және

$$M = \pm 20\%.$$

Мысалы:

$$R33M = 0.33 \text{ Ом} \pm 20\%$$

$$4R7K = 4.7 \text{ Ом} \pm 10\%$$

$$390RJ = 390 \text{ Ом} \pm 5\%$$

19-есеп. Резисторды таңбалаудың түрі **6K8F**, резистордың шамасын табыңыз.

3.2- кестеден 6K8F дегеніміз: **6.8 кОм ± 1%**.

20-есеп. **4M7M** деп таңбаланған резистордың шамасын табыңыз.

3.2-кестеден 4M7M эквивалентті: **4.7 МОм ± 20%**.

21-есеп. Резистордың шамасы **6.8 кОм ± 10%**. олай болса, оны әріппен және цифрмен таңбалаңыз.

3.2-кестеден 0.68 кОм ± 10% эквивалентті таңбасы: **68KK**.

Келесі жаттығуларды орындаңыздар

13-жаттығу. Резисторларды түспен, цифрлармен және әріппен таңбалауға арналған қосымша есептер

1. Көк–сұр–қызғылт сары–қызыл таңбалы резистор үшін оның мағынасын және дәлділігін табыңыз.

$$[68 \text{ кОм} \pm 2\%]$$

2. Сары-күлгін- алтын таңбалы резистор үшін оның мағынасын және дәлділігін табыңыз.
[4.70*М* ± 20%]
3. Көк- ақ- қара-қара-алтын таңбалы резистор үшін оның мағынасын және дәлділігін табыңыз.
[690 *Ом* ± 5%]
4. Кедергісі 51 *кОМ* төрт жолақты резистор үшін оның түсін анықтаңыздар егер оның дәлділігі ±2 болса.
[жасыл-қоңыр-қызғылт сары-қызыл]
5. Кедергісі 1 *кОМ* төрт жолақты резистор үшін оның түсін анықтаңыздар, егер оның дәлділігі ±10 % болса.
[қоңыр-қара-жасыл-күміс]
6. Қызыл-қара-сұр- күміс түсті резистор кедергілерінің шамасы қандай диапазонда күтіледі?
[1.8 *МОм* нан 2.2 *МОм* ға дейін]
7. Резистор үшін келесі түсті таңбалау қандай мағыналардың арасында жатады?
[39.6 *кОм* нан 40.45 *кОм* ға дейін]
8. Келесі резистордың таңбаларының мағынасын анықтаңыз:
а) *R22G* ; в) *4K7F* .
[(а) 0.22*Ом* ± 2% (b) 4.7 *кОм* ± 1%]
9. Резистордың мағынасы 100 *кОм* ± 5% , олай болса, оны әріптер және цифрлер арқылы таңбалаңыз.
[100 *КJ*]
10. Резистордың мағынасы 6.8 *МОм* ± 20% , олай болса, оны әріптер және цифрлер арқылы таңбалаңыз.
[6*M8M*]

14-жаттығу. Кедергілердің өзгерістеріне арналған қысқаша сұрақтар

1. Резистордың үш түрлі конструкцияларын атаңыздар және әрқайсысының практикада қолданатын жерлерін келтіріңіздер.
2. Өткізгіштің кедергісіне әсер ететін төрт факторларды атаңыздар.
3. Егер сымның ұзындығы тұрақты, ал көлденең қимасының ауданы екі есе азайса, сымның кедергісі қалай өзгереді?
4. Егер ұзындығы белгілі кабельдің көлденең қимасының ауданы үш еселенсе, кабельдің кедергісі қалай өзгереді?
5. Меншікті кедергі деген не, оның өлшем бірлігі мен белгісін келтіріңіздер.
6. Күшті өткізгіштер мен диэлектриктердің кедергілерінің мағынасы қандай?
7. Кедергінің температуралық коэффициенті дегеніміз не. Оның өлшем бірлігі және белгісі.
8. Резистордағы түсті таңбалауды қысқаша түсіндіріңіз.
9. Резисторды әріппен және цифрмен таңбалауды түсіндіріңіз.

15-жаттығу. Кедергіге арналған тест (жауаптары кітаптың соңында)

1. *Меншікті кедергінің өлшем бірлігі:*
 - (a) Ом
 - (b) Ом миллиметр
 - (c) Ом метр
 - (d) Ом/метр
2. *Кедергісі 100 Ом өткізгіштің ұзындығы екі еселенді, көлденең қимасының ауданы екі есе азаяды, сонда жаңа кедергінің шамасы қандай?*
 - (a) 100 Ом
 - (b) 50 Ом
 - (c) 200 Ом

- (d) 400 Ом
3. Кабельдің ұзындығы 2 км, көлденең қимасының ауданы 2 мм^2 меншікті кедергісі $2 \times 10^{-8} \text{ Ом}$, кедергісі қандай?
- (a) 0.02 Ом
(b) 20 Ом
(c) 20 Ом
(d) 20 Ом
4. Графиттің көлденең қимасының ауданы 10 мм^2 , егер оның кедергісі 0.1 Ом және $10 \times 10^8 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ болса, онда оның ұзындығы қандай?
- (a) 10 км
(b) 10 см
(c) 10 мм
(d) 10 м
5. Кедергінің температуралық коэффициентінің белгісі қандай?
- (a) Ом/°C
(b) Ом
(c) °C
(d) Ом/Ом°C
6. Сымнан жасалған 0°C-та орамның кедергісі 10 Ом. Егер осы сымның кедергісінің температуралық коэффициентінің мағынасы $0.004 / ^\circ\text{C}$ болса, онда оның 100°C – тағы кедергісі қандай?
- (a) 0.4 Ом
(b) 1.4 Ом
(c) 14 Ом
(d) 10 Ом
7. Никель орамның кедергісі 50°C 13 Ом. Кедергінің температуралық коэффициенті 0.006 болса, онда 0°C кедергі қандай болады?
- (a) 16.9 Ом
(b) 10 Ом
(c) 43.3 Ом

(d) 0.1 Ом

8. Қызыл–күлгін–қара жолақты резисторлардың түсті таңбасын келтіріңіз.

(a) 27 Ом \pm 20 %

(b) 270 Ом

(c) 270 \pm 20 %

(d) 27 \pm 10 %

9. Резистордың таңбасы 4K7G, мағынасы қандай?

(a) 47 Ом \pm 20 %

(b) 4.7 Ом \pm 20 %

(c) 0.47 Ом 0 %

(d) 4.7 Ом \pm 2 %

4–тарау

Батареялар мен энергия көздерінің түрлері

Бөлімнің соңында меңгерілетін сұрақтардың тізімі:

- Батареяларды практикада қолдану
- Электролиз, гальваникамен қаптау туралы түсініктер және олардың қолданылуы
- Поляризация мен өздігінен зарядсыздану
- Коррозия оның әсерлері
- Элементтің E электр қозғаушы күші – ә.қ.к., r – ішкі кедергісі, осы терминдерге түсініктеме
- $V = E - Ir$ теңдеуін пайдаланып, есептер шығару
- Элементтің жалпы ә.қ.к., жалпы ішкі кедергілерін тізбектей және параллель қосу
- Алғашқы батареялар мен аккумуляторлардың арасындағы айырмашылықтар
- Леклаше, сынап, қорғасын қышқылды және сілтілік элементтердің конструкциялары мен практикада қолданылуы
- Сілтілік элементтердің қорғасын–қышқылдық элементтермен салыстырғандағы артықшылықтары мен кемшіліктері
- Элементтің сыйымдылығы дегеніміз не және оның өлшем бірлігі
- Батареяларды қауіпсіз тазартудың маңыздылығы

- Отындық элементтердің (аккумулятордың) артықшылығын бағалау, оларды болашақта дұрыс пайдалану.
- Баламалы (альтернативті) энергия көздерін түсіну және оған 5 мысал

4.1 Батареяларға кіріспе

Батарея немесе аккумулятор – химиялық энергияны электр энергиясына түрлендіретін құрылғы. Егер құрылғы клеммалар арасында орналасса, онда ол генерацияланған (өңделген, шоғарланған) құрылғы болады. Батареялар көптеген электронды құрылғылардың маңызды және желіден ток көзі жоқ болған кездегі ажырамас тармағы болып табылады. Мысалы, батареясыз ұялы жылжымалы телефондар, ноутбук пен компьютерлер болмас еді. Батареялардың қолданғанына 200 жылдай уақыт өтті. Батарея барлық жерлерде тұрмыстық өнеркәсіпте кездеседі, сондықтан кейбір практикалық мысалдар келтірейік: шағын ықшам компьютерлерде, фотоаппараттарда, жылжымалы телефондарда, автомобильдерде, сағаттарда, қауіпсіздік үшін арналған жабдықтарда пайдаланылады. Электрондық санауыштарда, өрт дабылы үшін, үй шаруашылығында тұтынатын электр, газ су санауыштарында, адам денесіне енгізілетін эндоскоптың камерасы үшін, транспондерлерде қолданылады (транспондерлер – дүниежүзілік жолдарда жол ақысын төлеу жиыны).

Батареялар екі категорияға бөлінеді: алғашқы батареялар, ол бір-ақ рет қолданыла алынатын, электрмен қайта зарядтауға арналмаған элемент. Аккумуляторлар – қайталама батареялар, қайта зарядталып өңделе алады, оған жылжымалы телефондар жатады. Соңғы жылдары батареяның мөлшерін *(4.7-тарауды қараңыз)* кішірейту маңызды орын алды. Бірақ сонымен қатар оның өмір сүру ұзақтылығы мен қуатын ұлғайту мәселесі де ту-

ды. Батареялардың қуатын ұлғайтып, оның мөлшерін кішірейтіп күнделікті өмірде қолдану талаптарының қажеттілігі салдарына сай 1.5 В батареялар пайда болды. Егер қызмет жасайтын мерзімін көбейту немесе ұлғайту керек болса, онда 3 В, 3.6 В батареялар қолданылды. 1970 жылы 1.5 В марганец батареялары біртіндеп сілтілік батареяларымен ауыстырылды. 1960 жылдан бастап күміс тотығының батареясы сағат технологиясында осы уақытқа дейін қолданылады.

Батареялардың қызмет ететін мерзімін ұлғайту үшін 1970 жылдан бастап литий–ионды батареялар енгізілді. Шынында осындай батареялар ондаған жылдар бойы белгілі, алайда, осы уақытқа дейін мұндай батареяларға ұсыныс әлі түспеді. Оларды сандық фотоаппараттарда, сағаттармен жай сағаттардың компоненттерінде әлі де пайдаланады. Литий батареялары өте үлкен токтарды бере алады, алайда, олар өте қымбат.

4.2-кестеде батареялардың кейбір түрлері мен оларды қолданатын жерлер келтірілген.

4.2 Электрдің кейбір химиялық әсерлері

Электр тоғын өткізу үшін материал зарядталған бөлшекке ие болуы қажет, қатты денелерде ток электрондар арқылы жүреді. Мыс, қорғасын, алюминий, темір және көміртегі сияқты қатты денелер осындай өткізгіштерге жатады. Сұйықтар мен газдарда ток зарядталған бөлшектер арқылы жүзеге асады, бұл бөлшектерді *иондар* деп атайды. Осы *иондардың зарядтары* оң және *теріс* болуы мүмкін, мысалы, H^+ сутегі ионы, Cu^{++} мыс ионы, OH^- гидроксид ионы. Дистилленген суда иондар болмайды, сондықтан ол нашар өткізгішке жатады. Ал тұз еріген суда иондар болғандықтан, мұндай ертінді электр энергиясын өткізетін күшті өткізгішке айналады.

Электролиз дегеніміз сұйықтан электр тоғы өткенде оның құрамындағы молекулалардың иондарға айналып, өткізгішке

айналуы. Электролиз іс жүзінде металдарды гальваникамен қаптауда, тазарту мен алюминийді оның рудасынан бөліп алу үдерісінде қолданылады.

Электролит дегеніміз электролиз процесі өтетін қосылыс. Мысал ретінде су ертінділерін алуға болады, мысалы: мыс сульфаты мен күкірт қышқыл ертінділері. Ток өткенде химиялық түрленуге ұшырайтын заттарды *электролиттер* деп атайды. Электролиттер ток өткізетін екі электродтардан тұрады. Оң зарядталған электрод – анод деп, ал теріс зарядталған электрод – катод деп аталады.

Ішінде ертіндісі бар ыдысқа мыстан жасалған екі сымды батареяға жалғастырып, орналастырғанда ертінді арқылы ток өте бастайды. Сымдардың жан жағында ауа көпіршіктері пайда болады, себебі судың молекуласы электролиз әсерінен сутегі мен оттегі молекулаларына ыдырап, реакция ортасынан ұша бастайды.

Гальваникалық қаптау үдерісі де электролиз принципіне бағынады, яғни бір металдың үстіне басқа бір металлдың өте жұқа қабаты жабылады. Практикада жиі кездесетін келесі мысалдарды келтірейік: болатты қалайымен, никель құймаларын күміспен, болатты хроммен қаптау. Егер екі мыстан жасалған электродтарды батареяға жалғасақ және электролит ретінде мыс сульфаты алынса, онда батареяның теріс полюсына жалғанған электрод катод релін, ал оң полюсына жалғанған электрод анод релін атқарады (катодта бос мыс бөлініп жатса, анодта мыс еріп жоғалып жатады).

4.3 Қарапайым элементтер

Қарапайым элементтердің немесе электрлік элементтердің мақсатына химиялық энергияны электр энергиясына айналдыру немесе түрлендіру жатады. Электролитте қарапайым элементтер әртүрлі екі өткізгіштен (электроннан) тұрады (4.1-сурет). Мұндай элементтер мыс пен мырыш электродтарынан тұрады.

Электр тоғы екі электрод арасында өтеді. Басқа да осындай қос электродтардың түрлері бар. Әрбір жұп металдары үшін өзіне тән потенциалы болады (электрод арасындағы потенциал айырымы өлшенеді). Әрбір металдың э.қ.к. – ін біле отырып, кез келген металл жұптары үшін стандартты электродтар арқылы олардың э.қ.к. – ін анықтауға болады. Стандартты салыстырмалы электрод ретінде сутегі электроды алынады. Металдың электр потенциалдарына сай орналасу тәртібін **металдардың активтік қатары** деп атайды, осы металдардың активті қатары 4.1-кестеде келтірілген.

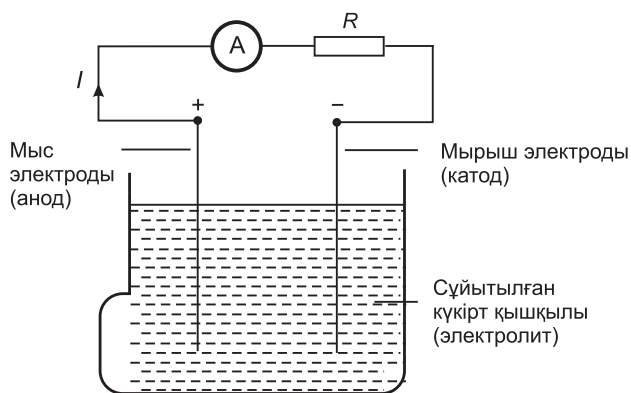
4.1-кесте. Электрхимиялық қатардың бір бөлігі
Металдардың активті қатары

калий
натрий
алюминий
мырыш
темір
қорғасын
<i>сутегі</i>
мыс
күміс
көміртегі

Поляризация

4.1-суретте көрсетілгендей қарапайым элементте екі қате көрініп тұр, ол – поляризация мен өздігінен зарядсыздану. Суретте көрсеткендей белгілі бір мерзімде қарапайым элемент осы түрінде қалатын болса, онда I ток өте тез таусылады.

Себебі мыс анодында сутегі көпіршіктерінің үлпегі (сутегі қабыршағының) түзіледі. Мұндай әсерді элементтің **поляризациясы** деп атайды. Электродты жапқан сутектік қабыршақ электрод пен мыс электродының арасындағы контактін мүлдем жояды, сондықтан элементтің ішкі кедергісі ұлғаяды. Осын-



4.1-сурет

дай жағымсыз әсерді жою үшін депполяризациялаушы агент қажет, оны депполяризатор деп аталатын белгілі бір химиялық зат арқылы жүзеге асырады. Мысалы, мұндай зат ретінде калийдің бихроматы алынады, ол сутегінің көпіршіктерін тез арада алып тастап, элементте таусылмайтын орнықты токты орнатады.

Өздігінен зарядсыздану

Сұйықталған күкірт қышқылының ертіндісіне техникалық мырышты батырса, онда сутегі ертіндіден газ түрінде бөлініп шығып, мырыш ери бастайды. Мұның себебі ертіндіде өте аз мөлшерде болса да мырыштың құрамындағы темір иондары сияқты қоспалардың кездесетінінде, осы темір мен мырыш иондары шағын элементті құрайды, мұндай шағын элементтер арқылы электролиттерде қысқыша тұйықталу пайда болып, соның салдарынан жергілікті токтар шағын нүктелік коррозияны тудырады. Мұндай құбылысты элементтің **жергілікті әсері** деп аталады. Мұндай жағымсыз эффектіге жол бермеуге болады, ол үшін металл мырыш үстіне сынаптың шамалы мөлшерін уқаласа болғаны, сонда электродтың бетінде қорғаушы қабат құрылады. Егер қарапайым элементте 2 металл алынса, онда металдың активті қатарын пайдалана отырып, элементтің қасиеттерін алдын ала болжауға болады. Активтік қатардың жоғары жағындағы

металлдар теріс электрод рөлін атқарады және керісінше. Мысалы, *4.1-суретте* көрсеткендей мырыш электроды теріс электрод, ал мыс элементте оң электрод рөлін атқарады.

Активтілік қатардағы металдар бір–бірінен неғұрлым алыс жатса, солғұрлым элементтің э.қ.к. күшті болады. Металдың активтілік қатары металдардың және олардың қосылыстарының реакциялық қабілеттілігін анықтайды.

Активтік қатардың жоғары жағында орналасқан металдар оттегімен өте күшті реакцияға түсе алады және керісінше, неғұрлым төмен орналасса, оттегімен реакцияға қиын ұшырайды.

Егер қарапайым элементте екі металл электроды пайдаланылса, онда неғұрлым жоғары орналасқан металл еруге тез талпынады.

4.4 Коррозия

Коррозия металдарды біртіндеп күйретеді, қарапайым элементтер дымқыл атмосферада біртіндеп күйзеліске ұшырайды. Қоршаған орта факторының әсерінен болатын металдық желіну құбылысы (жемірілу) **коррозия** деп аталады. Коррозия латынша жемірілу; кеміремін деген мағынаны білдіреді. Металды тот басу үшін ауа мен дымқыл қажет. Сонымен қатар электролит, анод, катод та коррозияны тудыра алады. Егер электролит ішінде активтік қатарда орналасқан металдардың екеуі пайдаланылса, онда олардың контактісі арқасында коррозия пайда болады. Мысалы, егер болаттан жасалған жылу жүйесінде латунды клапан орнатылса, онда осы жүйеде коррозияның болғаны. Коррозия арқылы материалдардың құрылымы бұзылады, құрамындағы компоненттер еріп, не тотығып әртүрлі өзгерістерге ұшырап жатады.

Металдар өздерінің бастапқы қасиеттерін коррозия салдарынан жоғалтады, металдардағы коррозияны болдырмау мақсатында металл құрамына коррозияға ұшырамайтын құраушылар енгізіледі. Осындай әдіспен тоттанбайтын болаттар

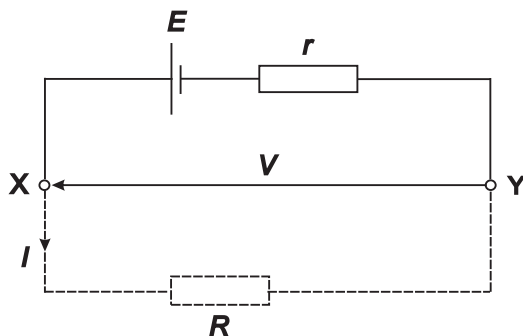
алынады. Металл бетін бояу, оған эмаль жалату, сақтандырғыш май жағу, металл бұйымды мырыштау, никельдеу, кадмилеу, хромдау, күміспен қаптау арқылы коррозияға қарсы қорғаныс жасау әдісін қолдану коррозиядан қорғану тәсіліне жатады. Қорғану тәсілі: коррозияға төзімді материалдар (толтырғыштар), сыртын сырлау немесе пленкамен (үлпекпен) жапсыру.

4.5 Элементтің ішкі кедергісі мен электр қозғаушы күші (э.қ.к.)

Элементтің электр қозғаушы күші (э.қ.к.), E жүктемеге қосылмаған жағдайдағы қысқыштар арасындағы потенциал айырымы болып табылады (яғни элемент «бос жүрісте» деп аталынады).

Элементтің э.қ.к. – ін өлшеу үшін жоғары омды вольтметр пайдалынады. Вольтметрдің кедергісі өте жоғары болуы тиісті. Яғни бұл жағдайда элемент «бос жүрісте» бола алмайды. Мысалы, егер элементтің кедергісі 1 Ом ал вольтметрдің кедергісі 1 МОм болса, онда сызбаның кедергісі $1\text{ МОм} + 1\text{ Ом}$, жуықтап алғанда 1 МОм , яғни ток жүрмей, элемент жүктелмеген болып шығады.

Оның қысқыштарындағы кернеу төмен түседі, бұл элементтің ішкі кедергісімен байланысты, осы кедергі токтың элементте өтуіне қарама-қарсы құбылыс. Элементтің ішкі кедергісі бүкіл



4.2-сурет

тізбектің кедергісімен бір қатарда болады. 4.2-суретте E – вольтпен алынған элементтің э.қ.к. – ші, r – элементтің ішкі кедергісі, XY – элементтің қысқыштары.

Егер жүктеме элементке қосылмаса, яғни жоқ болса (суретте R арқылы үзік–үзік штрихтармен берілген), онда ток жүрмейді, сондықтан қысқыштардағы потенциалдар айырымы: $V = E$. Ал егер R – жүктеме элементке тізбектей қосылса, I ток жүре бастайды, соның салдарынан элементтегі кернеудің шамасы төмендейді:

$$V = E - Ir$$

Элементтің қысқыштарындағы потенциал айырымы элементтің э.қ.к. – мен салыстырылғанда кемдеу және ол келесі Ir өрнекпен сипатталады.

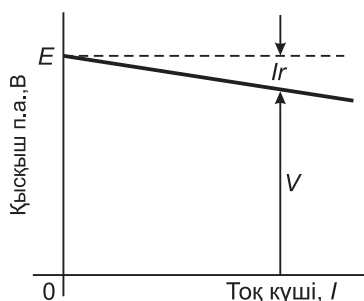
Сонымен батареяның э.қ.к. шамасы 12 В , ішкі кедергісі 0.01 Ом болса және 100 А ток жүрсе, қысқыштардың потенциалдар айырымы тең:

$$V = 12 - (100)(0.01) = 12 - 1 = 11\text{ В}$$

Егер элементтің немесе ток көзінің V потенциал айырымының шамасы әртүрлі болса, онда 4.3-суретте көрсеткендей I токтары үшін төменде олардың байланыстары келтірілген. Жүктеме жоқ жағдайда ($I = 0$) элементтің э.қ.к. немесе ток көзінің э.қ.к қысқыштары потенциал айырымы болып табылады, ол графикте үзілме сызықтар арқылы көрсетілген. Үзілме сызық суретте көрсеткендей E –ге тең болады. $V = E - Ir$ тең болғандықтан ішкі кедергі тең:

$$r = \frac{E - V}{I}$$

Токтың аққан бағыты 4.3-суретте көрсеткендей болса, яғни $E > V$ үлкен болса, онда элемент **зарядсызданады** деп аталады.



4.3-сурет

Ал ток кері бағытта ағатын болса, 4.3-суретте көрсетілгендей онда элемент зарядталады деп аталады ($V > E$).

Элементтің немесе ток көзінің э.қ.к. E -ге тең болса, жүктелмеген кездегі қысқаштардың арасындағы потенциалдар айырымы болғандықтан, 4.3-суретте көрсеткендей үзілме сызықпен беріледі.

Батарея дегеніміз бір элементтен артық комбинациялар. Батареяда элементтер тізбектей де қатарласа да қосыла алады.

Тізбектеп қосылған элементтер үшін:

Батарея элементтерінің жалпы э.қ.к. – і барлық элементтер э.қ.к.-нің қосындысына тең болады;

Жалпы ішкі кедергі r барлық элементтің ішкі кедергілерінің қосындысынан тұрады.

Параллель қосылған элементтер үшін олардың ішкі кедергілері бірдей болса, онда әрбір элементтің э.қ.к. бірдей, сондықтан жалпы э.қ.к. бір э.қ.к. – імен сипатталады.

n – элементтің жалпы ішкі кедергі тең $= \frac{1}{n} \times$ бір элементтің

ішкі кедергісі.

1-есеп. Егер әрбір элементтің ішкі кедергісі 0.2 Ом , ал э.қ.к 2.2 В болса, онда сегіз элементтен құралған батарея үшін (а)

тізбектеп қосқанда, (b) параллель қосқанда жалпы э.қ.к. мен жалпы ішкі кедергісін есептеңіздер:

(a) Элементтер тізбектеп қосылғанда жалпы э.қ.к. = 8 элементтің э.қ.к. – ің қосындысына = $2.2 \times 8 = 17.6 \text{ В}$

Жалпы ішкі кедергі = 8 элементтің ішкі кедергілерінің қосындысы: $0.2 \times 8 = 1.6 \text{ Ом}$

(b) Барлық сегіз элементтер параллель қосылғанда:

Жалпы э.қ.к. = бір элементтің электр қозғаушы күшіне = 2.2 В

8 элементтің жалпы ішкі кедергісі тең = $\frac{1}{8} \times$ бір элементтің ішкі кедергісіне көбейткенге = $\frac{1}{8} \times 0.2 = 0.025 \text{ Ом}$

2-есеп. Элементтің ішкі кедергісі 0.02 Ом , э.қ.к. 2.0 В . Клемма арасындағы потенциал айырымын есептеңіз, егер оған (a) 5 А , (b) 50 А ток берілсе.

(a) Потенциалдар айырымы $V = E - Ir$, мұндағы, элементтің қысқыштар арасындағы E – э.қ.к., I ток күші берілген, r – элементтің ішкі кедергісі

$$E = 2.0 \text{ В}, I = 5 \text{ А} \text{ және } r = 0.02 \text{ Ом}$$

олай болса, қысқыштардың арасындағы потенциалдар айырымы

$$V = E - Ir = 2.0 - 50(0.02)$$

(b) Егер 50 А болса, қысқыштардағы потенциалдар айырымы:

$$V = 2.0 - 1.0 = 1.0 \text{ В}$$

Сонымен қысқыштардағы потенциалдар айырымы азаяды, ал ток ұлғаяды.

3-есеп. Жүктелмеген жағдайда батареяның қысқыштарының потенциалдар айырымы 25 В , егер 10 А жүктеме қосса батареяның ішкі кедергісі қандай?

Жүктелмеген батарея үшін оның э.қ.к. – E , қысқыштарының потенциалдар айырымына эквивалентті, олай болса $E = 25\text{ В}$. $I = 10\text{ А}$ болғанда қысқыштардағы потенциалдар айырымы $V = 24\text{ В}$,

сонда:

$$V = E - Ir$$

яғни

$$24 = 25 - (10)r$$

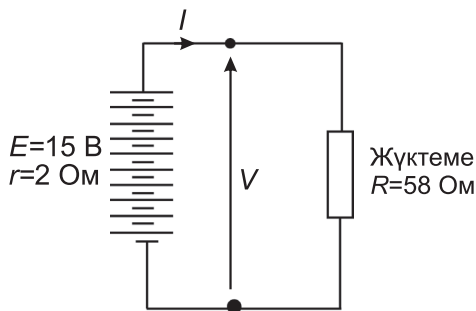
Осы өрнектен ішкі кедергіні табу үшін оны түрлендіреміз:

$$10r = 25 - 24 = 1, \text{ сонда ішкі кедергі: } r = \frac{1}{10} = 0.1\text{ Ом.}$$

4-есеп. 10 элементтен тұратын батареяның э.қ.к. 1.5 В , ал әрбір ішкі кедергі 0.2 Ом . Тізбектей қосылған, жүктеменің кедергісі 58 Ом . Анықтау керек: (а) тізбектегі ток күшін, (б) батарея қысқыштарындағы потенциалдар айырымын.

(а) 10 элементтер үшін батареяның э.қ.к. жалпы $E = 10 \times 1.5 = 15\text{ В}$ ішкі кедергі $r = 10 \times 0.2 = 2\text{ Ом}$.

4.4-суретте көрсеткендей кедергісі 58 Ом жүктемені тізбекке қосқанда ток күші:



4.4-сурет

$$\text{Ток күші } I = \frac{\text{э.к.к.}}{r} = \frac{15}{58 + 2} = \frac{15}{60} = 0.25 \text{ A.}$$

(b) батарея қысқыштарының потенциалдар айырымы,

$$V = E - Ir$$

онда

$$V = 15 - (0.25)(2) = 14.5 \text{ B}$$

Келесі жаттығуларды орындаңыздар.

16-жаттығу. Элементтің э.к.к. мен ішкі кедергілеріне қосымша-есептер

1. Он екі элемент, әрқайсысының ішкі кедергісі 0.24 Ом және э.к.к. 1.5 B (a) тізбектеп қосылған (b) параллель қосылған осы батареяның жалпы э.к.к. мен жалпы ішкі кедергісін табыңыз.

$$[(a) 18 \text{ B}, 2.88 \text{ Ом}, (b) 1.5 \text{ B}, 0.02 \text{ Ом}]$$

2. Элементтің ішкі кедергісі 0.03 Ом э.к.к 2.2 B Қысқыштардағы потенциалдар айырымын есептеңіз, егер тізбекке келесі ток күштері берілсе: (a) 1 A ; (b) 20 A ; (c) 50 A .

$$[(a) 2.17 \text{ B}, (b) 1.6 \text{ B}, (c) 0.7 \text{ B}]$$

3. Жүктелмеген батареяның қысқыштарындағы потенциалдар айырымы 16 B және 8 A жүктеме батареяға тіркелсе оның ішкі кедергісі қандай болады?

$$[0.25 \text{ Ом}]$$

4. Батареяның э.к.к. 20 B , ішкі кедергісі 0.2 Ом оған 10 A жүктеме тіркеледі, осы жүктеменің кедергісін және батареяның қысқыштарының потенциалдар айырымын есептеңіз.

$$[1.8 \text{ Ом}, 18 \text{ B}]$$

5. 10 элементтің ә.қ.к. 2.2 В . Әрқайсысының ішкі кедергісі 0.1 Ом , тізбектеп қосылған жүктеменің кедергісі 21 Ом . Анықтаңыз: (а) тізбектегі ток күшін; (b) батарея қысқыштарындағы потенциалдар айырымын.

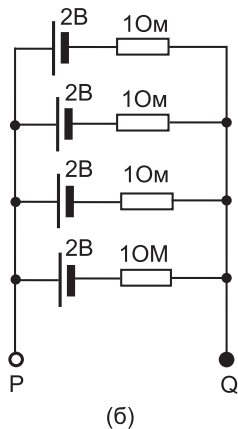
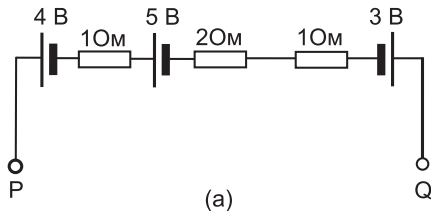
[(a) 1 A (b) 21 B]

6. 4.5-суретте тізбек көрсетілген резисторлар батареяның ішкі кедергісін білдіреді. Әрбір жағдай үшін анықтаңыздар:

(a) PQ арасындағы жалпы ә.қ.к;

(b) Батареяның жалпы эквивалентті ішкі кедергісін.

[(1) (a) 6 B, (b) 2 B, (2) (a) 4 Ом, (b) 0.25 Ом]



4.5-сурет

7. Жүктеме берілмегенде батареяның қысқыштарының кернеуі 52 В және 80 А . Жүктеме қосылғанда оның кернеуі 48.8 В өзгереді. Батареяның ішкі кедергісін табыңыз. Егер қосылған жүктеменің ток күші 20 А болса, батарея қысқыштарының кернеуі қандай?

[0.04 Ом 51.2 В]

4.6 Тұрақты элементтер

Тұрақты элементтер қайтадан зарядталмайды, яғни химиялық энергияның электр энергиясына түрленуі қайтымсыз үдеріс болғаны, сондықтан элементте химиялық қосылыстар бір-ақ рет пайдаланылады, себебі химиялық қосылыстар уақыт барысында сарқылады. Алғашқы элементтерге мысал ретінде Лечланч элементі мен сынап элементтері алынады.

Лечланч элементі

Әдеттегі құрғақ Лечланч элементі *4.6-суретте* көрсетілген. Мұндай элементтің кернеуі жаңа кезінде жуықтап алғанда 1.5 В болып келеді, алайда, үздіксіз пайдаланғанда поляризация салдарынан оның кернеуі тез төмендейді. Деполяризация үдерісімен салыстырғанда көміртегі электродында сутегі үлпегі (пленка) тезірек қалыптасады. Лечланч элементін тек өте қысқа мерзімде пайдалануға ғана қолайлы, оның қолданатын орындары: факельді жағу, транзисторлы радиоқабылдағыштарда, қоңырауды қосуда, индикатор сызбалары үшін, газды жандыру үшін (зажигалка), коммуникациялық аппаратураларда қолданылады. Бастапқы элементтер практикада жиірек қолданылады, себебі олар арзан, көп күтімді талап етпейді, жарамдылық мерзімі екі жылға дейін созылады.

Сынап элементтері

4.6-суретте нағыз сынап элементі көрсетілген. Мұндай элементтің э.қ.к. 1.3 В , ол көп уақытта салыстырмалы түрде тұрақты болып қалады. Оның Лечланч элементімен салыстыр-

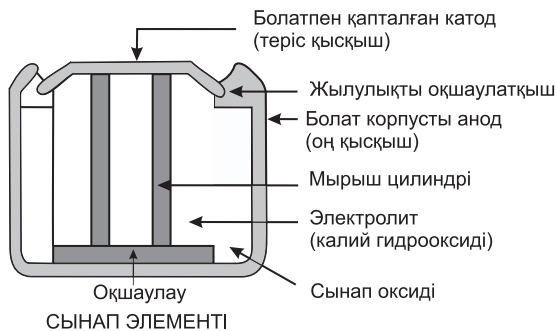


4.6-сурет

ғандағы ең негізгі артықшылығы: алатын көлемі аз, өмір сүру мерзімі ұзақ. Оны: құлағы нашар еститін ауруларға арналған есту аппараттарында, медициналық электроникада, фотоаппараттарда және ғарыш зымыранында қолданылады.

4.7 Аккумуляторлар

Аккумуляторларды пайдаланғаннан кейін оларды қайтадан қолдануға болады. Яғни химиялық энергияны электр энергиясына айналдыру қайтымды процесс болғаны және элементтер қайта-қайта бірнеше рет қолданыла алынады. Аккумуляторларға мысал ретінде қорғасын-қышқылды элементтерді, никель-кадмий, никель-металды элементтерін алуға болады. Мұндай аккумуля



4.7-сурет

торлар автомобильде, телефон сызбаларында, автотиегіштерде қолданылады.

Қорғасын–қышқылдық батареялар

Қорғасын –қышқылдық батареялардың құрамы:

(1) Контейнері шыныдан, эбониттен немесе пластиктен істелінген.

(2) Қорғасын пластиналары:

(а) теріс пластина (катод) – кеуекті қорғасыннан тұрады.

(б) оң пластина – қорғасын тордың ішінде қорғасынның асқын тотығын қысыммен басу арқылы анод жасалады.

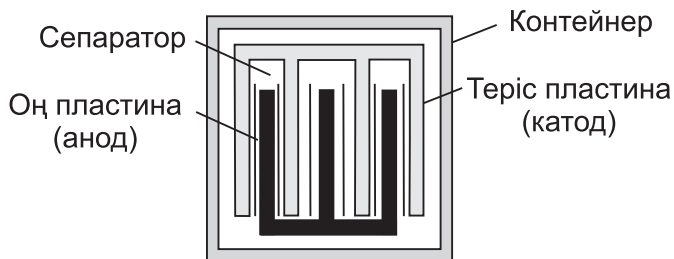
Қорғасын – қышқылдық батареяларда *суретте* көрсеткендей көлденең қимасының көлемі неғұрлым жоғары, ал ішкі кедергісі минимумға жететіндей етіп пластиналар кезектесіп орналасады

(3) Сепаратор шыныдан, целлюлозадан немесе ағаштан жасалады.

(4) Электролит күкірт қышқылы мен судың дистилленген қоспасынан тұрады.

Қорғасын–қышқылды аккумуляторлардың салыстырмалы тығыздылығы (меншікті салмақ) ареометр көмегімен өлшеніп, оның мәні толық зарядталғанда 1.26, ал зарядсыздалғанда 1.19 шамаларының маңында өзгереді.

Қорғасын–қышқылды аккумуляторлар қысқыштарының потенциалдық айырымы $2B$.



ҚОРҒАСЫН–ҚЫШҚЫЛДЫҚ БАТАРЕЯНЫҢ
ЖАЛПЫ ТҮРІ

4.8-сурет

Аккумулятор тоқты жүктемеге бергенде *ол зарядсызданады* деп аталады.

Аккумулятордың зарядсыздану кезінде:

(1) Қорғасынның асқын тотығы (оң пластина) және кеуекті қорғасын (теріс пластина) қорғасынның сульфатына айналады.

(2) Және қорғасынның асқын тотығының оттегісі электролиттегі сутегімен қосылып, су түзеді. Электролит әлсізденіп, салыстырмалы тығыздылық төмендейді.

Толық зарядсызданған қорғасын–қышқылдық батареясы қысқыштарының потенциал айырымы шамамен 1.8 В . Батарея оның қысқыштарына тұрақты ток көзі қосылған кезде зарядтала бастайды, оның оң зарядты қысқышы ток көзінің оң полюсына жалғанады. Зарядталған ток кері бағытта зарядсызданады. Химиялық әсері де қарама–қарсы жаққа бағытталады.

Аккумулятордың зарядтану кезінде:

(1) Қорғасын сульфаты оң және теріс зарядты пластиналарда қорғасынның асқын тотығы мен қорғасынға сәйкесінше қайтадан түрленеді,

(2) сондықтан қорғасын мен судың мөлшері электролитте азаяды. Ал электролитте бөлініп шығып жатқан оттегі оң зарядталған қорғасын пластинасымен әрекеттескендіктен электролиттің салыстырмалы тығыздығы өседі:

Оң зарядты пластинаның түсі батарея толық зарядталған кезде қою қоңыр және зарядсызданған кезде ашық қоңыр болып өзгереді. Теріс зарядталған пластинаның түсі батарея толық зарядталған кезде сұр ал зарядсызданған кезде ашық сұрға айналады.

Никель–кадмий және никель–металл батареялары

Осы екі түрлі батареялардың оң зарядты пластинкалары никельдің гидрооксидінен жасалған; никель гидрооксидті пластинкалары майдалап тесілген құрыштан жасалған түтікке орналастырылған, электролитке бос никель металын немесе графитті қосса болғаны кедергінің шамасы өзгеріп, азая бастай-

ды. Түтікше никель құрыш пластинкаларын *Эдисон* немесе *никель–темір батареясы* деп атайды, теріс зарядталған пластинка темірдің тотығынан орындалған, егер сынаптың тотығын шамалы қосса, электролиттің кедергісі азаяды, батареяның барлық денесі майда тесілген құрыштан жасалған түтікше пластинада жиналған.

Никель–кадмий батареяларында теріс зарядты пластинка кадмийден жасалған. Осы типті батареялардың әрқайсысында электролит ретінде калийдің гидроксиді алынады. Ол химиялық өзгерістерге ұшырамайды. Сондықтан оның мөлшері минимум-ге дейін төмендейді. Пластинкалар изоляцияланған және құрыш контейнерге жиналған. Ал олардың өзін металл емес жәшіктің ішіне салып, элементтерді бір–бірінен изоляциялау үшін орташа алғанда зарядсыздалған сілтілік элементтедің потенциал айырымын 1.2 В шамасында алады.

Никель–кадмий, никель–металл батареяларын қорғасын–қышқылды батареялармен салыстырғанда олардың артықшылықтары:

- (1) Конструкциясы мықтырақ.
- (2) Күшті токтардың зарядталуы мен зарядсыздануы кезінде көп зақымданбайды және төзу қабілеті жоғары.
- (3) Өмір сүру мерзімі ұзақ.
- (4) Берілген сыйымдылық үшін салмағы жеңілдеу.
- (5) Зарядтың кез келген күйінде зарядталды ма әлде жоқ па зақымданудан қорықпай белгісіз мерзімде қалдыруға болады.
- (6) Өздігінен зарядтала алмайды.

Никель–кадмий мен никель металл батареяларының кемшіліктері қорғасын–қышқылды батареяларымен салыстырғанда:

- (1) Салыстырмалы түрде қымбаттырақ;
- (2) Берілген э.қ.к. үшін элементтер көбірек қажет;
- (3) Ішкі кедергісі жоғарырақ;
- (4) Мөрленген болуы керек;
- (5) Тиімділігі яғни эффективтілігі төмен.

4.2-кесте

Батарея түрі	Жалпы қолданылуы	Қауіпті компонент	Қалдықтарды қайта өңдеу нұсқаулары
Ылғалды элемент (яғни алғашқы элементтер құрамында сұйық электролиті бар)			
Қорғасын-қышқылды элемент	Көлік, автомобиль, жүк автомобилі, қайық, трактор, мотоцикл үшін электр көзі. Шағын герметикалық (саңылаусыз) қорғасын-қышқылды батареялары авария мен апат кезінде жарықпен қамтамасыз етудің сенімді электр энергияның көзі болып табылады	Күкірт қышқыл мен қорғасын	Қайта өңдеу, жанармай құятын станциялар мен гараждар, ескі автомобильдердің аккумуляторларын қабылдайды, қауіпті қалдықтарды кәдеге асыру станциялары қорғасын-қышқылды батареяларды жинақтайтын пунктер болып табылады
Құрғақ элементтер: бір рет пайдаланатын, қайта зарядталмайтын батареялар (мысалы фонарь, шам, шағын сағаттар)			
Мырыш-көміртегі	Фонарь, сағат, электрұстара, радиоқабылдағыш, ойыншық, өрт сигналы,	мырыш	Қауіпті қалдықтарға жатпайды тұрмыстық қалдықтармен бірге пайдаға асырылады
Мырыш хлориді	Фонарь, сағат, электрұстара, радиоқабылдағыш, ойыншық, өрт сигналы,	мырыш	Қауіпті қалдықтарға жатпайды тұрмыстық қалдықтармен бірге пайдаға асырыла алынады

Сілтілік марганец	Дербестелген стерео мен радио/ кассетті плеерлер	Марганец	Қауіпті қалдықтарға жатпайды тұрмыстық қалдықтармен бірге пайдаға асырылады
Алғашқы түймелік батареялар (яғни шағын электрондық құрылғыларда кішкентай жалпақ түйме пішінді батареялар пайдалынады)			
Сынап тотығы	Есту аппараттары, кардиостимулятор, фотоаппарат	Сынап	Қажет болса қауіпті қалдықтарды пайдаға асыратын станцияларда
Мырышты ауа	Есту аппараттары, пейджерлер, фотоаппараттар	Мырыш	Қажет болса, қауіпті қалдықтарды пайдаға асыратын станцияларда
Құрғақ элементті аккумуляторларды қайта зарядтау			
Никель – кадмий (NiCd)	Жылжымалы телефон, сымсыз механикалық инструменттер, ұстара, қозғалтқышы бар ойыншықтар, шағын аудиоплеер, аудио-кассета,	Кадмий	Егер қажет болса, қайта өңдеу
Никель–металл гидридi (NiMH)	Никель кадмий батареяларының басқа түрлері, бірақ өмір сүруі ұзақтау	Никель	Егер қажет болса, қайта өңдеу
Литий–ион (Li-ион)	Никель кадмий мен литий–металл гидридi батареяларының басқа түрлері, бірақ энергиясы мен сыйымдылығы әлдеқайда жоғары және күшті	Литий	Егер қажет болса, қайта өңдеу

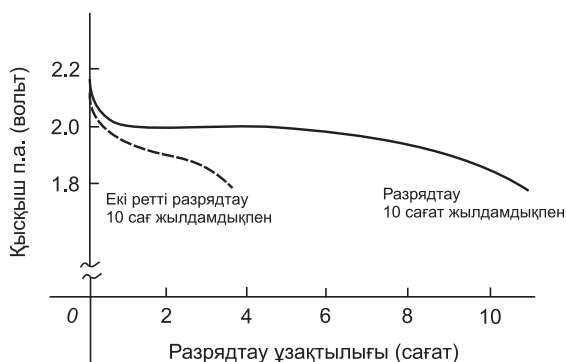
Никель элементі экстремалды температурада қолданыла алады. Дірілдеу сезілгенде, міндет бойынша ұзақ тұрып қалатын жағдайларда үлкен зарядсыздану токтарын талап етеді. Практикалық мысалдарға теңіз жұмыстарында жарықты күшпен тарату, темір жол вагондарында жарықты беру жұмыстарында, әскери ықшам радиоқабылдағыштарда, дизельді және бензинді қозғалтқыштарды қосу үшін қолданылады. *4.2-кестені* қараңыз.

4.8 Элементтердің сыйымдылығы

Элементтердің сыйымдылығы ампер–сағат (А·сағ) бірлігімен өлшенеді. Толық зарядсызданған 50 А сағат батарея 10 сағатта зарядсыздануға есептелінген, 5 А тұрақты ток болғанда 10 сағат ішінде зарядсызданады, ал егер жүктелмеген ток күші 10 А –ге дейін ұлғайса, онда батарея 3–4 сағат ішінде зарядсызданады, себебі зарядсыздану тоғы неғұрлым жоғары болса, соғұрлым батареяның тиімді қуаты төмен болады. 4.9-суретте қорғасын–қышқылды батареялар үшін зарядсызданудың типті сипаттары келтірілген.

4.9 Аккумуляторларды қауіпсіз тазарту

Аккумуляторларды тазарту барысында пайда болатын қауіпсіздікті ұғыну мен осы қауіптің зардабынан сақтанудың мағынасын түсіну бүгінгі күні Ұлы Британияда өзекті мәселе. Жылына 300 млн батареялар қоқыс тастайтын жерде көмілетіндіктен бүгінгі күні 20 000 т артық улы қалдықтар жинақталған. Кейбір аккумуляторлардың құрамындағы заттар адам өміріне, жануарлар дүниесіне, қоршаған ортаға қауіпті болуы мүмкін, сонымен қатар өрттің тууына да қатер жасайды. Аккумуляторларды қайта өңдеу арқылы олардың құрамындағы металдарды бөліп алу мүмкіндігі туады.



4.9-сурет

Аккумулятордың қалдығы улы ауыр металдың: сынаптың, қорғасынның, кадмийдің шоғырландырылған көзі болып табылады. Егер осындай аккумуляторлардың улы ауыр металдары дұрыс орналастырылмаса, металдар жуылып, топырақты улап, ластайды, адам мен жануарлар өміріне қауіп төнеді. Ұзақ мерзімді кадмийдің адам үшін әсері канцерогенді болып келеді. Яғни оның қосылыстары қатерлі ісікке әкелетін заттарға жатады. Бұл заттар өкпе, бауыр, ауруларына әкелуі мүмкін. Сынап адамның миына қатер туғызады, арқалық жүйеге, бүйрекке, бауырға, зақым келтіреді. Қорғасын–қышқылды батареялардың күкірт қышқылы теріні өте күшті күйдіреді немесе теріге тисе оны түршіктіреді. Сондықтан барлық типті батареялар мен ұқыпты болу маңызды мәселе болып отыр. 4.2-кестеде барлық батареялар типтерінің тізімі, оларды жалпы пайдалану жолдары, олардың қауіпті компоненттері мен қалдықтарды тазарту нұсқаулары келтірілген.

Батареяларды аккумуляторларды тазарту бірте–бірте реттеліп келе жатыр. Себебі, 2002 жылы ереже реттеу полигоны мен 2005 жылы қауіпті қалдықтарды реттеу полигондары ұйымдастырырылды. 2006 жылы электр және электроника құрылғыларының қалдықтарын реттеу полигоны 2007 жылдың шілдесінен бастап барлық өндірушілерге өндіруші және импортер электр және электрондық орнын толтыру және тазарту жиынтықтау үшін ЭӘҚҚ алдында міндетті Ұлы Британияда туындады.

4.10 Отындық элементтері

Отындық элементтер электрхимиялық энергияны түрлендіре алатын батареяға ұқсас жабдық, алайда, мұндай элементтер реагенттерді үздіксіз толтырып отыру үшін арналған; олар электр энергиясын сыртқы отын көзі мен оттегі арқылы өндіреді, мүмкіндіктерінің шектелуімен сипатталатын энергия жинаушы аккумуляторлардан өзгешелігі міне осында. Сонымен қатар батарея ішіндегі электродтар үнемі реакцияға ұшырап, өзгеріп отырады, олар зарядталады және зарядсызданады, ал отын элементтерінде электродтар каталитикалық сипатта, олар өзгермейді және салыстырмалы тұрақты. Отындық элементіндегі жүретін реакция: сутегі анод жақтан, ал оттегі катод жақтан бөлініп жатады (**сутекті элемент**). Әдетте, реакцияға түсетін реагенттер реакция ортасынан шығып, бөлініп кетіп жатады. Шынында да үздіксіз ұзақ эксплуатация барысында осы реакция ағымдары сақталып тоқталмайды.

Отындық батареялары өте қымбат, алайда, осы бағытта жүргізілетін зерттеулер мен оны әзірлеу жұмыстары жалғасып жатыр, осы себептен болашақта сутектік отын элементін жасау көліктер нарығында арзан бағамен қол жеткізуге мүмкіндік бере алады. Сутектік отындық элементтері өте пайдалы энергия көзі болып табылады, әсіресе, өте алыс жерлерде мысалы, ғарыш кемесінде, кейбір әскери жағдайларда сутектік отын элементі ықшам жеңіл және қозғалатын бөліктері жоқ өте ыңғайлы.

4.11 Энергия көздерінің жаңғыртылған және эквивалентті түрлері

Альтернативті энергия – дәстүрлі тас көмір, газ, мұнай сияқты энергия көздеріне жатады. Ауыстырып, алмастыра алатын отын немесе энергия көздері ретінде көміртегіні жағу атмосфераны CO_2 -мен ластайды.

Жаңғыртылған энергия көзі дегеніміз – автоматты түрде немесе тиімді шексіз қуат көзін бере алмайтын көмір, мұнай газ қуат көзін толықтырып, жаңартылатын энергия көзі жатады. Бір жағынан олардың кен орны бірнеше ұрпақтарға созылған мерзімде қолданылса да оларды пайдаланудың уақыт аралығы шекті және ақырында ол бітеді. Қоршаған ортаны ластамайтын энергияның басқа да көптеген түрлері бар және олар келесі сұрақтарды қамтиды:

Күн энергиясы болашақта ең тиімді болып табылатын қуат көзіне айналады. Оның себебі адамзаттың жылма–жыл күннен алатын толық энергиясы адамның пайдалана алатын қуатының барлық көлемінен 35000 есе артық асады. Оның 1/3 бөлігі сыртқы атмосферамен жұтылып жатады немесе кері ғарышқа қайтарылады. Күн энергиясы ғарыш кемелерін ұшыру, электрстанция мен автомобильді жүргізу үшін пайдалынады. Үйдің төбесіне шатырларда орналастырылған күн батареялары су жүйелеріндегі жылуды сақтауды бекітіп отырады. Фотогальваникалық элементтер белгі бір жеткілікті қашықтықтарда күн жарығын электр энергиясына айналдырып, өзгертіп, түрлендіреді.

Жел энергиясы – басқа альтернативті қуат көзі. Ол табиғат үшін зиянды және қосымша өнімдерді жасамайды. Олар желдің бағытына қатысты вертикаль жазықтықта тік қанаттарының көмегімен (9 тарауды қара) энергия көзін тудырады. Күн энергиясы тәрізді жел диірмені өзінің қалағын жел ағынымен айналдыруға мәжбүрлеп, электр энергиясын өндіруге жұмсай алады. Желді қолдану ауа райы мен оның орналасқан жеріне тәуелді. Жердегі желдің орташа жылдамдығы 9 м / с , ол жел диірменімен кездескенде алатын қуатының мөлшері 50 Вт , олай болса, ол 4.5 м / с жылдамдықпен сәйкес.

Гидроэлектрстанцияларының энергиясы өзендердің потенциалдық энергиясын – платинаны пайдалану арқылы алынады. Платиналарда сақталған су түскен қысыммен

шығарылса, су бөгеті оның кинетикалық энергиясын турбиналық қалақшаларына тасиды және электр энергиясын өндіру үшін пайдаланады. Жүйенің бастапқы шығындары зор болғанымен алайда, қолдану негізіндегі шығындары салыстырмалы түрде арзан және қуаты әбден күшті.

Көтерілу тасқындарының электр станциялары табиғаттық көтерілу мен қайту қозғалыстарының құбылыстарын пайдаланады, яғни көтерілу тасқындарының арқасында су қоймалары сумен толтырылып алынады, сонан соң қайту қозғалысының барысында су баяу бәсеңдей бастайды, сөйтіп, осы қозғалыстардың нәтижесінде турбина арқылы электр энергиясы туады.

Геотермалды энергия планетаның ішкі жылуынан табылады, бу жасау үшін бу турбинасын іске қосу өз кезегінде электр энергиясын өндіруге мүмкіндік бере алады, жердің радиусы 6700 км жер ортасындағы ядроның температурасы 4000°C , жерді 4.5 км тереңдікке бұрғылау кезінде оның температурасы 100°C –қа дейін жетеді, бұл суды қайнатып, электр станциясын іске асыру үшін жеткілікті. Алайда, жердің бетінен төмен қарай 4.5 км бұрғылау оңай жұмыс емес. Алайда, вулкандық сипаттағы геотермалдық ыстық көздер жер бетінде көп кездеседі. Мұндай жерлерде Жер қойнауының жылуы сыртқы жер қабығынан артық, сондықтан осы энергияны электр энергиясын өндіру үшін жұмсауға болады.

Келесі жаттығуларды орындаңыздар.

17-жаттығу. Электрдің химиялық әсеріне арналған сұрақтар

1. Батарейаның анықтамасы.
2. Батарейаны қолданудың 5 түрлерін атаңыз.
3. Сілтілік батареялармен салыстырғанда литий–ион батареясының артықшылығы неде?
4. Электролиз дегеніміз не?

5. Электродит дегеніміз не?
6. Электродитте токтың өту себебі...
7. Оң зарядталған электродтар ... деп, ал теріс зарядталған электродтар ... деп аталады.
8. Электродизді пайдаланудың екі түрін келтіріңіздер.
9. Электр элементі нені түрлендіреді?
10. Қарапайым элементтің сызбасын келтіріңіздер.
11. Активтілік қатар дегеніміз не?
12. Қарапайым элемент арқылы поляризациямен разрядтау (зарядсыздандыру) құбылысын түсіндіріңіз.
13. Коррозия дегеніміз не? Коррозияға екі мысал келтіріңіздер.
14. Элементтің потенциалдық айырымы дегеніміз не? Ол қалай өлшенеді?
15. Ішкі кедергі деген не?
16. Егер элементтің потенциалдық айырымы V , ішкі кедергісі r , жүктеменің ток күші I болса, қысқыштың потенциал айырымының вольтпен берілгендегі формуласы қандай?
17. Элементтедің екі түрін келтіріңіздер.
18. Бастапқы батареялармен аккумуляторлардың арасындағы айырмашылық қандай?
19. Ішкі кедергі деген не?
20. Бастапқы элементтердің екі түрін атаңыздар.
21. Аккумулятордың екі түрін атаңыздар.
22. Алғашқы элементтерді қолданудың үш мысалын келтіріңіздер.
23. Аккумуляторды қолданатын үш мысал келтіріңіздер.
24. Элементтердің сыйымдылығының өлшем бірлігі.
25. Батареяларды қауіпсіз тазарту неліктен маңызды?
26. Батареялардың 6 түрін атап шығындар және әрбір түрінің қолданатын жерлерін айтыңыздар.
27. Отындық элементтері деген не, оның басқа батареялардан айырмашылығы неде?
28. Отындық батареяларының артықшылығы неде?

29. Сутегі отындық батареяларының қолданатын үш түрлі жерін атаңыздар.
30. Жаңартылған және альтернативті энергия көзі деген не?
31. Бес альтернативті энергия көзін атаңыздар және олардың әрқайсысын қысқаша түсіндіріңіздер.

18-жаттығу (жауаптары кітаптың соңында)

1. Батареяның құрамы:

- (a) элемент
- (b) тізбек
- (c) генератор
- (d) бірнеше элементтен

2. Элементтің қысқаштарының потенциалдар айырымы 2 В , ішкі кедергісі 2 В жүктеменің ток күші 5 А болғанда қуаты қандай?

- (a) 1.5 В
- (b) 1.9 В
- (c) 2 В
- (d) 2.5 В

3. 5 элемент әрқайсысының ә.қ.к. 2 В , ішкі кедергісі 0.5 Ом тізбекке қосылған. Сонда батареяның жалпы ә.қ.к. мен жалпы ішкі кедергісі қандай?

- (a) ә.қ.к. 2 В және ішкі кедергісі 0.5 Ом
- (b) ә.қ.к. 10 В және ішкі кедергісі 2.5 Ом
- (c) ә.қ.к. 2 В және ішкі кедергісі 0.1 Ом
- (d) ә.қ.к. 10 В және ішкі кедергісі 0.1 Ом

4. Егер 3 сұрақтағы 5 элемент параллель жалғанса, онда батареяның жалпы ә.қ.к. мен ішкі кедергісі қандай?

- (a) ә.қ.к. 2 В және ішкі кедергісі 0.5 Ом
- (b) ә.қ.к. 10 В және ішкі кедергісі 2.5 Ом
- (c) ә.қ.к. 2 В және ішкі кедергісі 0.1 Ом
- (d) ә.қ.к. 10 В және ішкі кедергісі 0.1 Ом

5. Келесі тұжырымның қайсысы бұрыс?

(а) Лечланч элементі шырақтарға (факел) арналған
 (б) никель–кадмий элементі алғашқы элементтерге мысал бола алады

(с) элементті зарядтаған кезде оның қысқыштарындағы потенциал айырымдары элементтің э.қ.к. – нен артық болады

(д) аккумуляторларды пайдаланғаннан кейін де зарядтауға болады

6. Екі металл электрод қарапайым элемент құраса, онда активтік қатарда жоғары орналасқан металл:

(а) электролитте еріп кетуге талпынады

(б) тек қана теріс электрод түзеді

(с) әсіресе оттегімен оңай әрекеттеседі

(д) анод рөлін атқарады

7. Бес 2 В элемент әрқайсысының ішкі кедергісі 0.2 Ом тізбектей кедергісі 14 Ом ды жүктемеге жалғанған. Тізбектегі токтың шамасын анықтаңыз:

(а) 10 А

(б) 1.4 А

(с) 1.5 А

(д) 2/3 А

8. 7 сұрақтағы тізбек үшін батареяның қысқыштарының потенциалдар айырымы:

(а) 10 В

(б) 9.3 В

(с) 0 В

(д) 10.7 В

9. Келесі тұжырымның қайсысы дұрыс?

(а) элементтің сыйымдылығы вольтпен өлшенеді

(б) алғашқы элемент электр энергиясын химиялық энергияға түрлендіреді

(с) коррозияны болдырмайды темірді гальванизациялау

(д) оң электрод катод деп аталады

10. Элементтің ішкі кедергісі неғұрлым үлкен болса, соғұрлым:

- (a) қысқыштағы потенциалдар айырымы жоғары
- (b) э.қ.к. солғұрлым кіші
- (c) э.қ.к. солғұрлым үлкен
- (d) қысқыштағы потенциалдар айырымы төмен

11. Құрғақ элементтің теріс полюсі қандай материалдан жасалған?

- (a) көміртегі
- (b) мыс
- (c) мырыш
- (d) сынап

12. Аккумулятордың энергиясын әдетте қалай жаңартады?

- (a) аккумулятор арқылы ток жүргізіледі
- (b) ол мүлдем жаңартыла алмайды
- (c) химиялық жолмен жаңартылады
- (d) қыздыру арқылы жаңартылады

13. Келесі тұжырымның қайсысы дұрыс?

(a) мырыш көміртегі батареясының қайта зарядталуы қауіпті емес

(b) никель кадмий батареясының қайта зарядталмайды және ол қауіпті емес

(c) литий батареясы сағаттарда қолданылады, алайда ол қайта зарядталмайды

(d) сілтілік марганецті батарея шамда (факел) қолданылады және ол қауіпті емес

1-тексеру тесті

Бұл тест сұрақтарында 1 ден 4-тарауға дейінгі материалдар қамтылған. Әрбір сұраққа жауап жақша ішінде сөйлемнің соңында келтірілген.

1. Электромагнит 15 ньютон күшпен темір арматураға әсер етеді. Сонда 50 мс ішінде магнит оны 12 мм қашықтыққа итер алады, сондағы тұтынатын қуатты анықтаңыз.

(5)

2. Кернеуі 250 В тұрақты қоректендіру ток көзіне қуаты 47.25 МДж қозғалтқышы $1\text{ сағ } 45\text{ мин}$ қосылған. Сонда қорек көзінен тұтынатын қозғалтқыштың номиналды қуаты мен тоғын табу қажет.

(5)

3. 100 Вт –ты электр шамы 200 В қорек көзіне жалғанған. Есептеңіздер: (а) электр шамында аққан токты, (б) шамның кедергісін.

(4)

4. 5 мА ток 10 минут ішінде қанша заряд таси алады.

(2)

5. Электр камин элементінің кедергісі 25 Ом , бойынан 12 А ток өтеді. Элементтің жұмсалатын қуатын анықтаңыз. Егер күніне камин 5 сағат жанатын болса, онда (а) бір аптадағы тұтынатын энергия мен (б) егер электр бірлігі $13.5\text{ фунт стерлинг}$ болса, электр энергиясының тұтыну ақысын есептеңіздер.

(6)

6. Мыс кабелінің көлденең қимасының ауданы 15 мм^2 , ұзындығы 1200 м , кедергісін есептеңіз. Мыстың меншікті кедергісінің шамасын 0.02 мкОм деп алыңыздар.

(5)

7. 40°C , алюминиден жасалған кабелдің кедергісі 25 Ом . Егер кедергінің температуралық коэффициенті $0.0038/^\circ\text{C}$ болса, 0°C температурадағы кедергіні есептеңіз.

8. Резистордың түсті таңбасын анықтаңыздар:

(а) қызыл–қызыл–қызғылт–сары–күміс

(б) қызғылт–сары–қызғылт сары–қара–көк–сұр

9. Резистордың таңбасы 47 КК оның мағынасын табыңыздар.

(6)

(а) алғашқы батареялардың 6 түрлі қолданатын жерлерін келтіріңіздер

(b) аккумуляторлардың 6 түрлі қолданатын жерлерін келтіріңіздер

(с) отын элементтерінің қарапайым элементтерімен салыстырғандағы артықшылықтарын атаңыздар және 3 практикалық қолданатын жерлерін келтіріңіздер.

(12)

11. Төрт элемент, әрқайсысының ішкі кедергісі 0.4 Ом және э.қ.к. 2.5 В тізбектей қосылған, тізбекте 38.4 Ом жүктеме бар. Анықтаңыздар: (а) тізбектен өтетін токты, батареяның қысқыштарындағы потенциалдар айырымын, (b) егер элементтер тізбектей емес, параллель қосылса, ондағы өтетін ток пен батареяның қысқыштарындағы потенциал айырымының э.қ.к.

(10)

5–тарау

Тізбекті және параллель желілер

Тараудың соңында меңгеретін сұрақтар тізімі:

- Тізбекті сызбадағы белгісіз кернеуді, токты, кедергіні есептеу.
- Тізбекті сызбадағы кернеуді бөлуді түсіндіру.
- Параллель тізбекте белгісіз кернеуді, токты кедергіні есептеу.
- Аралас тізбекте кернеуді, токты, кедергіні есептеу.
- Екі параллель желідегі токтың бөлінуін түсіндіру.
- Вольтметрдің жүктемелік әсерін бағалау.
- Реостат пен потенциометрлердің арасындағы айырмашылық.
- Потенциометрдегі және реостаттағы кернеу мен жүктеменің ток күшін есептеу.
- Абсолют және салыстырмалы кернеудің шамаларын түсіну және есептеулер жүргізе алу.
- Электр тізбегінде орын алатын қысқа тұйықталудың үш себебін түсіндіру.
- Шамдарды параллель және тізбектей қосудың артықшылықтары мен кемшіліктерін түсіндіру.

- Отындық элементтердің (аккумулятордың) артықшылығын бағалау, оларды болашақта дұрыс пайдалану.
- Баламалы (альтернативті) энергия көздерін түсіну және оған 5 мысал

Тізбекті сызбалар

Суретте R_1 , R_2 , R_3 үш резисторлары бір-бірімен өздерінің ұштары арқылы кернеуі V вольт батарея қорек көзімен тізбектеп қосылған. Желі тұйықталғандықтан тізбек бойынша I ток өте бастайды. V_1 , V_2 , V_3 вольтметрлер арқылы әрбір резисторлардағы потенциалдар айырымы анықталады.

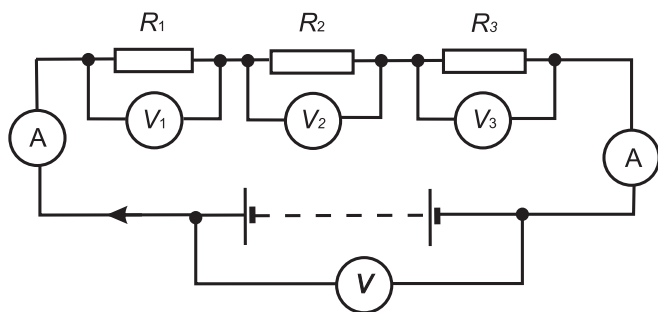
5.1 Тізбекті сызбалар

(а) Сызбаның өн бойында ток бірдей, сондықтан суретте берілген амперметрдегі көрсеткіштер де бірдей.

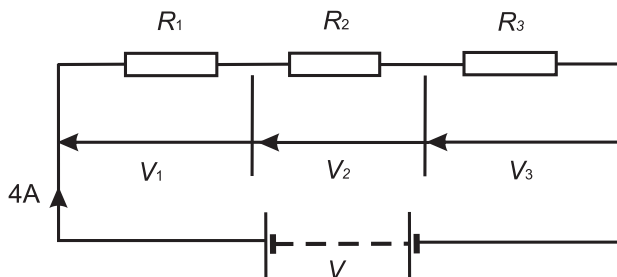
(b) Кернеулердің V_1 , V_2 , V_3 қосындысы қорек көзінен берілетін жалпы кернеуге тең:

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

Ом заңына сай: $V_1 = IR_1$, $V_2 = IR_2$, $V_3 = IR_3$ және $V = IR$ мұнда R тізбектің жалпы кедергісі. $V = V_1 + V_2 + V_3$ болғандықтан,



5.1-сурет



5.2-сурет

$IR = IR_1 + IR_2 + IR_3$ болады. Соңғы өрнекті I -ге бөлу арқылы аламыз:

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

Сонымен өткізгіштерді тізбектей қосылған желі үшін жалпы кедергі жеке өткізгіштердің кедергілерінің қосындысынан тұратын болады.

1-есеп. 5.2-суретте сызба келтірілген, анықтаңыз: (а) батареяның кернеуін, (б) тізбектің жалпы кедергісін, (с) R_1 , R_2 , R_3 сан мәнін. R_1 , R_2 , R_3 резисторларына 5 В, 2 В және 6 В потенциалдар айырымы берілгенін ескеру қажет.

(а) Батареяның кернеуі: $V = V_1 + V_2 + V_3 = 5 + 2 + 6 = 13 \text{ В}$

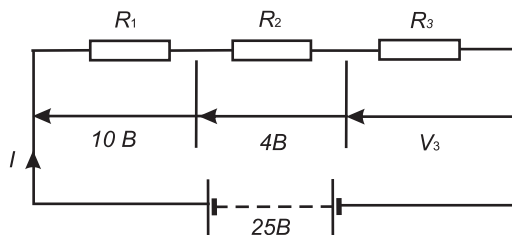
(б) Тізбектің жалпы кедергісі: $R = \frac{V}{I} = \frac{13}{4} = 3.25 \text{ Ом}$

(с) Кедергі: $R_1 = \frac{V_1}{I} = \frac{5}{4} = 1.25 \text{ Ом}$

Кедергі: $R_2 = \frac{V_2}{I} = \frac{2}{4} = 0.5 \text{ Ом}$

Кедергі: $R_3 = \frac{V_3}{I} = \frac{6}{4} = 1.5 \text{ Ом}$

(Тексеру $R_1 + R_2 + R_3 = 1.25 + 0.5 + 1.5 = 3.25 \text{ Ом}$)



5.3-сурет

2-есеп. 5.3-суретте тізбекті жалғау көрсетілген. Тізбектегі R_3 резисторының потенциалдар айырымы қандай? Егер тізбектің жалпы кедергісі 100 Ом болса, R_1 резисторы арқылы өтетін ток пен R_2 резисторының кедергісін табыңыз.

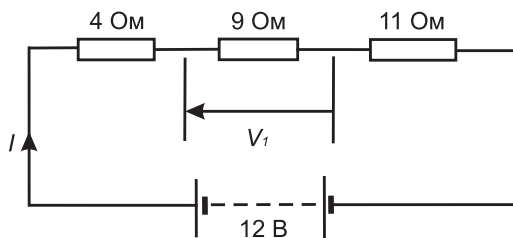
R_3 резисторының потенциалдар айырымы,
 $V_3 = 25 - 10 - 4 = 11 \text{ В}$

Ток күші $I = \frac{V}{R} = \frac{25}{100} = 0.25 \text{ А}$

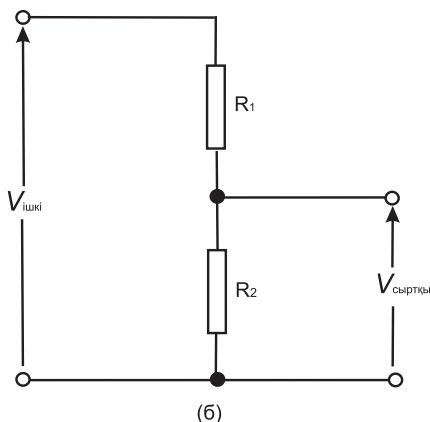
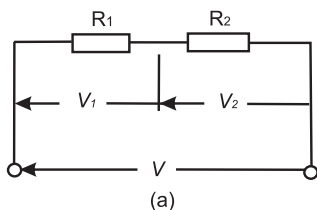
Әрбір резистор арқылы бірдей ток өтетіндіктен R_2 :

$$R_2 = \frac{V_2}{I} = \frac{4}{0.25} = 16 \text{ Ом}$$

3-есеп. Кернеуі 12 В батарея тізбекке жалғанған. Тізбек 3 резистордан тұрады: 4 Ом, 9 Ом, 11 Ом. Анықтау керек: тізбектегі ток күшін, кедергісі 9 Ом резистордың потен-



5.4-сурет



5.5-сурет

циалдар айырымын. Сонымен қатар кедергісі 11 Ом резистордың қуатын табыңыз.

Тізбектің сызбасы 5.4-суретте келтірілген.

Жалпы кедергі: $R = 4 + 9 + 11 = 24 \text{ Ом}$

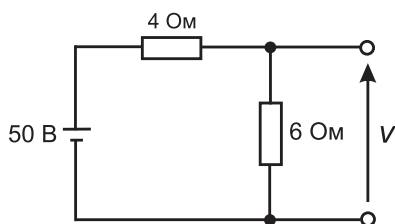
$$\text{Ток күші: } I = \frac{V}{R} = \frac{12}{24} = 0.5 \text{ А}$$

Кедергісі 9 Ом резистордың ұштарындағы потенциалдар айырымы,

$$V_1 = I \times 9 = 0.5 \times 9 = 4.5 \text{ В}$$

Кедергісі 11 Ом резистордың қуаты:

$$P = I^2 R = (0.5)^2 (11) = (0.25)(11) = 2.75 \text{ Вт}$$



5.6-сурет

5.2 Кернеуді бөлу

5.5 (a)–суретте көрсеткендей кернеудің таралуы схемада берілген:

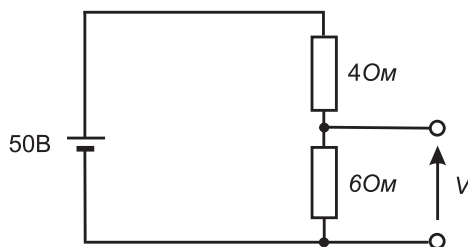
$$V_1 = \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) V \quad \text{және} \quad V_2 = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) V$$

5.5 (b)–суреттегі берілген сызба кернеуді бөлу тізбегі деп аталады. Мұндай тізбектер кернеу көзімен тізбектей қосылған бірнеше бірдей өткізгіштерден тұрады.

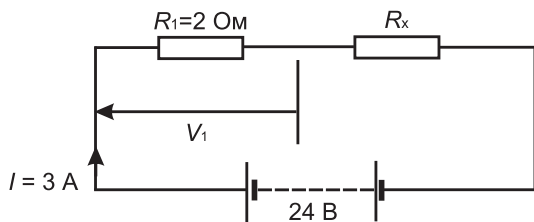
Әдетте, бөлгіш 5.5(b)–суретте көрсеткендей екі резистордан тұрады:

$$\text{Мұндағы, } V_{\text{сырт}} = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) V_{\text{ішк}}$$

Кернеуді бөлу дегеніміз э.қ.к. жоғары энергия көзінен э.қ.к. төмен энергия көзіне айналдырудың ең қарапайым тәсілі және потенциалдар айырымдарын дәл өлшейтін потенциометрдің негізгі операциялық механизмі.



5.7-сурет



5.8-сурет

4-есеп. 5.6-суретте көрсетілген тізбектегі кернеуді есептеңіздер.

$$V = \left(\frac{6}{6 + 4} \right) (50) = 30 \text{ В}$$

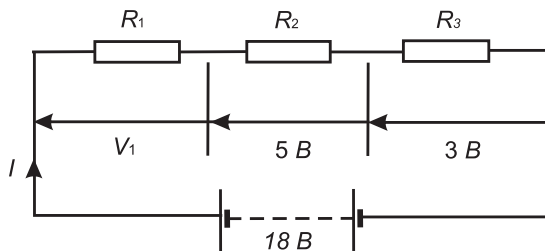
Суретті басқаша 5.7-суреті түрінде де келтіруге болады.

5 есеп. Кернеуі 24 В екі резистор ток көзіне тізбектеп жалғанған, тізбектегі ток күші 3 А . Егер екі резистордың біреуінің кедергісі 2 Ом болса, анықтаңыздар: (а) екінші резистордың кедергісін, (б) кедергісі 2 Ом резистордың ұштарындағы потенциалдар айырымын. Егер тізбек 50 сағат бойы жалғанса, оның қуаты қандай? 5.8-суретте тізбектің сызбасы келтірілген.

(а) Тізбектің жалпы кедергісі:

$$R = \frac{V}{I} = \frac{24}{3} = 8 \text{ Ом}$$

Белгісіз резистордың кедергісі:



5.9-сурет

$$R_x = 8 - 2 = 6 \text{ Ом}$$

(b) Кедергісі 2 Ом резистордың ұштарындағы потенциалдар айырымы:

$$V_1 = \left(\frac{R_1}{R_1 + R_x} \right) V = \left(\frac{2}{2 + 6} \right) (24) = 6 \text{ В}$$

Сонымен: Пайдаланған энергия = қуат \times уақыт

$$(V \times I) \times t = (24 \times 3 \text{ Вm}) (50 \text{ сaғ}) = 3600 \text{ Вm} \cdot \text{сaғ} = 3.6 \text{ кВт} \cdot \text{сaғ}$$

Келесі жаттығуларды орындаңыздар.

19-жаттығу. Тізбектей жалғауға қосымша есептер

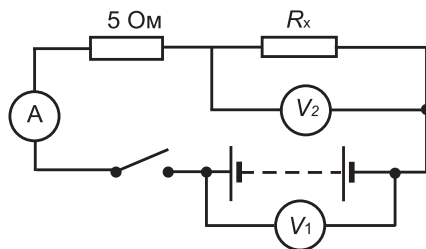
1. 5 В , 7 В және 10 В тізбектей қосылған үш резисторлардың потенциал айырымдары өлшенді. Олар 2 А ток көзіне жалғанған. Анықтаңыз: (a) қоректендіру көзінің кернеуін (b) тізбектің жалпы кедергісін, (c) үш резистордың кедергілерін.

$$[(a) 22 \text{ В}, (b) 11 \text{ Ом}, (c) 2.5 \text{ Ом}, 3.5 \text{ Ом}, 5 \text{ Ом}]$$

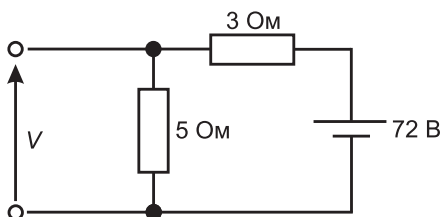
2. 5.9-суретте көрсеткендей тізбектегі V_1 кернеудің мәнін табыңыз. Жалпы кедергі 36 Ом болғандағы қоректендіру көзінің тоғы мен резисторлардың R_1 , R_2 , R_3 кедергілерін анықтаңыздар.

$$[10 \text{ В}, 0.5 \text{ А}, 20 \text{ Ом}, 10 \text{ Ом}, 6 \text{ Ом}]$$

3. 5.10-суретте қосқыш кілт жабық түрінде болса, онда бірінші вольтметрдің көрсеткіші 30 В , ал екінші вольтметрдің



5.10-сурет



5.11-сурет

көрсеткіші 10 В көрсетеді. Амперметрдегі көрсеткіштің және R_x резистордың шамасын анықтаңыз.

[$4\text{ А } 2.5\text{ Ом}$]

4. 5.11-суреті бойынша V кернеудің сан мәнін есептеңіздер.

[45В]

5. Екі резистор тізбектей қосылған, қорек көзінің кернеуі 18 В , тізбектен 5 А ток өтеді. Егер бір резистордың кедергісі 2.4 Ом болса, анықтау керек: (а) екінші резистордың кедергісін, (б) кедергісі 2.4 Ом резистордың потенциалдар айырымын.

[$(a) 1.2\text{ Ом}, (b) 12\text{ В}$]

6. Доғалық шамның кернеуі 55 В , ток күші 9.6 А . Қорек көзінің кернеуі 120 В . Тізбектеп қосылған тұрақтандырушы резистордың кедергісінің мағынасын есептеңіз.

[6.77 Ом]

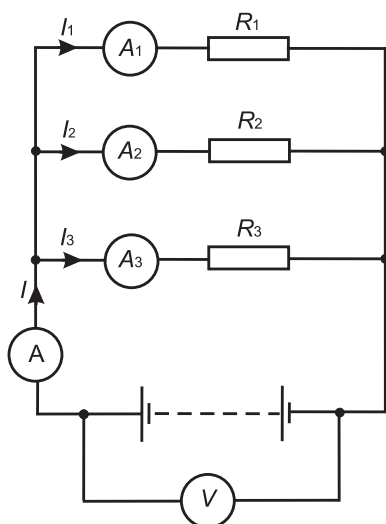
7. Электр пеші 240 В кернеу көзіне қосылған, одан 15 А ток өтеді. Табу керек: (а) тізбектеп қосылған резистордың кедергісін, (б) резистордағы кернеуді.

[$(a) 4\text{ Ом } (b) 48\text{ В}$]

5.3 Параллель желілер

5.12-суретте R_1 , R_2 , R_3 резисторлары өзара параллель қосылып, батареяға V кернеу берілген.

Параллель тізбекте:



5.12-сурет

(a) I_1, I_2, I_3 токтардың қосындысы тізбектегі жалпы токқа тең; яғни: $I = I_1 + I_2 + I_3$

(b) Әр резистордың ұштарындағы потенциалдар айырымы бірдей және тізбектің берілген бөлігіндегі жалпы кернеуіне тең.

Ом заңынан:

$$I_1 = \frac{V}{R_1}, \quad I_2 = \frac{V}{R_2}, \quad I_3 = \frac{V}{R_3}$$

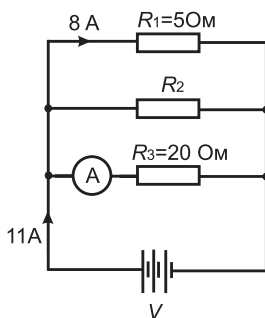
$$I = \frac{V}{R}$$

мұндағы, R тізбектегі жалпы кедергі, сонда:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \text{ осыдан: } \frac{V}{R} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3} \text{ осы өрнекті}$$

Мұндағы, V -ға бөлсек:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$



5.13-сурет

Осы теңдеу параллель тізбектерде жалпы кедергіні табу үшін пайдаланылады.

Төменде екі резистордың параллель қосылған түрінің теңдеуі келтірілген:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2}$$

Сондықтан: $R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$

6-есеп. 5.13-суретте тізбек келтірілген, анықтау керек:

- (a) Амперметр көрсеткішін;
 (b) R_2 резистордың шамасын.

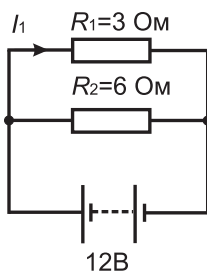
R_1 резистордың V потенциалдар айырымы қоректендіру көзінің кернеуімен бірдей. Олай болса, қоректендіру көзінің кернеуі: $V = 8 \times 5 = 40 \text{ В}$

(a) Амперметр көрсеткіші $I = \frac{V}{R_3} = \frac{40}{20} = 2 \text{ А}$

(b) R_2 арқылы өтетін ток $= 11 - 8 - 2 = 1 \text{ А}$ болса, онда R_2 :

$$R_2 = \frac{V}{I_2} = \frac{40}{1} = 40 \text{ Ом}$$

7-есеп. Әрқайсысының кедергілері 3 Ом және 6 Ом екі резистор параллель кернеуі 12 В батарея арқылы қосылған.



5.14-сурет

Анықтау керек: (а) тізбектің жалпы кедергісін, (б) кедергісі 3 Ом резистор арқылы өтетін токты.

5.14-суретте тізбектің сызбасы келтірілген.

(а) Тізбектің жалпы R кедергісі:

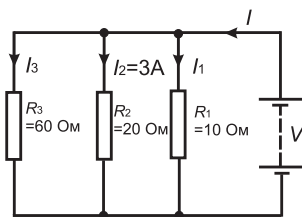
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{1}{3} + \frac{1}{6} = \frac{2+1}{6} = \frac{3}{6}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{3}{6} \text{ олай болса } R = 2 \text{ Ом}$$

(R кедергісін басқаша жолмен

$$\text{тапсақ: } R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{3 \times 6}{3 + 6} = \frac{18}{9} = 2 \text{ Ом})$$

(б) Кедергісі 3 Ом резистордан өтетін ток: $I_1 = \frac{V}{R_1} = \frac{12}{3} = 4 \text{ А}$



5.15-сурет

8-есеп. 5.15-суреттегі тізбек бойынша табу керек: (а) қоректендіру көзінің V кернеуін, (б) I ток күшін.

(а) Кедергісі 20 Ом резистордың потенциалдар айырымы $= I_2 R_2 = 3 \times 20 = 60 \text{ В}$, олай болса қоректендіру көзінің кернеуі 60 В. Себебі сызба параллель қосылған.

$$(b) \text{ Ток күші: } I_1 = \frac{V}{R_1} = \frac{60}{10} = 6 \text{ А} \quad I_2 = 3 \text{ А} \quad I_3 = \frac{V}{R_3} = \frac{60}{60} = 1 \text{ А}$$

$$\text{Ток } I = I_1 + I_2 + I_3 = 6 + 3 + 1 = 10 \text{ А}$$

Басқаша жолмен табылған ток:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{60} + \frac{1}{20} + \frac{1}{10} = \frac{1+3+6}{60} = \frac{10}{60}$$

олай болса жалпы кедергі және жалпы ток:

$$R = \frac{60}{10} = 6 \text{ Ом} \quad I = \frac{V}{R} = \frac{60}{6} = 10 \text{ А}$$

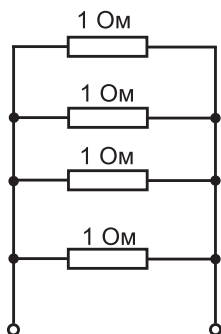
9-есеп. 4 резисторлар берілген, олардың кедергілері бірдей 1 Ом .

Осы резисторлар келесі жағдайлар үшін қалай жалғанулары керек, егер жалпы кедергілер (а) $1/4 \text{ Ом}$, (б) 1 Ом , (с) $4/3 \text{ Ом}$, (д) $5/2 \text{ Ом}$ –ға тең болса, барлық резисторлар әр жағдайда әртүрлі жалғанған (5.16; 5.17; 5.18; 5.19-суреттерді қараңыз).

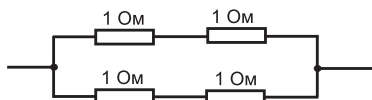
(а) Барлық төрт резистор параллель жалғанған (5.16-сурет), сонда:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{1} + \frac{1}{1} + \frac{1}{1} + \frac{1}{1} = \frac{4}{1} \text{ яғни } R = \frac{1}{4} \text{ Ом}$$

(б) Екі тізбектей қосылған резисторлар, басқа екі тізбектей қосылған резисторлармен параллель жалғанған (5.17-сурет). Кедергілері 1 Ом мен 1 Ом тізбектей қосылса 2 Ом кедергіні береді, ал 2 Ом резистор параллель қосылса да 2 Ом кедергіні береді. Олай болса,



5.16-сурет



5.17-сурет

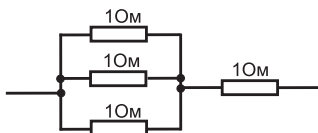
$$\frac{2 \times 2}{2 + 2} = \frac{4}{4} = 1 \text{ Ом}$$

(с) Үш резистор параллель қосылған ал оларға төртінші резистор тізбектей жалғанған (5.18-суретті қараңыз), үш параллель қосылған резисторлар үшін кедергі тең:

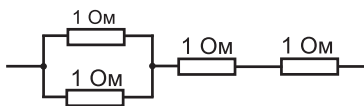
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{1} + \frac{1}{1} + \frac{1}{1} = \frac{3}{1}$$

Олай болса $R = \frac{1}{3} \text{ Ом}$, $\frac{1}{3} \text{ Ом}$ кедергілері 1 Ом резисторлар-

мен тізбектей қосылғанда жалпы кедергі $= 1 \frac{1}{3} \text{ Ом}$.



5.18-сурет



5.19-сурет

(с) Екі тізбектей қосылған резисторлар екі параллель қосылған резисторлармен жалғанған (5.19-суретті). Екі параллель қосылған резисторлар үшін олардың жалпы кедергісі

$$R = \frac{1 \times 1}{1 + 1} = \frac{1}{2} \text{ Ом}$$

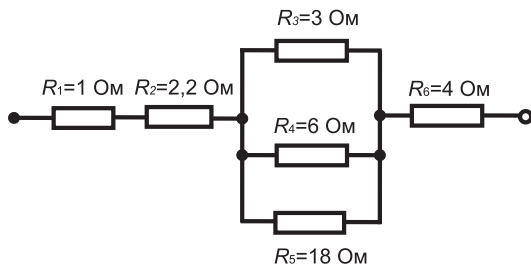
Енді кедергісі $\frac{1}{2}$ Ом резистормен кедергілері 1 Ом екі резисторлар тізбектей қосылғанда жалпы кедергілері тең $2 \frac{1}{2}$ Ом.

10-есеп. 5.20-суретте келтірілген сызба бойынша эквивалентті кедергіні табыңыз.

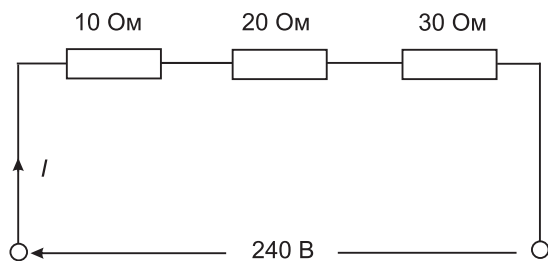
R_3 , R_4 , R_5 резисторлері параллель қосылған, олардың балама кедергісі R келесі өрнекпен табылады:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{3} + \frac{1}{6} + \frac{1}{18} = \frac{6 + 3 + 1}{18} = \frac{10}{18} = 1.8 \text{ Ом}$$

Олай болса кедергі: $R = 18 / 10 = 1.8 \text{ Ом}$. Схема енді тізбектей қосылған 4 резистордан (суретті қараңыз) тұрады деп алсақ, сонда эквивалентті кедергі = $1 + 2.2 + 1.8 + 4 = 9 \text{ Ом}$



5.20-сурет



5.21-сурет

11-есеп. Кедергілері 10 Ом, 20 Ом, 30 Ом резисторлар 240 В кернеу көзіне: (а) тізбектеп және (б) параллель қосылған. (с) Әрбір жағдай үшін қоректендіру көзінің ток күшін есептеңіз.

(а) 5.21-суретте тізбектей қосылған сызба келтірілген.

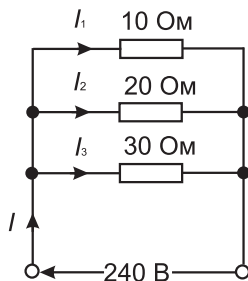
Эквивалентті кедергі: $R_A = 10\text{Ом} + 20\text{Ом} + 30\text{Ом} = 60\text{ Ом}$

Қоректендіру көзінің ток күші: $I = \frac{V}{R_T} = \frac{240}{60} = 4\text{ А}$

(б) 5.22-суретте тізбекке параллель қосылған кедергілері 10 Ом, 20 Ом, 30 Ом 3 резистор R_T кедергісіне эквивалентті:

$$R_T = \frac{6}{10} + \frac{3}{20} + \frac{2}{30} = \frac{6 + 3 + 2}{60} = \frac{11}{60}$$

$$R_T = \frac{11}{60}\text{ Ом}$$



5.22-сурет

Ток көзінің күші:

$$I = \frac{V}{R_T} = \frac{240}{60/11} = \frac{240 \times 11}{60} = 44 \text{ A}$$

(Тексеру)

$$I_1 = \frac{V}{R_1} = \frac{240}{10} = \frac{240}{10} = 24 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{V}{R_2} = \frac{240}{20} = \frac{240}{20} = 12 \text{ A}$$

$$I_3 = \frac{V}{R_3} = \frac{240}{30} = \frac{240}{30} = 8 \text{ A}$$

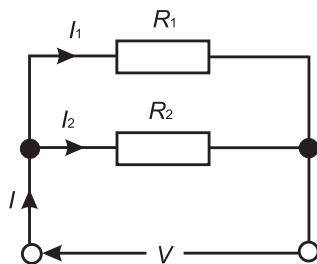
Параллель қосылған тізбек үшін I келесі формуламен табылады:
 $I = I_1 + I_2 + I_3 = 24 + 12 + 8 = 44 \text{ A}$ жоғарыда көрсеткен нәтижемен бірдей.

5.4 Токты бөлу

5.23-суретте көрсетілген тізбектің толық кедергісі R_T келесі формуласы анықталды:

$$R_T = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

$$\text{және } V = IR_T = I \left(\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \right)$$



5.23-сурет

$$I_1 \text{ ток күші: } I_1 = \frac{V}{R_1} = \frac{I}{R_1} \left(\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \right) = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) (I)$$

Тура осылай I_2 үшін:

$$I_2 = \frac{V}{R_2} = \frac{I}{R_2} \left(\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \right) = \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) (I)$$

Сонымен 5.23-суреттен келесі формулалары шығады:

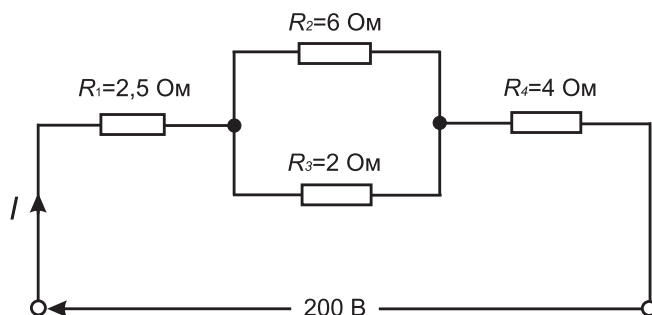
$$I_1 = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) (I)$$

$$I_2 = \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) (I)$$

12-есеп. 5.24-суретте аралас тізбек, яғни параллель және тізбектей қосылған сызба келтірілген. Табу керек: (а) қоректендіру көзінің ток күшін, (б) әрбір резистордан өтетін токтарды, (с) әрбір резистордың ұштарындағы потенциалдар айырымын.

(а) Эквивалентті R_x кедергісі R_1 мен R_2 кедергілерімен параллель қосылғанда мынаған тең:

$$R_x = \frac{6 \times 2}{6 + 2} = 1.5 \text{ Ом}$$



5.24-сурет

Эквивалентті R_T кедергісі R_1 , R_x және R_4 кедергілерімен тізбекті жалғанғанда: $R_T = 2.5 + 1.5 + 4 = 8 \text{ Ом}$

$$\text{Қоректендіру көзінің ток күші: } I = \frac{V}{R_T} = \frac{200}{8} = 25 \text{ А}$$

(b) R_1 мен R_4 арқылы өтетін ток күші 25 А. R_2 арқылы өтетін ток:

$$= \left(\frac{R_3}{R_2 + R_3} \right) I = \left(\frac{2}{6 + 2} \right) 25 = 6.25 \text{ А}$$

Сөйтіп, R_2 арқылы өтетін ток күші 6.25 А

R_3 арқылы өтетін ток күші:

$$= \left(\frac{R_2}{R_2 + R_3} \right) I = \left(\frac{6}{6 + 2} \right) 25 = 18.75 \text{ А}$$

Сөйтіп, R_2 арқылы өтетін ток күші 18.75 А

(Айта кету керек R_2 мен R_3 арқылы өтетін 18.75 А тоқты параллель жалғанғанда өтетін 25 А толық токқа дейін жеткенше 6.25 А тоқты қосу қажет).

(c) 5.24-суретке эквивалентті тізбек 5.25-суретте келтірілген.

R_1 резисторының ұшындағы потенциалдар айырымы, яғни

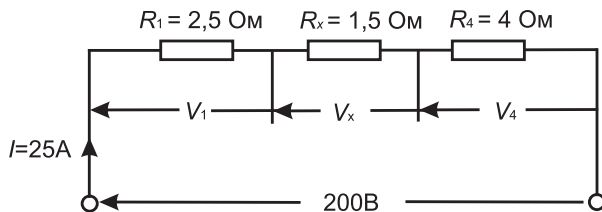
$$V_1 = IR_1 = (25)(2.5) = 62.5 \text{ В}$$

R_x резисторының ұшындағы потенциалдар айырымы, яғни

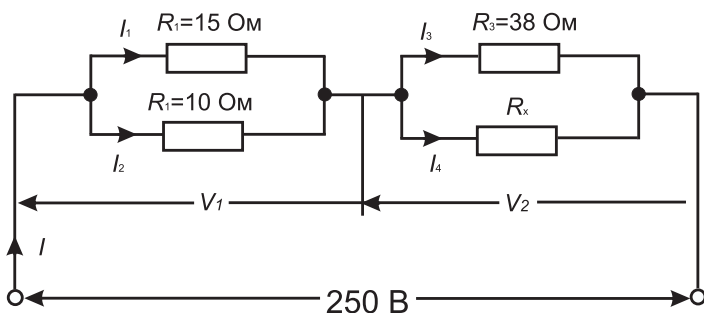
$$V_x = IR_x = (25)(1.5) = 37.5 \text{ В}$$

R_4 резисторының ұшындағы потенциалдар айырымы, яғни

$$V_4 = IR_4 = (25)(4) = 100 \text{ В}$$



5.25-сурет



5.26-сурет

Олай болса R_2 және R_3 резисторының ұшындағы потенциалдар айырымы

$$V = 37.5 \text{ В}$$

13-есеп. 5.26-суретте көрсетілген тізбек үшін: (а) R_x резисторының мәні мен, тізбек қуатының қосындысы 2.5 кВт болса, (б) әрбір 4 резистордан өтетін ток күшін есептеу керек.

а) Жұмсалатын қуат $P = VI \text{ Вт}$, ендеше:

$$2500 = (250)(I).$$

$$\text{Олай болса } I = \frac{2500}{250} = 10 \text{ А},$$

яғни Ом заңы бойынша:

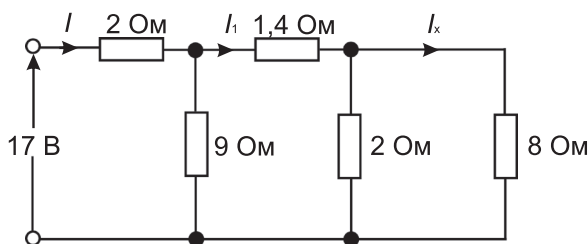
$$R_T = \frac{V}{I} = \frac{250}{10} = 25 \text{ Ом},$$

Мұндағы, R_T дегеніміз тізбектегі эквивалентті кедергі.

Параллель тізбектегі R_1 мен R_2 эквивалентті кедергі.

$$\frac{15 \times 10}{15 + 10} = \frac{150}{25} = 6 \text{ Ом}$$

Сонымен параллель тізбектегі R_3 пен R_x резисторларының эквивалентті кедергілері $25 \text{ Ом} - 6 \text{ Ом} = 19 \text{ Ом}$ болады.



5.27-сурет

R_x -ті анықтаудың үш тәсілі белгілі:

1-тәсіл.

Кернеудің өрнегі $V_1 = IR$, мұндағы, $R = 6 \text{ Ом}$, сондықтан $V_1 = (10)(6) = 60 \text{ В}$ олай болса,

$$V_2 = 250 \text{ В} - 60 \text{ В} = 190 \text{ В}$$

R_3 пен R_x резисторларындағы потенциал айырымы,

$$I_3 = \frac{V_2}{R_3} = \frac{190}{38} = 5 \text{ А}$$

Ендеше $I_4 = 5 \text{ А}$ Сондықтан: $I = 10 \text{ А}$, сонымен:

$$R_x = \frac{V_2}{I_3} = \frac{190}{5} = 38 \text{ Ом}$$

2-тәсіл

Параллель тізбектегі R_x пен R_3 эквивалентті резисторларының кедергісі 19 Ом болса,

$$19 = \frac{38R_x}{38 + R_x}$$

$$\begin{aligned} \text{Ендеше, } 19(38 + R_x) &= 38R_x \quad 722 + 19R_x = 38R_x \\ 722 + 38R_x - 19R_x &= 19R_x \end{aligned}$$

Сондықтан:

$$R_x = \frac{722}{19} = 38 \text{ Ом}$$

3-тәсіл

Параллель тізбектегі екі резистордың кедергілерінің мәні бірдей болса, онда эквивалентті кедергінің мәні $R_T = 19 \text{ Ом}$ кедергінің жартысына тең болады.

$$R_3 = 38 \text{ Ом} \quad R_x = 38 \text{ Ом}$$

$$(b) \text{ Ток: } I_1 = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) I = \left(\frac{10}{15 + 10} \right) (10) = \left(\frac{2}{5} \right) (10) = 4 \text{ А}$$

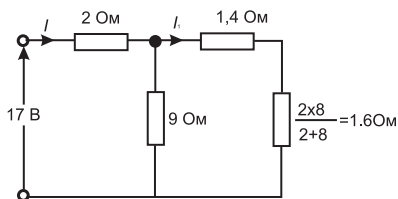
$$\text{Ток: } I_2 = \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} \right) I = \left(\frac{15}{15 + 10} \right) (10) = \left(\frac{3}{5} \right) (10) = 6 \text{ А}$$

(a) бабы мен 1 тәсілден келесі нәтиже шығады: $I_3 = I_4 = 5 \text{ А}$

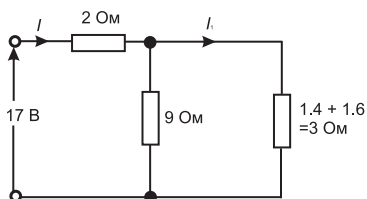
14-есеп. 5.27-суреттен I_x табыңыз.

5.27-суреттегі тізбекті оң жағынан бастап солға қарай біртіндеп кішірейтіп көрейік. 5.28-суретте (а)-дан (г)-ге дейін сызба біртіндеп кішірейтіліп, ықшамдалғаны келтірілген.

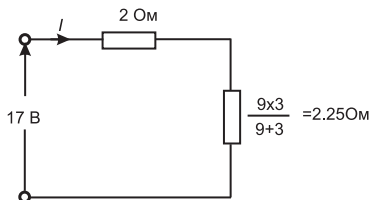
$$5.28 (z) \text{-суреттен } I = \frac{17}{4.25} = 4 \text{ А}$$



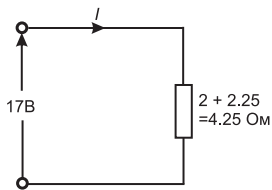
(a)



(б)

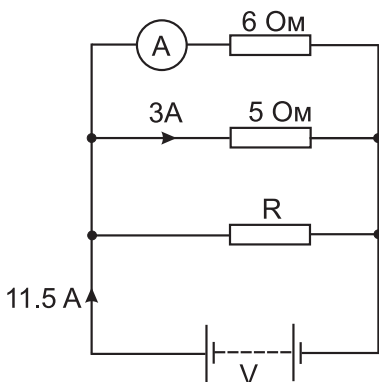


(в)



(г)

5.28-сурет



5.29-сурет

$$5.28 \text{ (б)-суреттен, } I_1 = \left(\frac{9}{9+3} \right) (I) = \left(\frac{9}{12} \right) = 3 \text{ A}$$

$$5.27\text{-суреттен } I_x = \left(\frac{2}{2+8} \right) (I_1) = \left(\frac{2}{10} \right) (3) = 0.6 \text{ A}$$

Тұрақты ток көзіне параллель және тізбектей жалғанған схемалар үшін зертханалық тәжірибе жұмыстары 24-тарауда келтірілген.

Келесі жаттығуларды орындаңыздар.

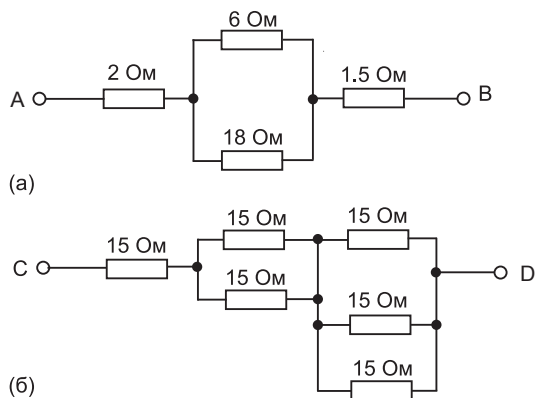
20-жаттығу. Параллель желіге арналған қосымша есептер

1. Кернеуі 9 В батареяға 4 Ом және 12 Ом кедергілерге параллель қосылған. Анықтау керек: (а) тізбектің эквивалентті кедергісін, (б) ток көзінің күшін, (с) әрбір резистордан өтетін ток күшін.

$$[(a) 3 \text{ Ом} \quad (b) 3 \text{ A} \quad (c) 2.25 \text{ A} \quad 0.75 \text{ A}]$$

2. 5.29-суретте көрсетілген сызба бойынша анықтаңыздар: (а) амперметрдегі көрсеткішті, (б) резистордың R мәнін.

$$[2.5 \text{ A}, 2.5 \text{ Ом}]$$



5.30-сурет

3. Эквивалентті кедергіні табыңыз, егер келесі кедергілер (1) 3 Ом және 2 Ом (2) 20 кОм және 40 кОм (3) 4 Ом, 8 Ом және 16 Ом (4) 800 Ом, 4 кОм және 1500 Ом (а) тізбектей, (б) параллель жалғанса.

[(a) (1) 5 Ом (2) 60 к Ом
(3) 28 Ом (4) 6.3 Ом

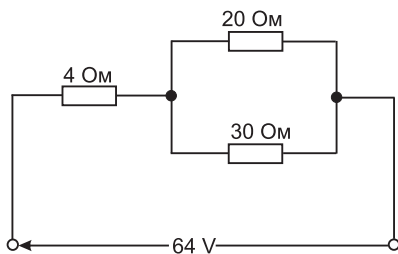
(b) (1) 1.2 Ом (2) 13.33к Ом
(3) 2.29 Ом (4) 461.54 Ом]

4. 5.30-сурет бойынша А және В клеммаларының арасындағы жалпы кедергіні (а) сызба бойынша табыңыз.

[8 Ом]

5. С және D клеммалар арасындағы эквивалентті кедергіні 5.30-суреттегі сызба бойынша табыңыз.

[27.5 Ом]



5.31-сурет

6. 20 Ом , және 30 Ом резисторлар параллель жалғанған. Жалпы кедергі 10 Ом болу үшін тізбектей жалғау үшін қанша кедергі қосымша жалғану керек. Егер толық сызбаның жұмсайтын қуаты 0.36 кВт болса, осы тізбек арқылы өтетін жалпы ток қандай?

[2.5 Ом , 6 А]

7. (a) 5.31-суретте көрсетілген тізбек бойынша резистордың кедергісі 30 Ом -нан өтетін ток күшін есептеңіз.

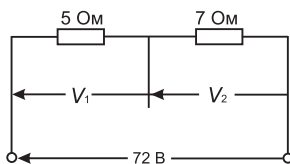
(b) Егер ток көзінің күшін 8 А өзгертсе, ал оның кернеуі тұрақты болып қалса, 20 Ом және 30 Ом параллель қосылған резисторларға кедергінің қандай мәнін қосу керек?

[(a) 30 В (b) 42 В]

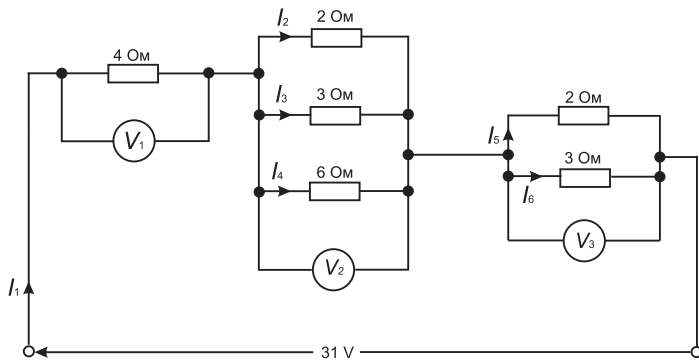
8. Ток күшін ескермей 5.32-суретте көрсетілген тізбек үшін табу керек:

(a) V_1 , (b) V_2

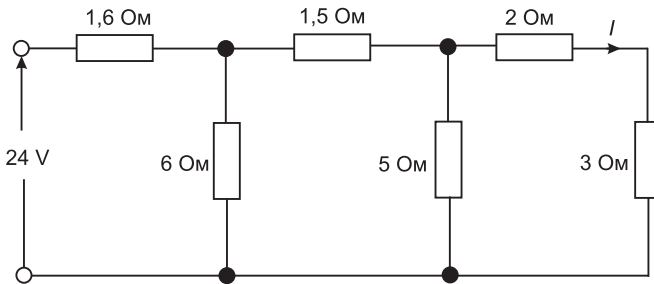
[(a) 30 В (b) 42 В]



5.32-сурет



5.33-сурет



5.34-сурет

9. 5.33-суретте көрсетілген тізбек үшін кернеу мен тоқты есептеңіздер.

$$[I_1 = 5 \text{ A}, I_2 = 2.5 \text{ A}, I_3 = 1\frac{2}{3} \text{ A}, I_4 = \frac{5}{6} \text{ A}, I_5 = 3 \text{ A},$$

$$I_6 = 2 \text{ A}, V_1 = 20 \text{ B}, V_2 = 5 \text{ B}, V_3 = 6 \text{ B}]$$

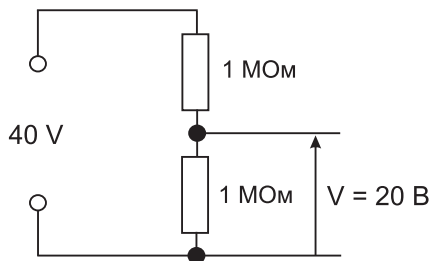
5.34-суреттегі тізбек үшін тоқты есептеңіз.

[1.8A]

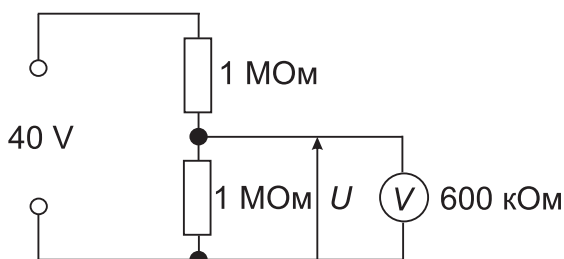
11. 2.4 Ом резистор 3.2 Ом резистормен тізбектей қосылған. 2.4 Ом резисторға қандай қосымша кедергі қосылуы тиісті, егер тізбектің жалпы кедергісі 5 Ом болса.

[7.2 Ом]

12. 8 Ом резистор мен 12 Ом резистор бір-бірімен параллель қосылған. Осы резисторлар комбинациясы 4 Ом резистормен



5.35-сурет



5.36-сурет

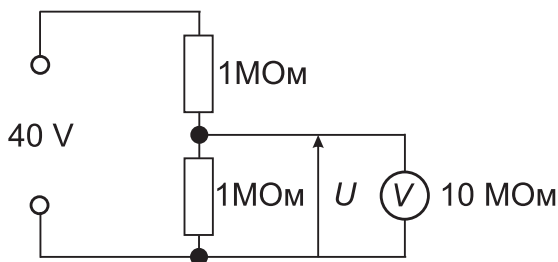
тізбектей қосылған және тізбекке берілген потенциалдар айырымы 10 В . Енді 8 Ом резистор 4 Ом резистормен жалғасқан. 8 Ом резистор бойынша өтетін токтың шамасы өзгермейтіндей болу үшін осы резисторға қандай потенциалдар айырымы беріледі.

[30 В]

5.5 Жүктеме әффектісі

Жүктеме әффектісі деген түсінік вольтметр немесе осциллограф сияқты өлшеуіш құралдар тізбекке қосылғанда осы аспаптар әсерінен тізбектегі ток шамасының өзгеретінін көрсетеді. Жүктеме әффектісін дұрыс түсіну үшін мысалдар келтірейік.

5.35-суреттегі қарапайым сызбада әрбір резистордың кернеуін есептеу үшін кернеуді бөлу немесе техникалық бақылау орындалады. Осы жағдайда кернеу 20 В болуы қажет. Вольтметрдің ішкі кедергісін 600 кОм деп алсақ, ол 1 МОм резистормен параллель қосылады (*5.36-сурет*).



5.37-сурет

Параллель секцияның кедергісі

$$= \frac{1 \times 10^6 \times 600 \times 10^3}{(1 \times 10^6 + 600 \times 10^3)} = 375 \text{ кОм}$$

$$\text{Енді эквивалентті кернеу: } = \frac{375 \times 10^3}{(1 \times 10^6 + 375 \times 10^3)} \times 40 = 10.91 \text{ В}$$

Тізбекке қосылғанда вольтметр өзінен ток өткізеді. Сөйтіп 1 МОм резистордағы кернеу 20 В-тан 10.91 В-ке дейін кішірейеді.

Енді мультиметрді пайдаланайық, 5.37-суретте көрсеткендей оның ішкі кедергісі айталық 10 Ом болсын, бұл жолы жүктемелік әффекті минималды болғандықтан нәтиже әлдеқайда жақсырақ болып шығады.

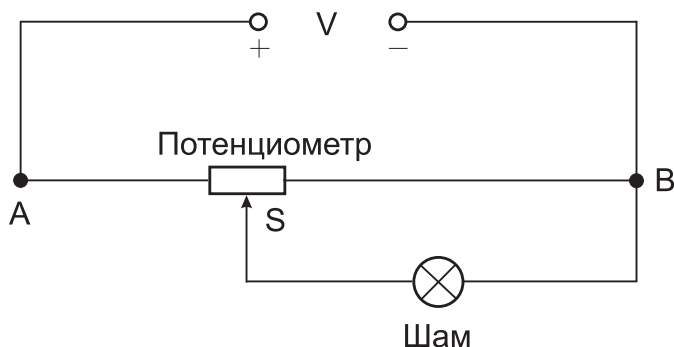
$$\text{Параллель секциядағы кедергі } = \frac{(1 \times 10^6 + 10 \times 10^6)}{(1 \times 10^6 + 10 \times 10^6)} = 0.91 \text{ В}$$

$$\text{Енді } V \text{ кернеу: } = \frac{0.91 \times 10^6}{0.91 \times 10^6 + 10^6} \times 40 = 19.06 \text{ В}$$

Өлшеу кезінде әр уақытта жүктемелік әсерді түсіну өте маңызды. Кернеудің қате дұрыс емес мәні құрал немесе аспаптың дефектісінен немесе бұзылғанынан емес ол жүктеме әсеріне байланысты болуы мүмкін. **Идеалды вольтметрдің кедергісі өте үлкен болуы қажет.**

5.6 Потенциометр мен реостаттар

Тізбекте резистордың шамасын өзгерту қажеттілігі жиі кездеседі. Оған мысал ретінде радиоқабылдағыш пен телевизор даусының қаттылығын реттеу жатады. Электр тізбектерінде кернеу мен тоқты потенциометр мен реостаттар арқылы өзгертуге болады.

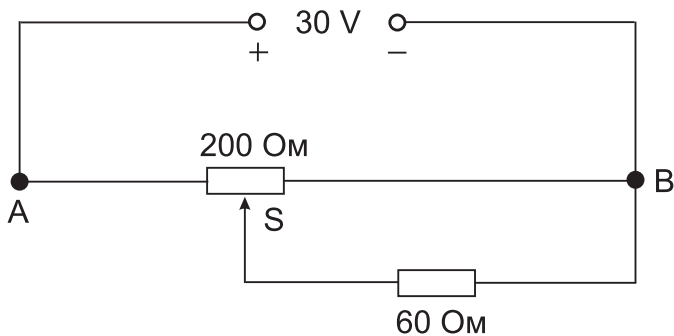


5.38-сурет

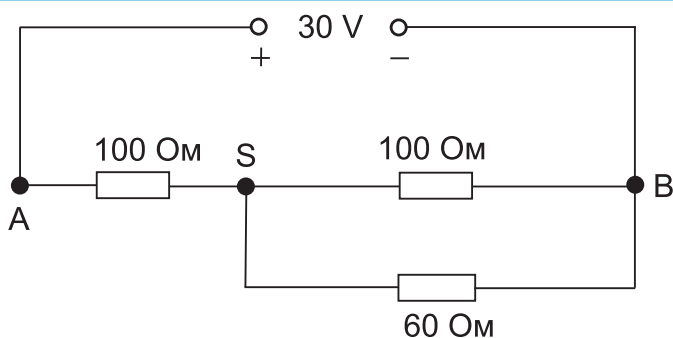
Потенциометр

Айнымалы резистордың үш клеммасы пайдаланылса, онда ол потенциометр деген атпен белгілі. Потенциометр электрлік кернеуді реттеуші және кернеумен функционалды байланысқан шамаларды өлшеуге арналған салыстыру аспабы. Белгіленген потенциалдар айырымынан әртүрлі кернеуді алу үшін пайдалы құрал аспап ретінде қарастырайық. 5.38-суретте кернеудің қоректендіру көзін жалғау мен жарық шамын жағуға арналған потенциометр сызбасын қарастырайық.

5.38-суреттегі сызба бойынша потенциометрдің ұштарындағы А және В нүктелері арқылы кіріс кернеу беріледі, ал шығыс кернеу V сырғымалы контакт S -пен В бекітілген ұшының арасындағы кернеумен анықталады. S контакт резистордың сол



5.39-сурет



5.40-сурет

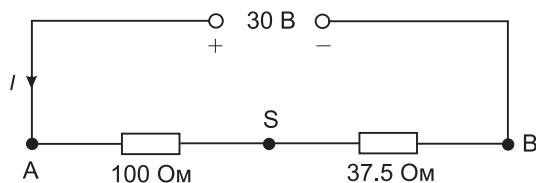
жағындағы ең алыс ұшында орналасса, онда шамға толық кернеу түседі, ал жылжымалы контакты В нүктесіне қарай жақындаған сайын шамның жарықтылығы кемуі бастайды.

Егер неғұрлым потенциометрдегі S сырғымалы контактыны оң жағының ең соңына дейін жылжытса, шам қысқаша тұйықталып, ток шам арқылы өтпей сөніп қалады.

15-есеп 5.39-сурет бойынша есептеулер жүргізу керек. Егер S сырғымалы контакты 200 Омды потенциометрдің тура ортасында орналасса, онда кедергісі 60 Ом жүктеменің кернеуін есептеңіз.

Сырғымалы контакты потенциометрдің тура ортасында орналасқанда оған эквивалентті тізбек 5.40-суретте келтірілген.

Резисторлар параллель жалғанғандағы жалпы кедергінің шамасы:



5.41-сурет

$$R_p = \frac{100 \times 60}{100 + 60} = \frac{100 \times 60}{160} = 37.5 \text{ Ом}$$

R_p анықтау үшін $\frac{1}{R_p}$ пайдалануға болады:

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{100} + \frac{1}{60}$$

Енді эквивалентті сызба *5.41-суретте* келтірілген. Осы суретте кедергісі 37.5 Ом резистордегі кернеудің түсуі *5.40-суреттегі* параллель резисторлардағы кернеудің түсуімен бірдей екені көрініп тұр.

V_{SB} кернеудің түсуін анықтаудың екі тәсілі бар:

1-тәсіл

Тізбектің жалпы кедергісі:

$$R_T = 100 + 37.5 = 137.5 \text{ Ом}$$

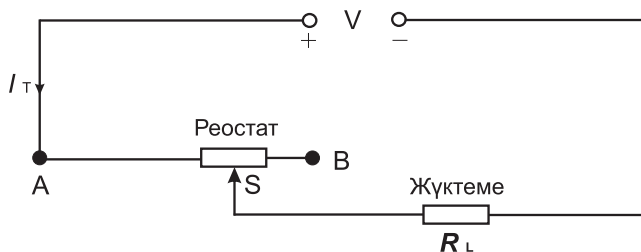
олай болса, ток көзінің күші $I = \frac{30}{137.5} = 0.2182 \text{ А}$

Ендеше кернеудің түсуі: $V_{SB} = I \times 37.5 = 0.2182 \times 37.5 = 8.18 \text{ В}$

2-тәсіл

Кернеуді бөлу принципі бойынша:

$$V_{SB} = \left(\frac{37.5}{100 + 37.5} \right) (30) = 8.18 \text{ В}$$



5.42-сурет

Олай болса 5.39-сурет бойынша 60 Ом жүктеменің кернеуі 8.18 В болғаны.

Реостаттар

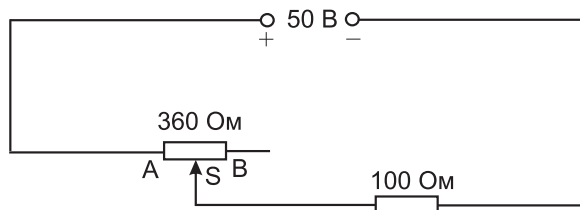
Тек екі қышқышты пайдалана алатын біреуі айнымалы, екіншісі тұрақты жылжымалы резистор реостат деп аталады. 5.42-суретте реостаттың сызбасы келтірілген. Потенциометрдің конструкциясы сияқты реостат та тоқты бақылау жұмысымен айналысады. Реостат балласты резистор релін атқарады. Ол жүктеменің кернеуін кеміте отырып, ток күшін реттеуге әлдеқайда ыңғайлы деп саналады. Осы себептермен реостаттың кедергісі жүктемемен салыстырғанда жоғары болады. Әйтпесе оның ешқандай маңызы немесе әсері болмауы мүмкін. Реостатты қолданатын жерлерге пойыз жүйесімен автокөліктегі жарықтылықты басқару жүйелері жатады.

Сызбада реостатты кедергі $R_{ж}$ жүктемемен тізбекті қосылған, талап етілетін токпен қамтамасыз ету үшін реостаттағы жылжымалы тетіктің көмегімен кедергіні (A мен S ортасында) өзгертеміз.

Сырғымалы тетікті реостаттың ең шеткі сол жағына қарай жылжыту арқылы жүктеме үшін ең максимал токты, ал ең шеткі оң жағында минималды токты алуға болады.

Осы жалпы кедергіні тапқаннан кейін тізбектен өтетін токты есептеуге болады (яғни ($R_T = R_{AS} + R_{ж}$)), сонда Ом заңынан шығады:

$$I_T = \frac{V}{R_{AS} + R_{ж}}$$



5.43-сурет

Тізбектегі реостатпен байланысты есептер тізбектегі потенциометрмен салыстырғанда жеңілдеу.

16-есеп. 5.43-суретте келтірілген сызба үшін 100 Ом –ды жүктеменің ток күшін есептеңіз, егер реостаттың жылжымалы тетігі А мен В арасындағы қашықтықтың $2/3$ бөлігінде, яғни S нүктесінде орналасса:

$$\text{Кедергі } R_{AS} = \frac{2}{3} \times 360 = 240 \text{ Ом}$$

Тізбектің жалпы кедергісі:

$$R_T = R_{AS} + R_L = 240 + 100 = 340 \text{ Ом}$$

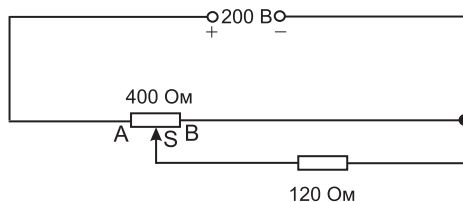
$$\text{Жүктемедегі ток күші: } I = \frac{V}{R_T} = \frac{50}{340} = 0.147 \text{ А}$$

немесе 147 мА

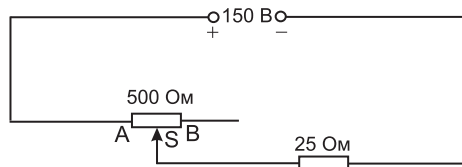
Қорытынды

Потенциометр (а) үш клеммадан тұрады, (б) кернеуді өзгерту үшін қолданылады.

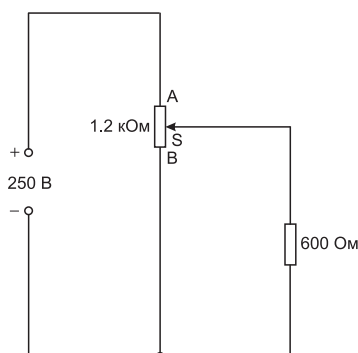
Реостат (а) екі клеммадан тұрады, (б) ток күшін өзгертуге арналған аспап.



5.44-сурет



5.45-сурет



5.46-сурет

Реостаттың дәлдігі жоғары болуы үшін оның кедергісі жүктеменің кедергісінен үлкен болса ғана, ол токты өлшеп, бақылай алады.

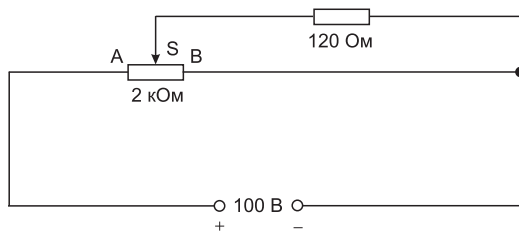
Келесі жаттығуларды орындаңыздар.

21-жаттығу. Потенциометр мен реостатқа арналған қосымша есептер

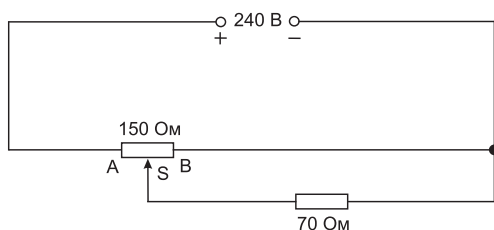
1. 5.44-суретте көрсетілгендей AS қашықтығы AB -нің $3/5$ бөлігін құрайды. 120 Ом -ды жүктемеден өтетін кернеуді анықтаңыздар. Бұл потенциометр ме әлде реостат па?

[44.44 В, потенциометр]

2. 5.45-суретте көрсетілгендей сызба бойынша 25 Ом -ды жүктеменің ток күшін жүктемедегі кернеу түсуін-есептеңіздер: (а) AS қашықтығы AB -ның ортасында, (б) B нүктесі мен S сәйкес келгенде. Бұл потенциометр ме әлде реостат па?



5.47-сурет



5.48-сурет

[(a) 0.545 A, 13.64 B; (b) 0.286 A 7.14 B, реостат]

3. 5.46-суретте келтірген сызбадан егер S нүктесі AB -ны 1:3 қатынасына бөлсе 600 Ом -ды жүктеменің кернеуін есептеңіздер.

[136.4 B]

4. 5.47-суретте көрсетілгендей реостаттың тура ортасында S сырғанама контакт орналасқан. Сондағы 120 Ом -ды жүктемедегі кернеудің түсуін есептеңіз.

[9.68 B]

5. 5.48-суретте потенциометр үшін сызба келтірілген. AS қашықтығы AB -ның 60% құрайды. 70 Ом -ды жүктеме үшін кернеудің түсуін есептеңіз.

[63.40 B]

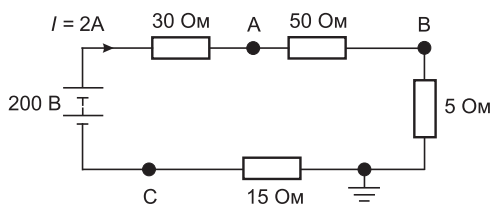
5.7 Салыстырмалы және абсолютті кернеулер

Электрлік тізбекте кез келген нүктедегі кернеу тізбектегі басқа бір нүктемен салыстырмалы түрде анықталады. 5.49-суретте көрсетілген сызба үшін осындай амалды қарастырайық. Жалпы кедергі:

$$R_T = 30 + 50 + 5 + 15 = 100 \text{ Ом}$$

Тізбектегі ток: $I = \frac{200}{100} = 2 \text{ A}$

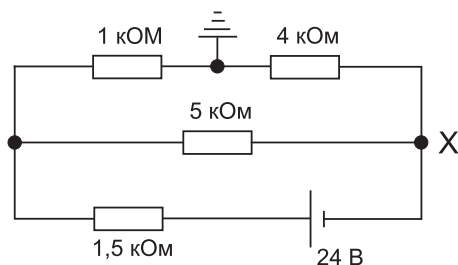
А нүктесіндегі кернеу В нүктесімен салыстырғандағы кернеудің жазылу түрі $V_{AB} = 100 \text{ B}$ болады. Бұл «салыстырмалы кернеу»



5.49-сурет

деген мағынаны білдіреді. 5.49-суреттегі А нүктесіндегі кернеу В-мен салыстырғанда 2×50 , яғни $2 \times 50 = 100 \text{ В}$ және оның жазылу түрі: $V_{AB} = +100 \text{ В}$.

Сонымен қатар қоректендіру көзінің оң немесе теріс клеммаларының қайсысына осы А нүктесінің жақын екендігін көрсетуіміз қажет. Біздің жағдайымыз үшін А нүктесі қоректендіру көзінің оң клеммасына жақындау, сондықтан жазуға болады: $V_{AB} = 100 \text{ В}$. Ал егер берілген нүктенің қоректендіру көзінің қай полюсына жақын жатқаны белгісіз болса, онда кернеуді оң деп қалдырады. Егер А-мен салыстырғанда В нүктесі үшін кернеу анықталса, онда кернеу келесі түрде жазылады: $V_{AB} = -100 \text{ В}$. Егер берілген нүктенің кернеуі жерлендіру нүктесі арқылы салыстырылатын болса, онда мұндай кернеуді «абсолютті потенциал» деп атайды. Олай болса, А нүктесі үшін абсолютті кернеуді анықтағанда: $R = 50 \text{ Ом} + 5 \text{ Ом} = 55 \text{ Ом}$ және $V_A = +55 \text{ Ом} \times 2 \text{ А} = 110 \text{ В}$, А нүктесі қоректендіру көзінің оң клеммасымен жалғанған. Ал егер нүкте теріс клеммамен жалғанса, онда абсолюттік кернеу С нүктесінің жерлендіру нүктесімен салыстырғанда теріс: $V_C = -30 \text{ В}$ болғаны.



5.50-сурет

17-есеп. 5.50-суреттегі схемасы бойынша есептеңіздер:

- (а) 4 Ом -дық резистордағы кернеудің түсуін.
 (б) 1.5 кОм мен тізбектен қосылғанда, яғни:

$$R_T = \frac{5 \times 5}{5 + 5} + 1.5 = 4 \text{ кОм}$$

$$\text{Тізбектің жалпы тоғы } I_T = \frac{V}{R_T} = \frac{24}{4 \times 10^3} = 6 \text{ мОм}$$

Ток бөлінгенде жоғары тармақтан өтетін ток

$$= \left(\frac{5}{5 + 1 + 4} \right) \times 6 = 3 \text{ мОм}$$

Сонда кедергісі 4 кОм резистордағы кернеудің түсуі
 $= 3 \times 10^{-3} \times 4 \times 10^3 = 12 \text{ В}$

$$(б) 5 \text{ кОмды резистордан өтетін ток} = \left(\frac{1 + 4}{5 + 1 + 4} \right) \times 6 = 3 \text{ мА}$$

(с) 1.5 кОм резистордағы қуат

$$= I_T^2 R = (6 \times 10^{-3})^2 (1.5 \times 10^3)^3 = 54 \text{ мВт}$$

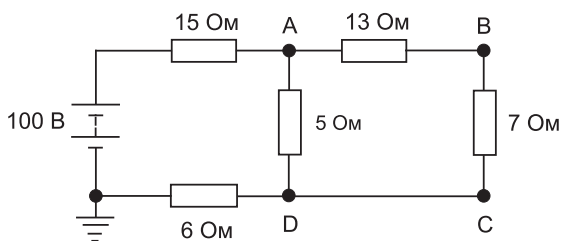
(д) «Жерлендіру» нүктесі үшін кернеу нөлге тең. 4.0 кОм резистор үшін оның кернеуінің түсуі 12 В (б) баптан алынған. Х нүктесіндегі «абсолютті кернеу» дегеніміз Х нүктесі мен «Жерлендіру» нүктесі арасындағы кернеу, яғни Х нүктесіндегі абсолютті кернеу – 12 В.

(с) мен (д) сұрақтарының мағынасы бірдей.

Келесі жаттығуды орындаңыздар.

22-жаттығу. Абсолют және салыстырмалы кернеулерге арналған қосымша есептер

1. 5.51-суреттегі тізбек үшін есептеңіздер: (а) А, В, С нүктелері үшін кернеудің абсолют шамасын, (б) А нүктесі үшін В мен



5.51-сурет

С-ға салыстырмалы, (с) В мен А нүктелеріне салыстырғанда D нүктесінің кернеуін.

$$[(a) + 40 \text{ В}, +29.6 \text{ В}, +24 \text{ В} (b) + 10.4 \text{ В}, 16 \text{ В} (c) - 5.6 \text{ В}, -16 \text{ В}]$$

2. 5.52-суреттегі тізбек үшін есептеңіздер: (а) 7 Ом –ды резистор үшін кернеудің түсуін, (b) 30 Омды резистордан өтетін токты, (с) 8 Ом –ды резистордың қуатын, (d) X нүктесінде кернеуді жерлендіруді ескере отырып жазды, (e) X нүктесіндегі абсолют кернеуді.

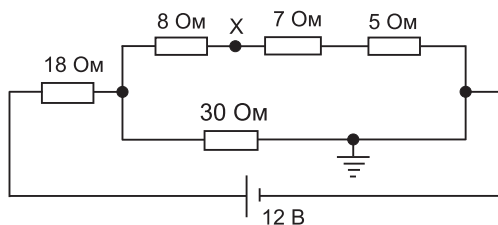
$$[(a) 1.68 \text{ В} (b) 0.16 \text{ А} (c) 460.8 \text{ мВт} (d) + 2.88 \text{ В} (e) + 2.88 \text{ В}]$$

3. 5.53-суретте көпірлі сызбадан есептеңіздер: (а) А мен В нүктелері үшін абсолют кернеуді, (b) В мен салыстырғанда А-ғы кернеуді.

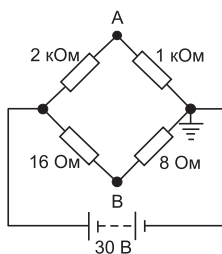
$$[(a) 10 \text{ В}, 10 \text{ В} (b) 0 \text{ В}]$$

5.8 Жердің потенциалы мен қысқа тұйықталу

Жер мен теңіздің потенциалдары нөл вольт. Жермен (теңізбен) байланысқан денелер, яғни сымдар жүйесінің сызбасы мен электр компоненттерінің тізбектері жерге тұйықталуы керек немесе



5.52-сурет



5.53-сурет

жердің потенциалында болуы керек деп айтылады. Олай болса, денелермен жердің арасында потенциалдар айырымы болмайды. Кеме суға батқанда енді ол жердің потенциалында болғандықтан, оның кернеуінің деңгейі нөл. Жерді тұйықтау немесе қысқаша тұйықтау өткізгіш пен жердің арасындағы кедергінің өте төмендеуіне байланысты. Электрлік сызбаларда изоляцияның кедергілері төмендегенде қысқаша тұйықталу келесі себептермен туады:

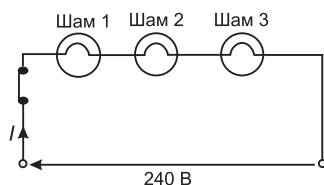
1. Дымқылдықтан;
2. Изоляциялық материал біртіндеп уақыт пен жылудың әсерінен қатайып, морт сынуынан;
3. Кездейсоқ зақымданудан.

5.9 Шамдарды тізбекті және параллель қосу

Тізбекті қосу

5.54-суретте 3 шам көрсетілген, әрқайсысы кернеуі 240 В тізбекке қосылған, ток көзінің кернеуі 240 В .

1. Әрбір шамның кернеуі $(240 / 3)\text{ В}$, яғни 80 В болғаны, олай болса шам жартылай қызып, көмескі жанғаны.
2. Егер осындай 3 шамды алып, оларды әрқайсысының кернеуі $(240 / 4)\text{ В}$ болатындай етіп тізбектей қосса, әрбір шам бұрынғысынан да көмескі жанады.
3. Егер шам сызбадан алынса немесе шам бұзылып қалса, тізбек үзіліп бұзылса немесе ажыратқышты өшіріп тастаса, онда сызба бұзылып, ток жүрмей, қалған шамдар жанбай қалады.



5.54-сурет

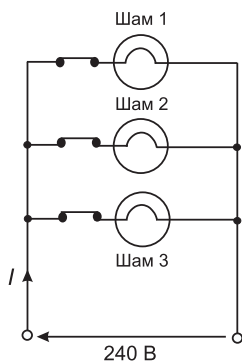
4. Кабельдің ұзындығы параллель жалғанумен салыстырғанда тізбектей жалғанатын сызбаларда қысқарақ, сондықтан кабель шығыны аздау жұмсалады. Тізбектей қосылған шамдар әдетте тек жаңа жыл шамдарын өшекейлеумен ғана шектеледі.

Параллель тізбектер

5.55-суретте 240 В кернеу көзіне әрқайсысының кернеулігі 240 В үш бірдей шам параллель қосылған.

1. Әрбір шамның кернеуі 240 В, сондықтан олар өздерінің номиналды кернеуімен салыстырғанда жарығырақ жанады.
2. Егер қандай да болмасын үш шамның біреуі бұзылып қалса немесе тізбек үзілсе, басқа шамдар өзгеріссіз қалады
3. Тізбекке қосымша параллель жалғанған басқа шамдар шамның жарықтылығына әсер етпейді.
4. Параллель жалғанған сызбалар үшін тізбектеп жалғануға қарағанда, кабель көбірек жұмсалады.

Электр құрылғыларда шамдарды параллель қосу кеңірек қолданылады.



5.55-сурет

18-есеп. Егер бірдей үш шам өзара параллель қосылса, оның жалпы кедергісі 150 Ом болады. Бір шамның кедергісін табыңыз.

Бір шамның кедергісін R деп белгілейік, сонда:

$$\frac{1}{150} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \frac{1}{R} = \frac{3}{R}$$

Осыдан: $R = 3 \times 150 = 450 \text{ Ом}$

19-есеп. Үш бірдей А, В және С шамдары өзара тізбектей қосылған. Қоректендіру кернеу көзі 150 В . Анықтаңыздар: (а) әрбір шамның кернеуін, (б) С шамның бұзылған әсерін.

(а) Әрбір шам өзара бірдей және олар тізбектей қосылған, олай болса, үш шам үшін $(150 / 3) \text{ В}$, яғни әрбір шамның кернеуі 50 В болғаны.

(б) Егер С шамы бұзылып қалса немесе тізбектен үзілсе, онда А мен В шамдары арқылы ток өте алмағандықтан олар жанбайды.

Келесі жаттығуларды орындаңыздар.

23-жаттығу. Параллель және тізбектей қосылған шамдарға қосымша есептер

1. Төрт бірдей шам параллель қосылған, жалпы кедергісі 100 Ом , әрбір шамның кедергісін есептеңіз.

[400 Ом]

2. 210 В кернеу көзіне 3 бірдей қыздыру шамдары (а) тізбектей қосылған, (б) параллель қосылған, әрбір тізбек үшін шамның потенциалдар айырымын табыңыз.

[(а) 70 В (б) 210 В]

24-жаттығу. Тізбектей және параллель желілер үшін қысқаша сұрақтар

1. Тізбекті сызбаның негізгі үш сипаттамасын атаңыздар.

2. R_1 , R_2 мен R_3 тізбектей қосылған, резисторлар үшін R эквивалентті кедергіні $R = R_1 + R_2 + R_3$ өрнегімен сипатталатынын көрсетіңіздер.
3. Параллель қосылған желінің негізгі 3 сипаттамасын атаңыз.
4. R_1 , R_2 мен R_3 резисторлары өзара параллель қосылған, сонда осы тізбек үшін оның эквивалентті кедергісін

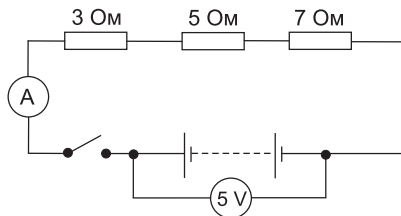
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$
 өрнегімен сипатталатынын көрсетіңіз.

5. Тізбектегі потенциалдардың бөлінуін түсіндіріңіз.
6. Потенциометрдің жұмыс істеу принципі сызба арқылы түсіндіріңіз.
7. Потенциометрді қолданатын жерлерді атаңыз.
8. Реостаттың жұмыс істеу принципі сызба арқылы түсіндіріңіз.
9. Реостатты қолданатын жерлерді атаңыз.
10. Салыстырмалы және абсолютті кернеудің айырмашылығын түсіндіріңіз.
11. Шамдардың артықшылықтарын салыстырыңыздар:
 - а) тізбектей қосылған сызба
 - ә) параллель қосылған сызба
12. Электр тізбегіндегі қысқа тұйықталудың 3 себебін келтіріңіз.

25-жаттығу Тізбекті және параллель сызбалар тесті (жауаптары кітаптың соңында)

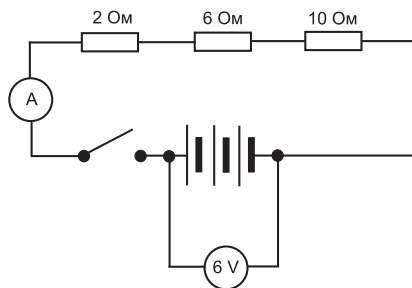
1. Егер 4 Ом ды екі резистор тізбектей қосылса, тұтас тізбектің кедергісі қандай?
 - (a) 8 Ом (b) 4 Ом (c) 2 Ом (d) 1 Ом
2. Егер 4 Ом -ды екі резистор параллель қосылса тұтас тізбектің кедергісі қандай?
 - (a) 8 Ом (b) 4 Ом (c) 2 Ом (d) 1 Ом
3. *5.56-суретте* көрсетілген сызбада ажыратқыш ашық, амперметрдегі көрсеткіштің сан мәні қандай?
 - (a) 1 А (b) 75 А (c) $1/3 \text{ А}$ (d) 3 А

4. Электрлік энергия көзіне қосымша параллель жүктемелер жалғанғанда қандай параметр ұлғаяды:



5.56-сурет

- (a) жүктеменің кедергісі;
 (b) қоректендіру көзінің кернеуі;
 (c) қоректендіру көзінен алынған ток күші;
 (d) жүктеменің потенциалдар айырымы.
5. Мына мәндер эквивалентті кедергінің шамасы бола алады: егер $1 / 3 \text{ Ом}$ -ды резистор $1/4 \text{ Ом}$ ды резистормен параллель қосылса.
- (a) $1 / 7 \text{ Ом}$ (b) 7 Ом (c) $1 / 12 \text{ Ом}$ (d) $3 / 4 \text{ Ом}$
6. 5.57-суретте көрсетілген ажыратқышты қосқанда амперметр қандай көрсеткішті көрсетеді?
- (a) 108 A (b) $1 / 3 \text{ A}$ (c) 3 A (d) $43 / 5 \text{ A}$
7. 5.57-суретте көрсетілгендей резистор 6 Ом ды үш резистор-лермен параллель қосылған. Ажыратқыш қосылғанда тізбек түйықталады, сонда амперметр қандай көрсеткішті көрсетеді?
- (a) $3 / 4 \text{ A}$ (b) 4 A (c) $1 / 4 \text{ A}$ (d) $4 / 3 \text{ A}$



5.57-сурет

8. Кедергілері 10 Ом резистор 15 Ом резистормен параллель және 12 Омды резистормен тізбектей жалғанған. Сонда тізбектегі эквивалентті кедергі қандай?

(a) 37 Ом (b) 18 Ом (c) 27 Ом (d) 4 Ом

9. 3 Омды үш резистор параллель қосылған, сондағы жалпы кедергі қандай?

(a) 3 Ом (b) 9 Ом (c) 1 Ом (d) 0.333 Ом

10. R_1 мен R_2 екі резисторлардың жалпы кедергісі және олар параллель қосылғанда:

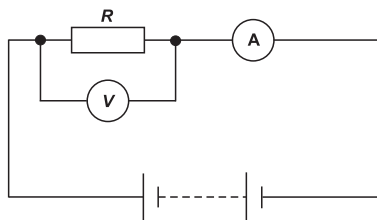
(a) $R_1 + R_2$ (b) $\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$ (c) $\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$ (d) $\frac{R_1 R_2}{R_1 R_2}$

11. *5.58-суретте* сызба келтірілген. Вольтметрдегі көрсеткіш 5 В , ал амперметрдің көрсеткіші 25 мА көрсетіп тұр. Сонда R резистордың кедергісі қандай?

a) 0.005 Ом b) 5 Ом c) 125 Ом d) 200 Ом

12. Айнымалы резистор кедергісінің өзгеру диапазоны 0 ден 5 кОм . Резистордың жылжығышы оның тура ортасында орнатылған, кедергісі 750 Ом жүктемеден өтетін токтың шамасы қандай, егер қоректендіру көзінің кернеуі 100 Ом болса:

a) 25 мА b) 40 мА c) 17.39 мА d) 20 мА



5.58-сурет

6–тарау

Конденсаторлар мен СЫЙЫМДЫЛЫҚ

Тараудың соңында меңгеретін сұрақтар тізімі:

- Конденсаторды қолданатын жерлер
- Электростатикалық өрісті сипаттау
- Кулон заңы
- Электр өрісінің кернеулігі E мен өлшем бірлігі
- Сыйымдылық және оның өлшем бірлігі
- Конденсатор және оның схемадағы белгісі
- $C = Q / V$ және $Q = It$ өрнектерін есептей алу
- Электр индукциясы D және оның өлшем бірлігін келтіру
- ε_0 және ε_r мен ε арасындағы айырмашылықты ескере отырып, диэлектрлік өтімділікті анықтау. Олардың өлшем бірліктері.
- $D = \frac{Q}{S}$, $E = \frac{V}{d}$ және $\frac{D}{E} = \varepsilon_0 \varepsilon_r$ өрнектерін пайдалана отырып, қарапайым есептеулер жасау
- Жазық конденсатор үшін өрнектің маңызын: $C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r S(n-1)}{d}$
- Конденсаторды параллель және тізбектей жалғауға арналған есептерді шығара алу

- Диэлектрлік беріктілік және өлшем бірлігі
- Конденсаторда жиналған энергияның формуласын

келтіру:
$$W = \frac{1}{2} CV^2$$

- Конденсаторды практикада қолданатын жерлері
- Конденсаторды разрядтау кезіндегі қажетті қауіпсіздікті сақтау жолдары

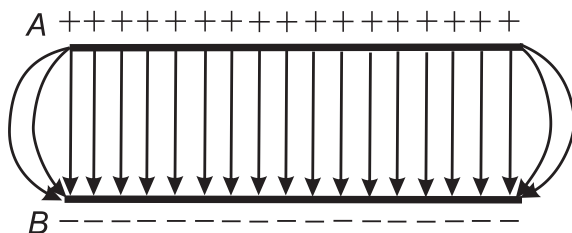
6.1 Конденсатор (кіріспе)

Электр энергиясын сақтап, электр зарядын жинақтайтын электр құрылғыны конденсатор деп атайды. Резистор сияқты электрлік тізбектерде конденсатор да жиі қолданатын аспаптарға жатады. Конденсаторлар электртехникада және электроника сызбаларында кең қолданылатын аспаптар. Айнымалы ток көзіне жалғанған түзеткіштің шығыс клеммаларын тегістеуде, телекоммуникация құрылғыларында, радиоқабылдағышта талап етілетін жиілікті келтіруде, кідіріс сызбасында, электрлік сүзгіштерде, осцилляторлық тізбекте, магнитті резонансты томографияда (МРТ), медицинада денені сканерлеуде тағы да басқа салаларда кең қолданыс тапқан.

6.2 Электрстатикалық өріс

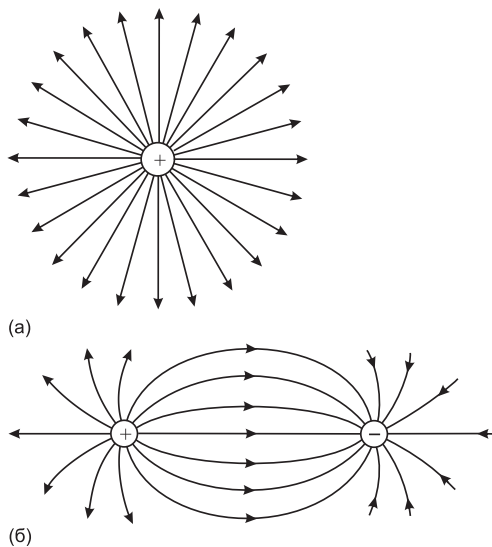
6.1-суретте потенциалдар айырымымен сипатталған екі параллель А және В металл тілімшелері (пластиналары) келтірілген. Осы тілімшелер арасына зарядтары теріс электронды орналастырса, В теріс тілімшеден А оң тілімшеге қарай теріс зарядталған электронды қандай да бір күш итере бастайды, сонымен қатар оң зарядқа сәйкес оны керісінше теріс тілімше жағына қарай ауыстыруға қарама-қарсы әрекет

жасайтын күш әсер етеді. Осындай күшті электрстатикалық өріс деп атайды. Өрістің бағыты өрісте орналасқан оң зарядтың әсерімен анықталады.



6.1-сурет

6.1-суретте әсер ететін күштің бағыты оң тілімшеден теріс тілімшеге қарай бағытталған. Мұндай өріс өзінің шамасы мен бағыты жағынан электрлік күш сызықтарымен сипатталып, зарядталған беттердің аралығында келтірілген. Сызықтардың өзара жақындығы – өріс кернеулігінің көрсеткіші. 2 нүктенің арасында потенциалдар айырымы әрқашан электр өрісін тудырады.



6.2-сурет

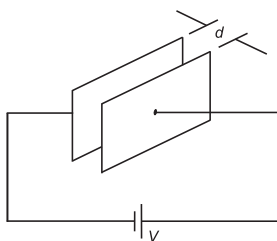
6.2 (а)-суретте оқшауланған (изоляцияланған) нүктелік заряд үшін өрістің типті құрылымы көрсетілген. 6.2 (b)-суретте зарядтары қарама-қарсы көршілес өрістің көрінісі келтірілген және осы көршілес зарядтардың полярлығы қарама-қарсы. Электрлік күш сызықтар өрістің электрлік күш сызықтары деп аталады. Олар үздіксіз және нүктелік зарядтан басталып, сол жерде аяқталады. Сонымен қатар осы сызықтар өзара қиылыспайды. Егер зарядталған дене зарядталмаған денеге жақындаса зарядталмаған дененің бетінде қарама-қарсы таңбалы индукцияланған зарядтар туады. Зарядталған денелердің күш сызықтары зарядталмаған денелердің бетінде үзіліп қалатындықтан зарядтар индукцияланады. Күш сызықтары концепциясы электр өрісінің қасиетін түсіндіру үшін қолданылады. Дегенмен, айта кету керек электрлік күш сызықтарын түсіндіруде мұндай концепция қосалқы құрал ретінде елестету үшін пайдаланылады. Екі электрлік зарядталған денелердің арасындағы тартылу немесе тебіну күші олардың зарядтарының шамасына тура пропорционал және арасындағы қашықтықтың квадратына кері пропорционал.

$$\text{Күш} \propto \frac{q_1 q_2}{d^2} \text{ немесе күш} = k \frac{q_1 q_2}{d^2}$$

Мұндағы, $k \approx 9 \times 10^9$ тұрақты. Осы өрнек **Кулон заңы** деп аталады.

Ауадағы екі зарядталған сфера арасындағы күш Кулон заңымен анықталады. Сондықтан екі зарядталған сфера арасындағы өзара қашықтық 16 мм және әрқайсысының заряды +1.6 мкКл болса, онда осы екі сфераның арасындағы күш келесі формуламен анықталады:

$$= k \frac{q_1 q_2}{d^2} \approx (9 \times 10^9) \frac{(1.6 \times 10^{-6})^2}{(16 \times 10^{-3})^2} = 90 \text{ Н (ньютон)}$$



6.3-сурет

6.3 Электр өрісінің күші

6.3-суретте өзара ауа арқылы бөлінген екі параллель пластиналық өткізгіштер көрсетілген. Олар қарама-қарсы клеммаларымен кернеуі V – ға тең батареямен қосылған.

Осы себептен 2 пластина арасында электр өрісі пайда болады. Егер пластиналар бір-біріне жақын орналасса, онда электрлік күш сызықтары тіке, параллель және бірдей орналасады, тек жиектеудің әсерінен шеттері ғана басқаша бола алады. (6.1 сурет). Осы жиектері бар шетте электр өрісінің күші:

$$E = \frac{V}{d} \text{ В / м .}$$

мұндағы, d – пластиналар арасындағы арақашықтық; 6.3-суретте өрістің электрлік күшін басқаша потенциалдар градиенті деп те атайды.

6.4 Сыйымдылық

Статикалық электр өрісі электр зарядтары арқылы туады, электр өрісінің күш сызықтары зарядтардан басталып сол зарядтарда аяқталады. Олай болса, өріс екі пластинадағы оң және теріс электр зарядтарының тең екенін көрсетеді (6.3-сурет). Бір пластинада $+Q$ кулон заряд және екінші пластинада $-Q$ кулон заряд болсын, осындай қос пластинаның қасиеті екі пластина арасындағы потенциалдар айырымына қанша заряд

сәйкес келетінін анықтай алады және оны сыйымдылық деп атайды.

$$\text{Сыйымдылық: } C = \frac{Q}{V}.$$

Сыйымдылықтың өлшем бірлігі фарада – Φ (жиі оны $\text{мк}\Phi = 10^{-6} \Phi$ немесе $n\Phi = 10^{-12} \Phi$ деп алады). Бір кулон заряд берілгенде потенциалы 1 В-қа өзгертін өткізгіштің сыйымдылығын бір фарада деп атайды.

6.5 Конденсаторлар

Электр өткізгіштердің әрбір жүйесі сыйымдылықпен сипатталады. Ауа электр беріліс желілеріндегі өткізгіштер арасында және телефон кабельдерінің арасындағы мұндай жағымсыз болып саналатын құбылысқа сыйымдылық мысал бола алады. Осындай жағымсыз құбылыстар дер кезінде төмендеп немесе нейтралдануы қажет. Алайда сыйымдылық жағымсыз қасиеттерімен қатар қолайлы жағымен де белгілі. Сыйымдылықпен сипатталатын құрылғыны конденсатор деп атайды. Өзінің ең қарапайым түрінде конденсатор екі пластинадан тұрып, диэлектрик арқылы өзара изолятормен оқшауланады.

Сыйымдылығы тұрақты және айнымалы конденсаторлардың электр тізбектердегі белгілері 6.4-суретте келтірілген. Конденсаторда жиналатын Q зарядының формуласы:

$$Q = I \times t \text{ Кл}$$



Тұрақты конденсатор

Айнымалы конденсатор

6.4-сурет

мұндағы, I ток ампермен, уақыт t – секундпен анықталады.

1-есеп. Конденсатордың сыйымдылығы 4 мкФ . (а) Конденсатордың зарядталатын уақыты 5 мсек сонда потенциалдар айырымын анықтыңыз, (б) конденсаторға түсірілетін кернеудің шамасы 2 кВ , сыйымдылығы 50 пФ конденсатордың заряды қандай?

$$(a) C = 4 \text{ мкФ} = 4 \times 10^{-6} \text{ Ф және}$$

$$Q = 5 \text{ мкКл} = 5 \times 10^{-3} \text{ Кл}$$

$$C = \frac{Q}{V} \text{ өрнегінен } V = \frac{Q}{C} = \frac{5 \times 10^{-3}}{4 \times 10^{-6}} = \frac{5 \times 10^6}{4 \times 10^3} = \frac{5000}{4}$$

Олай болса, потенциал айырымы тең:

$$V = 1250 \text{ В немесе } 1.25 \text{ кВ}$$

$$(b) C = 50 = 50 \times 10^{-12} \text{ пФ және } V = 2 \text{ кВ} = 2000 \text{ В}$$

$$Q = CV = 50 \times 10^{-12} \times 2000 \text{ В} = \frac{5 \times 2}{10^8} = 0.1 \times 10^{-6}$$

Ендеше, $Q = 0.1 \text{ мкКл}$

2-есеп. 3 мсек ішінде алдынала зарядталмаған сыйымдылығы 20 мкФ конденсатор арқылы 4 А тұрақты ток өтеді. Конденсатор пластиналарының арасындағы потенциалдар айырымын есептеңіз.

$$I = 4 \text{ А}, C = 20 \text{ мкФ} = 20 \times 10^{-6} \text{ Ф}$$

$$\text{және } t = 3 \text{ мсек} = 3 \times 10^{-3} \text{ сек}$$

$$Q = It = 4 \times 3 \times 10^{-3} \text{ Кл.}$$

$$V = \frac{Q}{C} = \frac{4 \times 3 \times 10^{-3}}{20 \times 10^{-6}} = \frac{12 \times 10^6}{20 \times 10^3} = 0.6 \times 10^3 = 600 \text{ В}$$

Олай болса, пластина арасындағы потенциалдар айырымы 600 В

3-есеп. Сыйымдылығы 5 мкФ конденсатор пластиналары арасындағы потенциалдар айырымы 800 В -ке дейін зарядталған. Қанша уақытта конденсатор зарядсыздандудың орташа шамасын 2 мА дейін қамтамасыз ете алады?

$$C = 5 \text{ мкФ} = 5 \times 10^{-6} \text{ Ф}, \quad V = 800 \text{ В} \quad \text{және} \quad I = 2 \text{ мА} = 2 \times 10^{-3} \text{ А}$$

$$\text{Ендеше } Q = CV = 5 \times 10^{-6} \times 800 = 4 \times 10^{-3} \text{ Кл}$$

$$\text{Сонымен, } Q = It,$$

$$\text{олай болса, } t = \frac{Q}{I} = \frac{4 \times 10^{-3}}{2 \times 10^{-3}} = 2 \text{ сек}$$

Сонымен конденсатор орташа алғанда 2 мА тоқты зарядсыздау үшін 2 сек уақыт жұмсайды.

Келесі жаттығуларды орындаңыздар.

26-жаттығу. Конденсатор мен сыйымдылыққа арналған қосымша есептер

1. Конденсаторға 250 В кернеу берілген, сонда 10 мкФ сыйымдылықтың зарядын табыңыз.

[2.5 мКл]

2. Сыйымдылығы 1000 нФ конденсаторды 2 мксек ішінде зарядтау үшін қанша кернеу қажет?

[2 кВ]

3. Конденсатордың пластиналарының заряды 6 мкКл , егер олардың арасындағы потенциалдар айырымы 2.4 кВ болса, конденсатордың сыйымдылығы қандай?
[2.5 мкФ]
3. Конденсатордың сыйымдылығы 5 мкФ , пластиналар арасындағы потенциалдар айырымы 500 В , осы конденсаторды 2 А токпен зарядтау үшін қанша уақыт қажет?
[1.25 мс]
4. 1 мсек ішінде 10 мкФ -лық конденсатор арқылы тұрақты 10 А ток өтеді. Конденсатор пластиналары арасындағы потенциалдар айырымын есептеңіз.
[2 кВ]
5. Сыйымдылығы 16 мкФ конденсатор 2 минут ішінде 4 мкА тұрақты токпен зарядталады. Конденсатордың потенциалдар айырымы мен оған сәйкес кулонмен алғандағы зарядты есептеңіз.
[30 В, 480 мкКл]
6. Конденсатордың пластиналар арасындағы потенциалдар айырымы 2 кВ , 1.5 мсек ішінде 10 мА ток зарядталған конденсатордан өтеді. Конденсатордың сыйымдылығын табыңыз.
[7.5 мкФ]

6.6. Электр ағынының тығыздығы немесе векторлық ығысу

Электр өрісі ағынының өлшем бірлігі 1 кулон оң зарядтың өрісімен анықталады. Электр өрісінің ағыны немесе векторлық ығысу ψ кулонмен өлшенеді. Ал Q кулон заряды үшін электр өрісінің ағыны $\psi = Q$ кулонға тең. Электр өрісі ағынының тығыздығы немесе векторлардың ығысуы D , белгілі бір S ауданнан перпендикуляр өтетін электр өрісі ағынының мөлшерімен анықталады.

Электр өрісі ағынының тығыздығы: $D = \frac{Q}{S} \text{ Кл} / \text{м}^2$

Электр өрісі ағынының тығыздығы немесе векторлық ығысудың сан мәні зарядтың беттік тығыздығына тең.

Электр өрісі ағынының тығыздығы басқаша зарядтың тығыздығы деп те аталады, σ .

6.7. Диэлектрлік өтімділік

Электр өрісінде кез келген уақытта электр өрісінің кернеулігі E электр ағынын қолдап тұрады, сөйтіп, электрлік ағынды тудырады. Бұл нүктедегі ағынның тығыздығы D Вакуумдегі өріс үшін (ауада практикалық мақсаттар үшін) D / E қатынасы тұрақты шама және ол ε_0 деп белгіленеді.

$$\frac{D}{E} = \varepsilon_0$$

ε_0 – бос кеңістіктің диэлектрлік өтімділігі немесе бос кеңістіктің тұрақтысы деп аталады, оның сан мәні $8.85 \times 10^{-12} \text{ Ф/м}$.

Изоляцияланған орта, мысалы, слюда, қағаз, пластик немесе қыш, электр өрісіне енгізілген кезде D / E қатынасы өзгереді.

$$\frac{D}{E} = \varepsilon_0 \varepsilon_r$$

Мұндағы ε_r – изоляциялық материалдың салыстырмалы диэлектрлік өтімділігі, ол вакууммен салыстырғанда материалдың изоляциялық қабілеттілігін көрсете алады.

Салыстырмалы диэлектрик өтімділігі,

$$\varepsilon_r = \frac{\text{материалдағы ағын тығыздығы}}{\text{вакуумдегі ағын тығыздығы}}$$

Салыстырмалы диэлектрлік өтімділігі өлшем бірлігі жоқ шама. Кейбір материалдардың салыстырмалы диэлектрлік өтімділігінің мағыналары: ауа– 1.00; полиэтилен–2.3; слюда – 3–7; шыны 5–10, су, 80; қыш 6–1000.

$$\varepsilon = \varepsilon_0 \varepsilon_r$$

Екі өтімділіктердің көбейтіндісі абсолютті диэлектрлік өтімділік деп аталады, яғни зарядталған беттерді бөлетін изоляциялық орта диэлектрик деп аталады. Диэлектртердің кедергісі өткізгіштермен салыстырғанда өте жоғары. Сондықтан оларды әртүрлі потенциалдар, жазық конденсаторлар, электр қуатын беретін желі мен өткізгіштерді бөліп тұру үшін қолданады.

4-есеп. Ені 20 см ұзындығы 40 см екі тік бұрышты параллель орналасқан пластиналардың заряды 0.2 мкКл. Электр ағынының тығыздығын есептеңіз. Екі пластиналар арасы 5 мм және арасындағы кернеуі 0.25 кВ, сондағы электр өрісінің кернеулігін табыңыз.

$$A_{\text{уада}} = 20 \text{ см} \times 40 \text{ см} = 800 \text{ см}^2 = 800 \times 10^{-4} \text{ м}^2$$

Электр өрісі ағынының тығыздығы:

$$D = \frac{Q}{A} = \frac{0.2 \times 10^{-6}}{800 \times 10^{-4}} = \frac{0.2 \times 10^4}{800 \times 10^6} = \frac{2000}{800} \times 10^{-6} = 2.5 \text{ мкКл/м}^2$$

$$\text{Кернеу: } V = 0.25 \text{ кВ} = 250 \text{ В}$$

$$d = 5 \text{ мм} = 5 \times 10^{-3} \text{ м}$$

Электр өрісінің кернеуі:

$$E = \frac{V}{d} = \frac{250}{5 \times 10^{-3}} = 50 \text{ кВ/м}$$

5-есеп. Электр өрісі ағынының тығыздығы $2 \text{ мкКл} / \text{м}^2$ екі пластина арасы слюдамен бөлінген, салыстырмалы кернеудің градиентін табыңыз.

Электр өрісі ағынының тығыздығы:

$$D = 2 \text{ мкКл} / \text{м}^2 = 2 \times 10^{-6} \text{ Кл} / \text{м}^2$$

Салыстырмалы кернеудің градиентін:

$$E = \frac{D}{\varepsilon_0 \varepsilon_r} = \frac{2 \times 10^{-6}}{8.85 \times 10^{-12} \times 5} \text{ В} / \text{м} = 45.2 \text{ кВ} / \text{м}$$

Сонда кернеудің градиенті: **45.2 кВ / м**

6-есеп. Екі параллель пластинаның арасындағы потенциалдар айырымы 200 В , олардың арасы 8 мм . Электр өрісінің кернеулігі қандай? Екі пластина арасында диэлектрик рөлін (а) ауа, (б) полиэтилен орындаса, салыстырмалы диэлектрик өтімділігі 2.3 , электр ағынының тығыздығын табыңыздар.

$$\text{Электр өрісінің кернеулігі: } E = \frac{V}{d} = \frac{200}{0.8 \times 10^{-3}} = 250 \text{ кВ} / \text{м}.$$

(а) ауа үшін: электр өрісі ағынының тығыздығы:

$$D / E = \varepsilon_0 \varepsilon_r .$$

(б) полиэтилен үшін: электр өрісі ағынының тығыздығы

$$D = E \varepsilon_0 \varepsilon_r$$

$$= (250 \times 10^3 \times 8.85 \times 10^{-12} \times 2.3) \text{ Кл} / \text{м}^2 = 5.089 \text{ мкКл} / \text{м}^2 .$$

Келесі жаттығуларды орындаңыздар.

27-жаттығу. Электр өрісінің кернеулігі, электр ағынының тығыздығы мен диэлектрлік тұрақтылыққа қосымша есептер

(Керекті жағдайда: $\varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{Ф/м}$ деп алу қажет)

1. Конденсатордағы диэлектриктің қалыңдығы 0.04 мм және ол 30 В кернеуде жұмыс істейді. Осы кернеуде диэлектрик үшін электр өрісінің кернеулігі қандай? $[750 \text{ кВ / м}]$ Екі пластинкалы конденсатордың заряды 25 Кл . Әрбір пластинаның ауданы 5 см^2 , сонда электр өрісінің электрлік индукциясын табыңыз. $[50 \text{ кКл / м}^2]$
3. Ендері 60 мм екі параллель пластиналардың арасындағы заряд 1.5 мкКл . Электр өрісі ағынының тығыздығын есептеңіз. Пластиналардың арақашықтығы 10 мм , арасындағы кернеулігі 0.5 кВ электр өрісінің кернеулігін табыңыз. $[312.5 \text{ мкКл / м}^2, 50 \text{ кВ / м}]$
4. Екі параллель пластина диэлектрикпен бөлінген, заряды 10 мкКл . Пластинаның ауданын 50 см^2 екенін ескере отырып, пластинаны бөліп тұрған диэлектриктегі электр өрісі ағынының тығыздығын есептеңіз. $[2 \text{ мКл / м}^2]$
5. Екі пластина арасы полистиролмен бөлінген, оның салыстырмалы диэлектриктік өтімділігі 2.5 , электр өрісі ағынының тығыздығы 5 мкКл / м^2 . Пластина арасындағы кернеудің градиентін табыңыздар. $[226 \text{ кВ / м}]$
6. Екі параллель пластинаның арасындағы потенциалдар айырымы 250 В . Арасындағы арақашықтық 1 мм . Анықтаңыздар: электр өрісінің кернеулігін, электр өрісі ағынының

тығыздығын, егер диэлектрик (а) ауа, (b) слюда (слюданың салыстырмалы өтімділігі 5) болса.

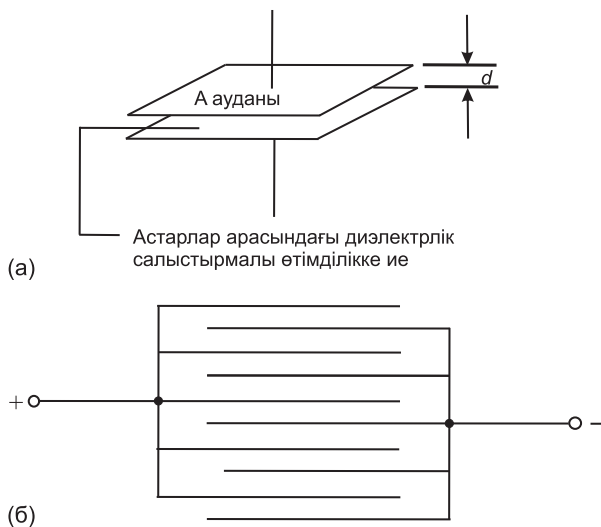
$$[250 \text{ кВ} / \text{м} \quad (a) \quad 2.213 \text{ мкКл} / \text{м}^2 \\ (b) \quad 11.063 \text{ мкКл} / \text{м}^2]$$

6.8 Параллель конденсаторлар

Ең қарапайым конденсатор – ол аудандары S -ке тең, қарама-қарсы таңбалы зарядтармен зарядталған, ара қашықтықтары d -ға тең, өзара параллель екі металл пластинкадан тұратын жазық конденсатор. (1.22) өрнегіне сәйкес астарлардың арасындағы өріс кернеулігі тең:

$$\text{Сыйымдылық, } C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r S}{d} \Phi$$

яғни жазық конденсатордың сыйымдылығы оның астарларының ауданы мен ортаның диэлектрлік өтімділігіне тура пропорционал және астарлардың арақашықтығына



6.5-сурет

кері пропорционал. Сонымен, сыйымдылық шамасы конденсатордың геометриясымен сондай-ақ астарлардың арасын толтыратын ортаның диэлектрлік қасиеттерімен анықталады.

Жазық конденсатор

Жазық конденсатор 6.5-суретте көрсетілген. Тәжірибе көрсеткендей, оның сыйымдылығы пластинаның S ауданына тура пропорционал, ал пластина арақашықтығына кері пропорционал (диэлектрктің қалыңдығына) және диэлектрктің табиғатына тәуелді. Сыйымдылық, C өлшем бірлігі—фарада:

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r S}{d} \Phi .$$

мұндағы, $\varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \Phi / \text{м}$

ε_r = салыстырмалы диэлектрлік өтімділік;

$S = \text{м}^2$ алынған конденсатор астарының ауданы;

d = диэлектрктің метрмен алынған қалыңдығы.

Бірнеше пластиналарды кезектесе орналастыру арқылы 6.5 (b) -суретте конденсатордың сыйымдылығын ұлғайтудың басқа тәсілі келтірілген. Егер 10 пластина 9 конденсаторды құрастырса, онда бір жұп пластинамен салыстырғанда олардың сыйымдылығы 10 есе ұлғайа алады. Егер мұндай құрылғы n пластинадан тұрса, онда сыйымдылық $C \propto (n - 1)$ тең. Сонда сыйымдылық:

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r (n - 1)}{d} \Phi$$

7-есеп. Қыштан жасалған конденсатор пластинасының ауданы 4 см^2 . Қашықтықтары 0.1 мм өзара қышпен салыстырғанда диэлектрлік өтімділігі 100-ге тең. Есептеңіз: (а) конденсатордың пикофарадамен алғандағы

сыйымдылығын, (b) егер (a) бабында көрсеткендей конденсатордың заряды 1.2 мкКл болса, онда пластина арасындағы потенциалдар айырымы қандай болғаны?

(a) пластина ауданы және $S = 4 \text{ см}^2 = 4 \times 10^{-4} \text{ м}^2$

$$d = 0.1 \text{ мм} = 0.1 \times 10^{-3} \text{ м}$$

$$\varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ Ф / м}$$

Сыйымдылық:

$$\begin{aligned} C &= \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r A}{d} \text{ Ф} = \frac{8.85 \times 10^{-12} \times 100 \times 4 \times 10^{-4}}{0.1 \times 10^{-3}} \text{ Ф} = \frac{8.85 \times 4}{10^{10}} \text{ Ф} = \\ &= \frac{8.85 \times 4 \times 10^{12}}{10^{10}} \text{ нФ} = 3540 \text{ нФ} \end{aligned}$$

(b) $Q = CV$, олай болса,

$$V = \frac{Q}{C} = \frac{1.2 \times 10^{-6}}{3540 \times 10^{-12}} \text{ В} = 339 \text{ В}$$

8-есеп. Балауыз жағылған қағаздан жасалған конденсатор екі параллель пластинадан тұрады, әрқайсысының ауданы 800 см^2 . Конденсатордың сыйымдылығы 4425 нФ . Оның диэлектрлік өтімділігі 2.5 , қағаздың тиімді қалыңдығын табыңыз.

$$S = 800 \text{ см}^2 \times 10^{-4} \text{ м}^2 = 0.08 \text{ м}^2$$

$$C = 4425 \text{ нФ} = 4425 \times 10^{-12} \text{ Ф}$$

$$\varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ Ф / м}$$

$$\varepsilon_r = 2.5. \quad C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r S}{d} \text{ болғандықтан, } d = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r S}{C}.$$

$$d = \frac{8.85 \times 10^{-12} \times 2.5 \times 0.08}{4425 \times 10^{-12}} = 0.0004 = 0.4 \text{ мм}$$

Олай болса, қағаздың қалыңдығы 0.4 мм.

9-есеп. Жазық конденсаторда 19 пластиналар кезектесіп орналасқан. Әрбір пластинаның ауданы $75 \text{ мм} \times 75 \text{ мм}$. Бұл пластиналар слюда арқылы бөлінген. Слюданың қалыңдығы 0.2 мм және диэлектрлік өтімділігі 5. Конденсатордың сыйымдылығын есептеңіз.

$$n=19, \text{ сонда: } n-1=18, S=75 \times 75=5625 \text{ мм}^2=5624 \times 10^{-6} \text{ м}^2$$

Сыйымдылық:

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r S (n-1)}{d} = \frac{8.85 \times 10^{-12} \times 5 \times 5625 \times 10^{-6}}{0.2 \times 10^{-3}} \Phi = 0.0224 \text{ мкФ}$$

Келесі жаттығуларды орындаңыздар.

28-жаттығу. Жазық конденсаторға арналған қосымша есептер

(Керекті жағдайда $\varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ Ф/м}$ деп алу қажет)

1. Конденсатор екі пластинадан құралған, әрқайсысының ауданы 0.01 м^2 ауа арқылы арақашықтығы 0.1 мм. Пикофарадамен алғанда конденсатордың сыйымдылығын есептеңіз. [885 пФ]
2. Конденсатордың екі пластинасы балауыз жағылған қағаздан құралған, әрбір пластинаның ауданы 0.2 м^2 . Егер оның салыстырмалы диэлектрлік өтімділігі 2, конденсатордың сыйымдылығы 4000 пикофарада, қағаздың тиімді қалыңдығы қандай?

[0.885 мМ]

3. Конденсатордың бес пластинасы бар, әрбір пластинаның ауданы $30 \text{ мм} \times 20 \text{ мм}$ және олар өзара қалыңдығы 0.75 мм диэлектрикпен бөлінген, оның диэлектрик өтімділігі 2.3, осы жазық конденсатордың сыйымдылығын есептеңіз.

[65.14 нФ]

4. Сыйымдылығы 5 нФ жазық конденсатордың қанша пластинасы бар, егер әрбір пластинаның ауданы 40 мм , әрбір диэлектриктің қалыңдығы 0.102 мм және олардың диэлектрлік өтімділігі 6-ға тең болса.

[7]

5. Жазық конденсатордың 25 пластинасы бар. Әрқайсысының ауданы $70 \text{ мм} \times 120 \text{ мм}$ кезектесіп слюдамен орналасқан. Слюданың салыстырмалы диэлектрлік өтімділігі 5. Конденсатордың сыйымдылығы 3000 нФ болса, табақты слюданың қалыңдығы қандай?

[2.97 мМ]

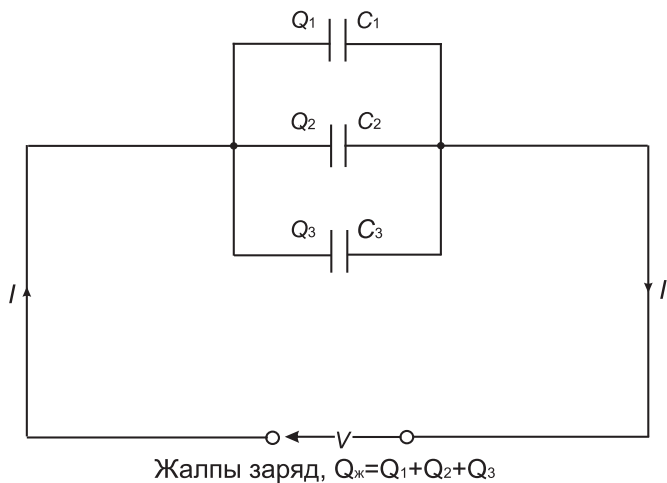
6. Егер пластиналардың ауданы екі еселенсе және пластиналардың арақашықтығы екі есе азайса параллель пластинадан құралған, сыйымдылығы 50 нФ конденсатордың сыйымдылығы қандай болады?

[200 нФ]

7. Жазық параллель конденсатордың сыйымдылығы 1000 нФ 1000 нФ . Оның 19 пластинасы бар, әрқайсысының ауданы $50 \times 30 \text{ мм}^2$, олар қалыңдығы 0.4 мм диэлектрикпен бөлінген. Салыстырмалы диэлектрлік өтімділігін анықтаңыздар.

[1.67]

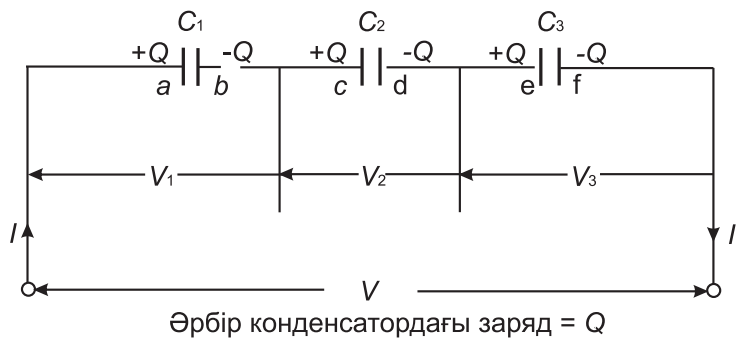
8. Бірнеше пластинадан тұратын конденсатордың әрбір жазық бетінің заряды 80 мкКл ал олардың арасындағы потенциалы айырымы 5 кВ . Егер 25 пластинасы бар конденсатордың пластина арасындағы диэлектрліктің қалыңдығы 0.107 мм , диэлектрлік өтімділігі 4.8 болса, пластина енін анықтаңыз.



6.6-сурет

[40 мм]

9. Конденсатордың сыйымдылығы 4250 пикофарада, ал потенциалдар айырымы 100 В болуы үшін олардың клеммаларындағы диэлектрлік релін полиэтилен атқарған, 2.3 қауіпсіздік факторын ескергеннен кейін оның диэлектрлік беріктілігі 20 МВ/м. Табу керек: (а) полиэтиленнің қалыңдығын, (б) пластина ауданын.
 [(а) 0.005 мм, (б) 10.44 см²]



6.7-сурет

6.9. Конденсаторларды параллель және тізбектей қосу

(а) Конденсаторды параллель қосу

6.6-суретте 3 конденсатор келтірілген C_1 , C_2 , C_3 өзара параллель V кернеу көзімен жалғанған. I зарядты ток A нүктесіне жеткен кезде үшке бөлінеді: біреуі C_1 -ге, екіншісі C_2 -ге, үшіншісі C_3 -ге. Олай болса, толық заряды $Q_T (= I \times t)$ үш конденсаторға бөлінген. Конденсатордың әрбір пластиналарында Q_1 , Q_2 , Q_3 зарядтары жиналған. Олай болса,

$$Q_{ж} = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$Q_{ж} = CV \quad Q_1 = C_1V \quad Q_2 = C_2V \quad Q_3 = C_3V .$$

Бірақ $CV = C_1V + C_2V + C_3V$, мұндағы, C тізбектегі жалпы (толық) эквивалентті сыйымдылық $C = C_1 + C_2 + C_3$.

Осыдан егер n параллель конденсатор қосылса, онда:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 \dots \dots + C_n$$

Олай болса, параллель қосылған конденсаторлар тобының эквивалентті сыйымдылығы бірлескен жеке-жеке конденсатор сыйымдылығының қосындысына тең. Бұл формула тізбекті қосылған резисторлар үшін қолданатын формулаға ұқсас.

(b) Тізбектей қосылған конденсаторлар

6.7-суретте C_1 , C_2 , C_3 конденсаторлары V кернеу көзіне тізбектей қосылған. Әрбір жеке конденсаторлар үшін олардың V_1 , V_2 , V_3 потенциалдар айырымы сәйкес көрсетілгендей болсын.

6.7-суретте конденсаторындағы ‘ a ’ пластинада C_1 заряд $+Q$ кулонмен алынған болсын. Мұның өзі ‘ b ’ пластинада конденсатордағы $-Q$ кулонмен алғанда тең бірақ қарама-қарсы

заряд пайда болады. ‘b’ мен ‘c’ пластина арасындағы электр өткізгіш тізбектегі басқа өткізгіштерден электрлік оқшауланған, сонда эквивалентті, бірақ қарама-қарсы $+Q$ зарядты кулон ‘b’ пластинасында пайда болады, ол өз алдына тең және қарама-қарсы $-Q$ кулонмен ‘c’ пластинада $-Q$ зарядты тудыра алады, сөйтіп әрі қарай тура солай жалғаса береді.

Сондықтан конденсаторлар тізбектеп қосылғанда пластинаның әрқайсысында заряд бірдей. Тізбекті жалғанған сызбада:

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

$$V = \frac{Q}{C} : \text{болғандықтан } \frac{Q}{C} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3}$$

Мұндағы, C - тізбектің жалпы эквивалентті сыйымдылығы. Осыдан:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

Конденсаторларды тізбектей жалғағанда:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

Сыйымдылыққа кері шама жеке кері сыйымдылықтардың қосындысына тең. Байқаңыздар бұл формула резисторларды параллель қосқандағы формулаға ұқсас. Екі конденсатордан тұратын жеке жағдайдағы тізбектей жалғау сызбасы үшін:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{C_2 + C_1}{C_1 C_2}$$

Яғни бөлшектің алымында сыйымдылықтар көбейтіндісінің бөліміндегі сыйымдылықтардың қосындысына қатынасы тізбектей жалғанған екі конденсаторлардың сыйымдылығын бере алатын формула:

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_2 + C_1}$$

10-есеп. (а) параллель, (б) тізбектей қосылған сыйымдылықтары 6 мкФ және 4 мкФ екі конденсаторлардың эквивалентті сыйымдылықтарын есептеңіздер.

(а) Параллель қосылған екі конденсатордың эквивалентті сыйымдылығы:

$$C = C_1 + C_2 = 6 \text{ мкФ} + 4 \text{ мкФ} = 10 \text{ мкФ}$$

(б) Тізбектей қосылған екі конденсатордың сыйымдылығы:

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_2 + C_1}.$$

Бұл формула екі конденсаторды тізбектей қосқанда арналған арнайы қолданылады. Олай болса:

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_2 + C_1} = \frac{6 \times 4}{6 + 4} = \frac{24}{10} = 2.4 \text{ мкФ}.$$

11-есеп. Эквивалентті сыйымдылық 12 мкФ, сыйымдылығы 30 мкФ конденсаторға тізбектей қосылған конденсаторлардың сыйымдылығы қандай?

$C = 12 \text{ мкФ}$ (эквивалентті сыйымдылық), $C_1 = 30 \text{ мкФ}$ және C_2 сыйымдылығы белгісіз. Тізбектей қосылған екі конденсатор үшін өрнектің түрі:

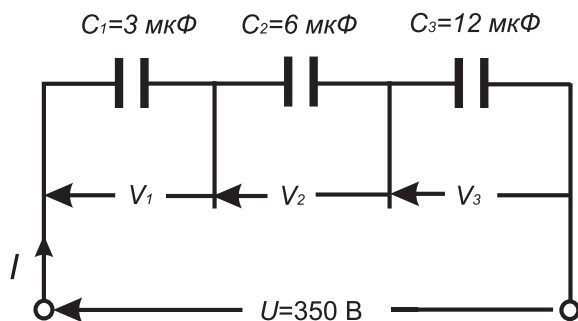
$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}.$$

Немесе:

$$\frac{1}{C_2} = \frac{1}{C} - \frac{1}{C_1} = \frac{C_1 - C}{CC_1}.$$

Сонда:

$$C_2 = \frac{CC_1}{C_1 - C} = \frac{12 \times 30}{30 - 12} = \frac{360}{18} = 20 \text{ мкФ}.$$



6.8-сурет

12-есеп. Сыйымдылықтары 1 мкФ , 3 мкФ , 5 мкФ және 6 мкФ конденсаторлар кернеуі 100 В қоректендіру көзіне параллель қосылған. Анықтаңыздар: (а) тізбектің эквиваленттік сыйымдылығын, (б) жалпы зарядын, (с) әрбір конденсатордағы зарядты.

(а) Параллель қосылған 4 конденсаторлардың эквивалентті сыйымдылығын:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + C_4$$

$$C = 1 + 3 + 5 + 6 = 15 \text{ мкФ}.$$

(б) $Q_{\text{жс}} = CV$ жалпы заряды, мұндағы, C тізбектің эквиваленттік сыйымдылығы:

$$Q_{\text{жс}} = CV = 15 \times 10^{-6} \times 100 = 1.5 \times 10^{-3} \text{ Кл} = 1.5 \text{ мКл}$$

б) 1 мкФ конденсаторындағы заряд:

$$Q_1 = C_1 V = 1 \times 10^{-6} \times 100 = 0.1 \text{ мКл}.$$

3 мкФ конденсаторындағы заряд:

$$Q_1 = C_2 V = 3 \times 10^{-6} \times 100 = 0.3 \text{ мКл}.$$

5 мкФ конденсаторындағы заряд:

$$Q_2 = C_2 V = 5 \times 10^{-6} \times 100 = 0.3 \text{ мКл} .$$

6 мкФ конденсаторындағы заряд:

$$Q_3 = C_3 V = 5 \times 10^{-6} \times 100 = 0.5 \text{ мКл}$$

$$Q_4 = C_4 V = 6 \times 10^{-6} \times 100 = 0.6 \text{ мКл} .$$

(Тексеру:

$$Q_{ж} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 = 0.1 + 0.3 + 0.5 + 0.6 = 1.5 \text{ мКл})$$

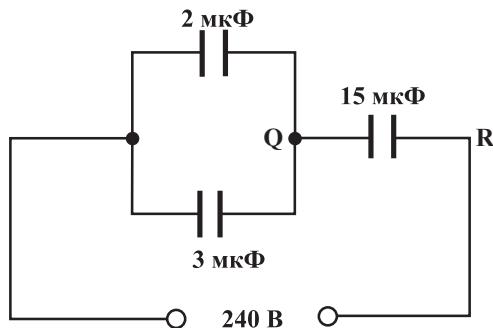
13-есеп. Сыйымдылықтары 3 мкФ, 6 мкФ, 12 мкФ конденсаторлар 350 В кернеу көзіне тізбектей қосылған. Есептеңіздер: (а) конденсатордың тізбекті эквивалентті сыйымдылығын, (б) әрбір конденсатордағы потенциалдар айырымын:

Тізбектің сызбасы: 6.8 суретте келтірілген.

(а) Тізбектеп қосылған үш конденсаторлардың эквиваленттік сыйымдылығы келесі өрнекпен анықталады:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}, \text{ яғни: } \frac{1}{C} = \frac{1}{3} + \frac{1}{6} + \frac{1}{12} = \frac{4+2+1}{12} = \frac{7}{12} .$$

Сондықтан сыйымдылық эквивалентті сызбасы:



6.9-сурет

$$C = \frac{12}{7} = 1 \frac{5}{7} \text{ мкФ} \text{ немесе } 1.714 \text{ мкФ} .$$

(b) Жалпы заряд $Q_{ж} = CV = \frac{12}{7} \times 10^{-6} \times 350 = 600 \text{ мКл}$
немесе 0.6 мКл .

Конденсаторлар тізбектей қосылғандықтан, олардың әрқайсысында 0.6 мКл заряд болады.

(c) Конденсатордағы кернеу 3 мкФ :

$$V_1 = \frac{Q}{C_1} = \frac{0.6 \times 10^{-3}}{3 \times 10^{-6}} = 200 \text{ В} .$$

Конденсатордағы кернеу 6 мкФ :

$$V_2 = \frac{Q}{C_2} = \frac{0.6 \times 10^{-3}}{6 \times 10^{-6}} = 100 \text{ В} .$$

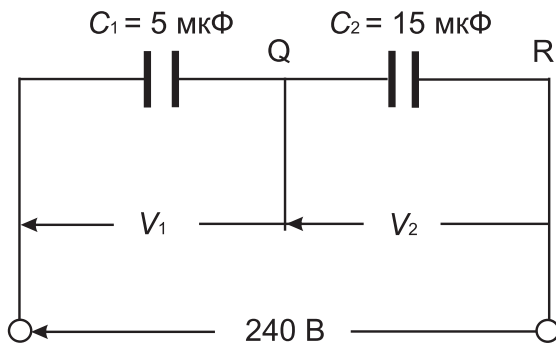
Конденсатордағы кернеу 12 мкФ :

$$V_3 = \frac{Q}{C_3} = \frac{0.6 \times 10^{-3}}{12 \times 10^{-6}} = 50 \text{ В} .$$

[тексеру: тізбектей қосылғанда:

$$V = V_1 + V_2 + V_3 = 200 + 100 + 50 = 350 \text{ В}$$

$$V = V_1 + V_2 + V_3 = 200 + 100 + 50 = 350 \text{ В}$$



6.10-сурет

Есептің берілгені бойынша қоректендіру көзінің кернеуі **350 В**].

Іс жүзінде конденсаторлар тізбектей қосылмайды. Оның себебін жоғарыда келтірген есептен көруге болады, яғни конденсатордың ең кіші шамасына (1.3 мкФ) потенциалдар айырымының ең жоғары шамасы (200 В) сәйкес келеді. Ал мұның мағынасы: егер барлық конденсаторлардың құрылысы бірдей болса, олардың кернеуі ең жоғары мәнді ала алады.

14-есеп. 6.9-суретте көрсетілген схемадан табыңыздар.

(а) Тізбектің эквивалентті сыйымдылығын, (b) QR-дегі кернеуді, (с) әрбір конденсатордағы жүктемені.

(а) Сыйымдылықтары 2 мкФ мен 3 мкФ конденсаторлары параллель қосылған, олардың сыйымдылықтары $2 + 3 = 5 \text{ мкФ}$. 6.10 – суреттегі тізбекке келтірейік.

Сыйымдылықтары 5 мкФ мен 15 мкФ конденсаторлары параллель қосылған, сонда эквивалентті сыйымдылық тең:

$$\frac{5 \times 15}{5 + 15} \text{ мкФ} = \frac{75}{20} \text{ мкФ} = 3.75 \text{ мкФ}$$

(b) 6.10-суретте әрбір конденсатордың заряды көрсетілген. Тізбектей қосылған болсын. Оның заряды:

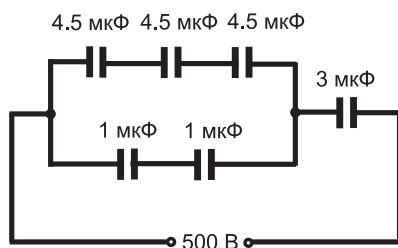
$$Q = C_1 V_1 = C_2 V_2$$

$$\text{Сонда, } 5V_1 = 15V_2$$

$$V_1 = 3V_2 \quad (1)$$

$$V_1 + V_2 = 240 \text{ В}$$

$$3V_2 + V_2 = 240 \text{ В}$$



6.11-сурет

$$V_2 = 60 \text{ В}$$

Олай болса, QR -дегі кернеу 60 В болғаны.

(с) Сыйымдылығы 15 мкФ конденсатордың заряды:

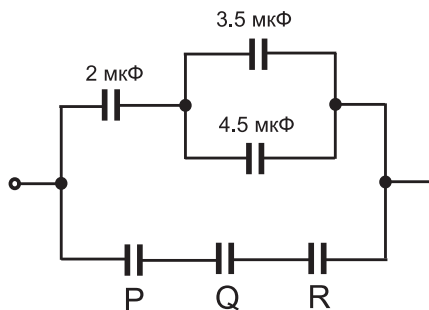
$$C_2 V_2 = 15 \times 10^{-6} \times 60 = 0.9 \text{ мКл.}$$

Сыйымдылығы 2 мкФ конденсатордың заряды:

$$2 \times 10^{-6} \times 180 = 0.36 \text{ мКл.}$$

Сыйымдылығы 2 мкФ конденсатордың заряды:

$$3 \times 10^{-6} \times 180 = 0.54 \text{ мКл}$$



6.12-сурет

Келесі жаттығуларды орындаңыздар.

29-жаттығу. Конденсаторларды параллель және тізбектей қосуға қосымша арналған есептер

1. 2 мкФ мен 6 мкФ конденсаторлары (а) параллель, (б) тізбектей қосылған. Әрбір шарт үшін эквивалентті сыйымдылықты анықтаңыздар.

[(а) 8 мкФ (б) 1.5 мкФ]

2. Эквивалентті сыйымдылық 6 мкФ болу үшін сыйымдылығы 10 мкФ конденсаторға тізбектей қосылған белгісіз конденсатордың сыйымдылығы қандай болуы керек.

[15 мкФ]

3. Егер 0.15 мкФ мен 0.1 мкФ конденсаторлар (а) тізбектей (б) параллель қосылса, сыйымдылықтың мәні қандай болады?

[(а) 0.06 мкФ (б) 0.25 мкФ]

4. Сыйымдылықтары 6 мкФ конденсаторлар сыйымдылығы 12 мкФ конденсатормен тізбектей қосылған. Конденсатордың сыйымдылығы 1.2 мкФ болу үшін қандай сыйымдылықты тізбектей қосуға болады? Тізбектің жалпы эквивалентті сыйымдылығын табыңыз.

[2.4 мкФ , 2.4 мкФ]

5. Эквивалентті сыйымдылықты табыңыз, егер келесі конденсаторлар (а) параллель, (б) тізбектей қосылса:

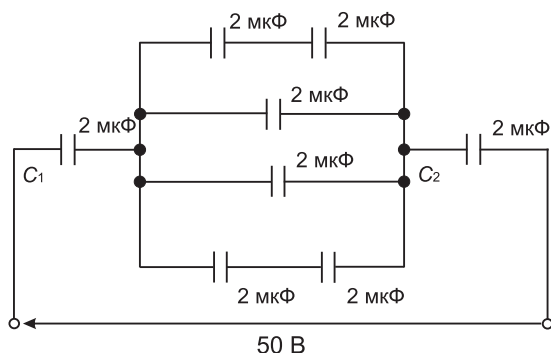
1. 2 мкФ , 4 мкФ мен 8 мкФ
2. 0.02 мкФ , 0.05 мкФ мен 0.10 мкФ
3. 50 пФ мен 450 пФ
4. 0.01 мкФ мен 200 пФ

[(а) (1) $.14 \text{ мкФ}$ (2) 0.17 мкФ

(3) 500 мкФ (4) 0.0102 мкФ (3)

(б) (1) 1.143 мкФ (2) 0.0125 мкФ

45 мкФ (4) 196.1 мкФ]



6.13-сурет

6. 6.11-суретте көрсетілген құрылғыдан табу керек: (а) тізбектің эквиваленттік сыйымдылығын, (б) сыйымдылығы 4.5 мкФ конденсатордың кернеуін.
 [(а) 1.2 мкФ (б) 100 В]
7. Сыйымдылығы 12 мкФ конденсаторлар 750 В кернеу көзіне тізбектей қосылған. Есептеңіздер: (а) эквивалентті сыйымдылықты, (б) әрбір конденсатордың зарядын, (с) әрбір конденсатор үшін потенциалдар айырымын.
 [(а) 4 мкФ (б) 3 мКл (с) 250 В]
8. 240 В кернеу көзімен сыйымдылықтары 3 мкФ және 5 мкФ екі конденсаторлар қосылған. Сонда анықтаңыздар: (а) әрбір конденсатордың потенциалдар айырымын, (б) әрбір конденсатордың зарядын.
 [(а) 150 В 90 В (б) 0.45 мКл жеке-жеке]
9. 6.12-суретте P , Q мен R бірдей конденсаторлар, олардың жалпы эквивалентті сыйымдылығы 3 мкФ . Конденсаторлардың жеке-жеке сыйымдылықтарының мәндерін анықтаңыздар:
 [жеке – жеке 4.2 мкФ]
10. Кернеуі 200 В қоректендіру көзіне сыйымдылықтары 4 мкФ , 8 мкФ және 16 мкФ үш конденсатор параллель қосылған. Анықтаңыздар: (а) эквивалентті сыйымдылықты, (б) жалпы зарядты, (с) әрбір конденсатордағы зарядты.

[(a) 28 мкФ (b) 5.6 мкФ

(c) 0.8 мкФ, 1.6 мкФ, 3.2 мкФ]

11. 2 конденсатордан тұратын тізбекке үшінші конденсатор тізбектей қосылған. Олардың сәйкес сыйымдылықтары: 4 мкФ, 12 мкФ және 8 мкФ. Егер тізбек 300 В кернеу көзіне қосылса, табу керек: (a) тізбектегі жалпы сыйымдылықты, (b) әрбір конденсатордың потенциалдар айырымын, (c) әрбір конденсатордың зарядын.

[(a) 5.33 мкФ (b) Р арқылы 100 В,

(b) Р-ге 0.4 мкФ, Q-ге 1.2 мкФ, R-ге 1.6 мкФ]

12. 6.13-суретте көрсетілгендей анықтаңыздар: (a) тізбектің жалпы сыйымдылығын, (b) 6.13-суретте көрсетілгендей тізбектің жалпы энергиясын, (c) және сыйымдылықтарының зарядтарын.

[(a) 0.857 мкФ (b) 1.071 мДж

(c) жеке-жеке 42.85 мкФ]

6.10. Диэлектрлік беріктік

Диэлектриктің өріс кернеулігінің максимал мөлшерін төзіп шыдай алуын материалдың диэлектриктік беріктілігі деп атайды.

Диэлектрлік беріктілік: $E_m = \frac{V_m}{d}$.

- 15-есеп.** Сыйымдылығы 0.2 мкФ, шығыстағы потенциалдар айырымы 1.25 кВ болатындай конденсаторлар бір-бірімен жалғанған. Диэлектрлік ретінде слюда алынғын. Қауіпсіздік коэффициенті 2-ге тең, оның электрлік беріктілігі 50 МВ/м. Табу керек: (a) қажетті слюданың қалыңдығын, (b) пластинаның ауданын (конденсатор екі пластинадан тұрады деп болжаланады, слюда үшін $\varepsilon_r = 6$).

(a) Электрлік беріктілік, $E = \frac{V}{d}$

$$\text{яғни } d = \frac{V}{E} = \frac{1.25 \times 10^3}{50 \times 10^6} = 0.025 \text{ мм}$$

$$(b) \text{ Сыйымдылық: } C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r S}{d}$$

олай болса, ауданы

$$S = \frac{Cd}{\varepsilon_0 \varepsilon_r} = \frac{0.2 \times 10^{-6} \times 0.025 \times 10^{-3}}{8.85 \times 10^{-12} \times 6} = 0.0941 \text{ м}^2 \text{ немесе } 941.6 \text{ см}^2$$

6.11 Конденсаторда жинақталған энергия

W -конденсаторда жинақталған энергия:

$$W = \frac{1}{2} CV^2 \text{ Дж}$$

16-есеп. (a) Заряды 400 В , сыйымдылығы 3 мкФ конденсатор үшін жинақталған энергияны (қорлану энергиясы) табу қажет. (b) 10 мксек ішінде жұмсалған энергия үшін орташа қуатты табыңыз.

(a) Жинақтау энергиясы:

$$W = \frac{1}{2} CV^2$$

$$(b) \text{ Орташа қуат} = \frac{\text{энергия}}{\text{уакыт}} = \frac{0.24}{10 \times 10^{-6}} \text{ Вт} = 24 \text{ кВт}$$

17-есеп. Сыйымдылығы 12 мкФ конденсатор 4 Дж энергия қорын сақтай алады. Конденсатор зарядтала алатындай потенциалдар айырымын табыңыз.

$$\text{Жинақталу энергиясы: } W = \frac{1}{2} CV^2,$$

$$\text{осыдан: } V^2 = \frac{2W}{C}.$$

сонда потенциал айырымы:

$$V = \sqrt{\frac{2W}{C}} = \sqrt{\frac{2 \times 4}{12 \times 10^{-6}}} = \sqrt{\frac{2 \times 10^6}{3}} = 816.5 \text{ В}$$

18-есеп. Конденсатордың заряды 10 мКл , жинақталу энергиясы 1.2 Дж . Табу керек (а) кернеуді, (б) сыйымдылықты.

Жинақтау энергиясы: $V^2 = \frac{2W}{C}$ және $C = Q / V$

Осыдан $V = \frac{2W}{Q}$ сонда $C = 10 \text{ мКл} = 10 \times 10^{-3} \text{ Кл}$.

$W = 1.21 \text{ Дж}$

(а) Кернеу $V = \frac{2W}{Q} = \frac{2 \times 1.2}{10 \times 10^{-3}} = 0.24 \text{ кВ}$ немесе 240 В .

(б) Сыйымдылық: $C = \frac{Q}{V} = \frac{10 \times 10^6}{240 \times 10^3} = 41.67 \text{ мкФ}$

Келесі жаттығуларды орындаңыздар.

30-жаттығу Конденсатордағы жинақталған энергияға арналған қосымша есептер

$$(\varepsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \text{ Ф / м})$$

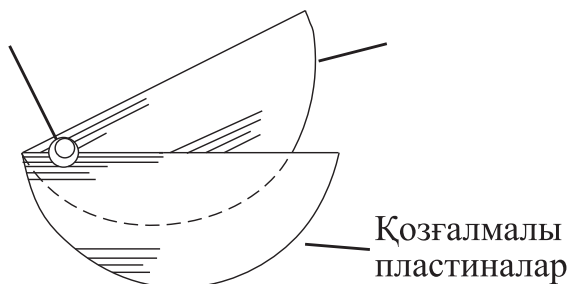
1. Конденсатор 200 В кернеу көзіне жалғанған, оның заряды 4 мкКл . Табу керек: (а) сыйымдылығын, (б) қорлану энергиясын.

$$[(a) 0.02 \text{ мкФ} (b) 0.4 \text{ мДж}]$$

2. Конденсатор сыйымдылығы 10 мкФ , заряды 2 кВ , қорлану энергиясын табыңыз.

$$[20 \text{ Дж}]$$

3. Конденсатордың сыйымдылығы 3300 пикофарада, ол 0.5 мДж энергияны сақтай алады. Табу керек: конденсаторды зарядтау үшін қажетті потенциалдар айырымын.



6.14-сурет

[550В]

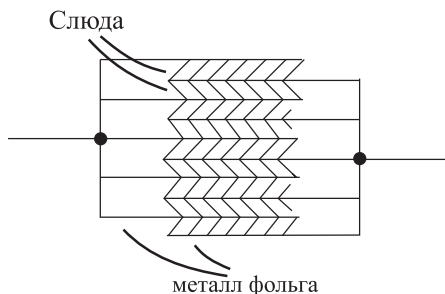
4. Конденсатордың заряды 8 мКл . Жинақталу энергиясы 0.4 Дж . Табу керек (а) кернеуді, (б) сыйымдылықты.

[(а) 100 В (б) 80 мкФ]

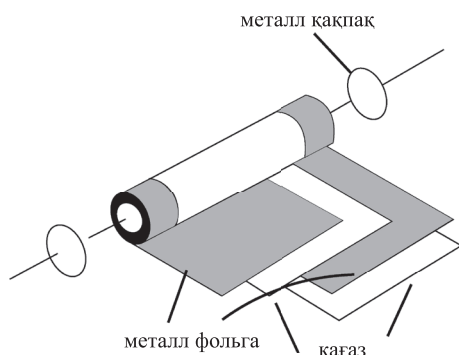
5. Конденсатор екі металл пластинадан тұрады, әрқайсысының ауданы 50 см^2 арасындағы ауа қашықтығы 0.2 мм . Ол 120 В кернеу көзіне жалғанған. Есептеу керек: (а) жинақтау энергиясын, (б) электрлік ағынның тығыздығын, (с) потенциал градиентін.

[(а) 1.593 мкДж (б) $5.31 \text{ мкКл} / \text{м}^2$ (с) $600 \text{ кВ} / \text{м}$]

6. Конденсатор сыйымдылығы 0.04 мкФ және тұрақты максималды жұмыс потенциалы 1 кВ болатындай етіп құралған қауіпсіз кернеу өрісінің мәні $25 \text{ МВ} / \text{м}$ болу үшін: (а) қажетті бакелиттің қалыңдығын, (б) бакелиттің диэлектр-



6.15-сурет



6.16-сурет

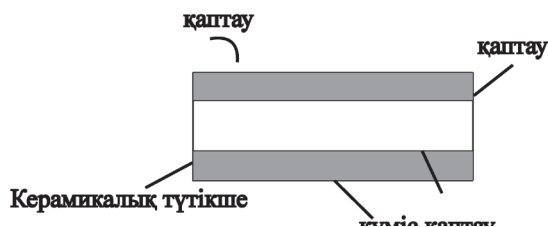
лік беріктілігі 5 деп, қажетті пластина ауданын, (с) конденсатордың максималды энергия қорын, (е) 20 мксек ішінде жұмсалатын энергияға сай орташа қуатты табу керек.

[(a) 0.04 мм (b) 361.6 см² (c) 0.02 Дж (e) 1 кВт]

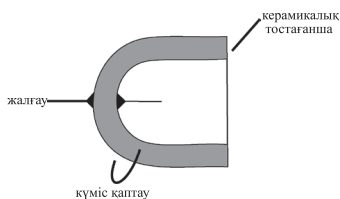
6.12. Конденсаторлардың түрлері

Конденсатордағы диэлектрліктің материалына байланысты олар әртүрлі сипатталады. Негізгі түрлеріне: ауа, слюда, қағаз, қыш табақтар, пластиктер, титанның тотығы мен электролиттер жатады.

1. Айнымалы ауа конденсаторы. Әдетте, металл пластинкаларының екі жиынтықтарынан тұрады, (мысалы алюминий), біреуі тұрақты, екіншісі айнымалы. 6.14-суреттің бүйір шетінде жылжымалы пластиналар жиынтығы өс арқылы ай-



6.17-сурет

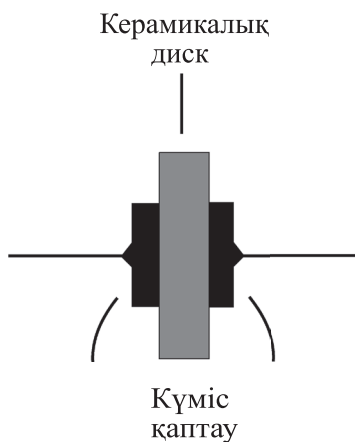


6.18-сурет

налады. Қозғалатын пластинаны жартысына дейін айналдырса, сыйымдылық өзінің минимум шамасынан максимумге дейін өзгеріп, түрленеді.

Радио мен электроника сызба салаларында өте төмен шығындар қажет болғанда немесе айнымалы сыйымдылық қажет болғанда айнымалы ауа конденсаторлары қолданылады. Мұндай конденсатордың максимал сыйымдылықтары 500 нФ , 1000 нФ және басқа мәндері осы екі шаманың арасында жатады.

2. Слюда конденсаторы. Осы конденсатордың ең ескі түрі 6.15-суретте келтірілген. Әдетте, конденсатор балауызбен сіңірілген және бакелиттен жасалған жәшікке қондырылады. Слюдадан оңай өте жұқа пластиналарды алуға болатындықтан, олар жақсы изолятор (оқшаулағыштар) бола алады. Алайда слю-



6.19-сурет

да қымбат материал. Сондықтан сыйымдылықтары 0.2 мкФ -дан жоғары мөндер қажет болғанда ғана осындай конденсаторлар пайдалынады.

Слюда конденсаторлардың орнына слюда тәріздес күмістелген конденсаторлар алынады. Слюда тәріздес пластина өзінің қос жағымен күмістің өте жұқа қабатымен қапталып, пластина пішінін жасайды. Сыйымдылық тұрақты шама және ол уақытқа тәуелді өзгермейді. Температураның өзгеруіне қарамастан мұндай конденсаторлардың көлемі тұрақты, номиналды кернеу мәні өте жоғары, ұзақ мерзімде қызмет жасай алады, сыйымдылығы 1000 нФ дейін бекітілген мағыналарын жоғары жиілікті тізбектерде пайдаланылады.

3. Қағаз конденсаторы. *6.16-суретте* қағаз конденсаторы келтірілген.

Мұндағы орамның ұзындығы талап етілетін сыйымдылыққа сәйкес. Конденсатор маймен немесе балауызбен тұтас сіңірілген, дымқылықты жолатпау үшін соңынан пластина немесе алюминийден жасалған контейнерге оны сақтық үшін орнатады. Қағаз конденсаторы үшін қолданылатын жұмыс кернеулер 150 В дейін дайындалады және мұндай конденсаторлар шығынның маңызы жоқ жерлерде қолданылады. Конденсаторлардың сыйымдылықтарының ең максималды мөндері 500 нФ мен 10 мкФ аралығында жатады. Қағаз конденсаторларының кемшілігі: температураға байланысты оның көлемінің өзгеруі; басқа конденсаторлармен салыстырғанда қызмет ету мерзімінің өте қысқалығы.

4. Керамикалық конденсатор (қыш). Олардың керекті сыйымдылықтың шамасына сай түрлері мен пішіндері алуан түрлі болып келеді.

Жоғары мәнді сыйымдылыққа пайдалынатын керамикалық конденсатор үшін түтікшенің көлденең қимасы *6.17-суретте* келтірілген. Сыйымдылықтың кіші шамалары үшін *6.18-суретте* конденсатордың тостағанша конструкциясы көрсетілген.

Ал шамалары өте кішкентай сыйымдылықтар үшін конденсатордың диск тәріздес конструкциясы *6.19-суретте* келтірілген. Кейбір керамикалық материалдың диэлектрлік өтімділігі өте жоғары, сондықтан сыйымдылық көлемі өте жоғары конденсаторларды істеуге мүмкіншілік туады.

Ондай конденсаторлардың мөлшері үлкен емес, сондықтан көп орын алмайды және жұмысшы кернеуі өте үлкен. Керамикалық конденсатор 1 нФ -дан 0.1 мкФ аралық диапозонында және кең температура диапозонында жоғары жиілікті электрондық тізбектерде қолданылады.

5. Пластикалық конденсатор. Полистирол, тефлон сияқты кейбір пластикалық материалдар диэлектрик түрінде қолдануы мүмкін. Мұндай конденсатордың конструкциясы қағаз конденсаторына ұқсас, айырмашылығы қағаздың орнына пластикалық материалдың қолдануында. *6.18, 6.19-суреттерде* келтірілген пластикалық конденсаторлар жоғары температурада өте жақсы жұмыс істей алады. Пластиктен жасалған конденсаторлар өте ұзақ уақыт қызмет етіп, дәл мәнді сыйымдылықты қамтамасыз етеді. Және оның сенімділігі жоғары.

5. Титан тотығынан жасалған конденсатордың сыйымдылығы өте жоғары, физикалық мөлшері шағын, төмен температураларда жұмыс істей алады.

6. Электрлиттік конденсатордың конструкциясы қағаздан жасалған конденсаторға ұқсас, пластина ретінде алюминий фольгасы алынады, электрлитпен (аммонидің бораты) сіңірілген қағаз сияқты өте қалың адсорбент материалы пластиналармен оқшауландырылған. Дайын конденсатор алюминийден жасалған контейнерге салынып, мөр басылады. Конденсатордың жұмысы алюминий тотығы арқылы өте жұқа қабаттың түзілу қабілетіне байланысты. Осы жұқа қабат оң пластинаға жабылады, электрлиттік әсері тұрақты потенциал пластина арқылы да сақталады. Тотықтың қабаты өте нәзік, жұқа диэлектрикті құрайды (пластина арасындағы өткізгіштер қағаз сүзгіш рөлін

атқарады). Мұндай конденсатор әрқашан тұрақты тоқты пайдаланып, тізбекке жалғанғанда дұрыс полярлықты еске алып, полюсі сақталуы тиісті, әйтпесе тотық қабаты жойылуы мүмкін. Егер бұл шарт орындалмаса конденсатор сынып, жұмыстан шығып қалуы мүмкін. Конденсатордың жұмыс кернеуі $6\text{ В} - 600\text{ В}$ аралық диапазонын қамтиды. Электролиттік конденсаторлар зауытта жасалады, олардың дәлділіктері онша жоғары емес. Бұл конденсатордың сыйымдылығы басқа осындай мөлшерлі конденсатормен салыстырғанда тотық қабаты өте жұқа бірнеше микронға ие болғандықтан әлдеқайда жоғары. Олар тек тұрақты ток көзі арқылы жұмыс істей алады. Электролиттік конденсаторларды қолданудың қолайсыз жері, яғни жарамдылығына шек қою, олардың тек тұрақты ток көзі арқылы ғана жұмыс істей алынуында.

6.13. Конденсаторларды зарядсыздандыру

Конденсатор ток көзінен өшіріліп тасталынса да әрі қарай зарядталуды жалғастыра береді және осы зарядты көпке дейін елеулі уақыт арасында сақтай алады. Сондықтан сақтану шарасы үшін конденсатор қоректену көзінен сөндірілгеннен кейін автоматты түрде зарядсыздануы керек. Конденсаторға жоғары мәнді резисторларды қосқан кезде осындай мәселе шешіледі.

Келесі жаттығуларды орындаңыздар.

31-жаттығу. Конденсатор мен сыйымдылыққа арналған қысқаша сұрақтар

1. Конденсатор деген не?
2. Конденсаторды қолданатын жерлерді атаңыздар.
3. Электрстатика деген терминге түсінік.
4. Сөйлемдерді толтырыңыздар: Біртектес зарядтар ... әртектес зарядтар ...

5. Екі параллель металл пластиналар арасында электр өрісі қалай орнығады.
6. Сыйымдылық деген не?
7. Сыйымдылықтың өлшем бірлігі.
8. Өрнекті аяқтаңыздар: сыйымдылық ...
9. Өрнекті аяқтаңыздар (а) 1 мкФ ...
10. Өрнекті аяқтаңыздар: электр өрісінің кернеулігі ...
11. Өрнекті аяқтаңыздар: ...
12. Электр сызбасында конденсатордың символынсалыңыз.
13. Сыйымдылық болғанымен оның пайдасыз екенін білдіретін екі мысал келтіріңіздер.
14. Конденсатор ішіндегі пластиналарды бөліп тұратын материал қалай деп аталады?
15. Конденсатор 10 В кернеу көзіне қосылған, сонда оның заряды 5 Кл . Конденсатордың сыйымдылығы қандай?
16. Сыйымдылықтары 3 мкФ үш конденсатор параллель қосылған. Эквивалентті сыйымдылығын табыңыз.
17. Сыйымдылықтары 3 мкФ үш конденсатор тізбектей қосылған. Эквивалентті сыйымдылығын табыңыз.
18. Тізбектей қосылған конденсатордың кемшілігін келтіріңіздер.
19. Сыйымдылық қандай үш факторға тәуелді?
20. Салыстырмалы диэлектрик өтімділігі нені білдіреді?
21. Вакуумның диэлектрлік өтімділігі нені анықтайды?
22. Диэлектрлік беріктілік деген не?
23. Конденсатордың жинақталу энергиясы деген не?
24. Әдетте, конденсаторды қолданатын 5 жерді атаңыздар.
25. Қағаз конденсатор түрінің сызбасын салыңыз.
26. Айнымалы ауа конденсаторының құрылысын қысқаша түсіндіріңіз.
27. Слюда конденсаторының үш артықшылығы мен бір кемшілігін атаңыз.
28. Қағаз конденсаторының екі кемшілігін атаңыз.

29. Қыштан жасалған конденсатордың негізгі артықшылы қандай?
30. Пластикадан жасалған конденсатордың негізгі артықшылығы қандай?
31. Электролиттік конденсатордың құрылысын қысқаша келтіріңіз.
32. Электролиттік конденсатордың негізгі артықшылығы?
33. Электролиттік конденсатордың маңызды артықшылығын келтіріңіз.
34. Конденсаторды қоректендіру көзінен ажыратқанда қандай қауіпсіздік шараларын қолдану керек?

32-жаттығу. Конденсатор мен сыйымдылық (жауаптары кітаптың соңында)

1. Электростатика электр энергиясының қандай бөлігімен байланысқан:
 - а) өткізгіштердің арасындағы саңлаудан өтетін энергиямен
 - ә) тыныштықтағы зарядпен
 - б) қозғалыстағы зарядпен
 - в) заряд түріндегі энергиямен
2. Конденсатордың сыйымдылығы қандай қатынаспен анықталады?
 - а) зарядтың пластина арасындағы потенциалдар айырымымен
 - ә) потенциалдар айырымының пластина арасындағы арақашықтығымен
 - б) пластина аралығындағы потенциалдар айырымымен
 - в) пластина арасындағы потенциалдар айырымының зарядқа қатынасымен
3. Сыйымдылығы 10 мкФ конденсаторды 10 мкКл -ға дейін зарядтау үшін конденсатордың потенциалдар айырымы қандай болуы керек:
 - (а) 10 В

- (b) 1 кВ
(c) 1 В
(d) 10 кВ
4. Сыйымдылық 10 мкФ конденсатордың 10 кВ кернеу көзіне қосқанда заряды қандай?
(a) 100 мкКл
(b) 0.1 Кл
(c) 0.1 мкКл
(d) 0.01 мкКл
5. Сыйымдылығы 2 мкФ төрт конденсатор параллель қосылған. Эквивалентті сыйымдылықты табыңыз.
(a) 8 мкФ
(b) 0.5 мкФ
(c) 2 мкФ
(d) 6 мкФ
6. Сыйымдылығы 2 мкФ төрт конденсатор тізбектей қосылған. Эквивалентті сыйымдылықты табыңыз.
(a) 8 мкФ
(b) 0.5 мкФ
(c) 2 мкФ
(d) 6 мкФ
7. Келесі тұжырымның қайсысы дұрыс емес?
(a) пластинаның көлденең қимасының ауданына пропорционал
(b) пластина арасындағы арақашықтыққа пропорционал
(c) пластиналар санына тәуелді
(d) диэлектриктің диэлектриктік өтімділігіне пропорционал
8. Келесі тұжырымның қайсысы дұрыс?
(a) ауа конденсаторы конденсатордың айнымалы түріне жатады
(b) қағаз конденсаторының пайдалану мерзімі басқа конденсаторлардың түрлерімен салыстырғанда аз

- (с) электролиттік конденсатор тек айнымалы ток көзінен қоректенуі керек
- (d) пластикалық конденсатор әдетте жоғары температурада жұмыс істей алады
9. 500 В зарядталған сыйымдылығы 10 мкФ конденсаторының қорлану энергиясы тең:
- (a) 1.25 мДж
- (b) 0.025 мкДж
- (с) 1.25 Дж
- (d) 1.25 Кл
10. Айнымалы ауа конденсатордың сыйымдылығы максималды болу үшін қандай жағдай қажет:
- (a) бекітілген пластиналардың жартысын қозғалмалы пластиналар жабады
- (b) қозғалмалы пластиналар бекітілген пластиналардан алыстан бөлектенген
- (с) екі пластиналар да іліктірілген
- (d) қозғалмалы пластиналар басқалармен салыстырғанда бекітілген пластинаның бір жағына қарай жақынырақ орналасқан
11. Конденсаторға 1 кВ кернеу берілгенде конденсатордың заряды 500 нКл . Сонда конденсатордың сыйымдылығы қандай?
- (a) $2 \times 10^9\text{ Ф}$
- (b) 0.5 нФ
- (с) 0.5 мФ
- (d) 0.5 нФ

7-тарау

Магнит тізбектері

Тараудың соңында меңгеретін сұрақтар тізімі:

- Магниттердің кейбір қолданатын жерлері.
- Тұрақты магнит айналасындағы магнит өрісін сипаттау.
- Жақын жатқан екі магниттің бір-бірінен тебіну және тартылыс күштерінің заңын тұжырымдау.
- Φ магниттік ағынның анықтамасы, B магниттік индукциясы, олардың өлшем бірліктері.
- $B = \Phi/A$ формуланы есептей білу.
- F_m магниттік қозғаушы күшті, H - магниттік өрістің кернеулігін, олардың өлшем бірліктері.
- $F_m = NI$, NI / l формулаларын есептей білу.
- Өтімділік туралы түсінік, μ , μ_0 мен μ_r айырмашылықтары.
- Өртүрлі магниттік материалдар үшін В-Н қисығын түсіну.
- μ_r мағынасын бағалау.
- $B = \mu_0 \mu_r H$ өрнекпен есептеулерді жүргізе білу.
- Магниттік кедергі - S түсінігі, оның өлшем бірлігі.
- $S = \frac{m.k.k.}{\Phi} = \frac{l}{\mu_0 \mu_r A}$ формуласымен есептеулерді жүргізе білу.
- Өртүрлі магнит тізбегіне есептеулер жасау.
- Магниттік және электрлік шамаларды салыстыру.

- Гистерезис тұзағы қалай пайда болады, гистерезистегі шығындар оның ауданына тура пропорционал.

7.1 Магнетизм мен магниттік тізбекке кіріспе

XIII ғасырдан бастап көрнекті ғалымдар магнетизм құбылысын зерттей бастады. Виллиям Гильберт, Ганс Христиан Эрстед, Майкл Фарадей, Джеймс Максвелл, Андре Ампер, Вильгелм Вебер сияқты әйгілі ғалымдар көптеген тәжірибелер жасап, магнетизм теориясын қалыптастырды. Ал магнетизммен электрдің арасындағы байланыс негізгі магнетизмнің түсініктерімен салыстырғанда жақында ғана анықталды. Бүгінгі күні магнетизмді қолданатын жер өте көп. Мысалы, олар қозғалтқыштарда, генераторларда, реледе, дауысқатайтқыштарда, телефондар мен компьютерлерде, қатты дискілерде, тежеуіш (тормоз) жүйесін блоктайтын құрылымдарда, балық аулайтын орауыштарда, электрондық от алу жүйесінде, пернетақшада, теледидар және радио компоненттерінде және басқа жабдықтарда пайдаланылады.

Магниттің толық теориясы ең күрделі мәселелердің бірі болып табылады. Магнит құбылысына осы бөлімде кіріспе жасалынады.

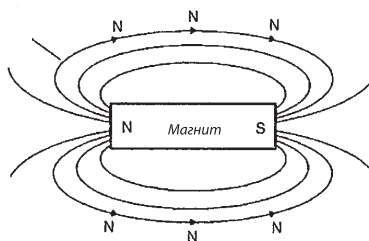
7.2. Магнит өрісі

Ферромагниттік материалдың кесегі тұрақты магнит (темір, никель), ол басқа материалдарды өзіне тарта алатын қасиеттерімен сипатталады. Еркін ілінген тұрақты магнит өзінің оңтүстік S және солтүстік N бағыттарымен анықталады. Солтүстікті іздейтін жағы магниттің *солтүстік полюсі* деп, ал оңтүстікті іздейтін жағы *оңтүстік полюс* деп аталады.

Магниттің айналасындағы аймақ **магнит өрісі** деп аталады. Міне тура осы күштен тап осы аймақта магнитті тудыратын **магнит күшінің** әсері (әффектісі) болады. Осылайша магнит арқылы туатын магниттік күштің әсері белгілі-бір аймақта пайда болады.

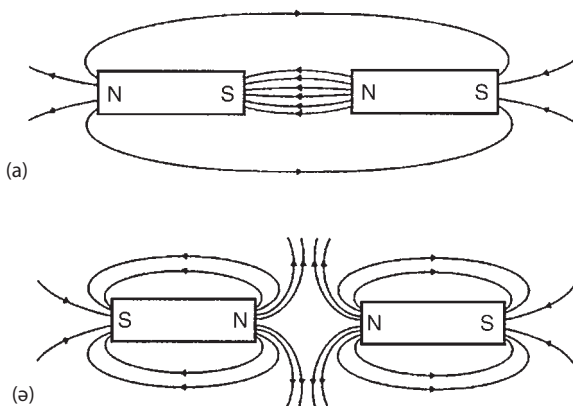
Магнит өрісін көруге де, сезуге де, естуге де болмайды. Сондықтан оны елестету қиын. М. Фарадей магнит өрісін график түрінде келтіріп, оны **магнит ағынының сызықтарынан** тұрады деп болжаған және өрістің таралуымен **тығыздылығын** анықтауға график түрі мүмкіндік берген. Магнит өрісінің таралуын темір үгіндісін пайдалану арқылы зерттеуге болады. Магнит өзегі жазық бетке орналастырылған, осы бет картонмен жабылған, ал картонның үстінде темір үгіндісі шашылған. Егер картонды ақырын ғана сілкіп жіберсе, онда *7.1-суреттегі* көріністі аңғаруға болады. Магниттің магниттік күші әртүрлі және неғұрлым өріс күшті болса, соғұрлым магнит ағындарының сызықтары өзекке жақындау және керісінше. Сонымен магнит өрісінің күшін және одан туатын қасиеттерді темір үгіндісінің қозғалысымен сипаттауға болады. Магнит өрісінің кернеулігі магнит өзегінен алыстаған сайын азая түседі. Өзінің әрекетіне сай магнит өрісі үш өлшемді, алайда, біздің тәжірибемізде оның қасиеттері тек жазықтық үстінде ғана сипатталды.

Егер магнит өрісінің ішіне компасты әртүрлі позицияда орналастырсақ күш сызықтарының бағыты компас (құбылнама,



7.1-сурет

тұсбағдар) көрсеткішінің бағытымен белгіленеді. Магнит өрісіндегі кез келген нүктенің бағытын компастың солтүстікті көрсететін ұшымен анықтауға болады. Ағын сызықтарының бағыты солтүстік полюстен оңтүстікке қарай магниттің сыртқы бетімен және керісінше, магнит арқылы солтүстік полюсті көрсетіп нүктеге қарай ағады. Ағынның мұндай күш сызықтары еш уақытта қиылыспайтындықтан әрдайым толық тұйықталған тұзақтарды құрастыра алмайтыны және белгілі-бір бағытқа ие бола алатыны анықталған. Магниттік тебіліс пен тартылыс заңдарын екі өзекті магниттер арқылы көрсетуге болады. *7.2-суретте* полюстермен жапсарлас тартылыс күштері көрініп тұр, олардың ағын сызықтары қысқартылып, магнит оларды біріктіріп жинап алғысы келетіні айқын. Ағынның сызықтары бір-біріне өте жақын орналасуымен сипатталған ең күшті магнит өрісі екі магниттің тура ортасында орналасқан, оны *7.2 (a)-суреттен* көруге болады. *7.2 (b)-суретте* біртектес көршілес полюстер бір-бірінен тебінеді, мысалы, екі солтүстік полюстер, сонымен екі бірдей полюстер бір-бірінен тебінетін себебі: бірдей магнит ағындарының сызықтары кездескенде олар өзара бір бағытта болғандықтан тебінеді.



7.2-сурет

7.3 Магнит ағындары мен оның тығыздығы

Магнит өрісі көзінен шығатын магнит ағыны магнит өрістерінен тұрады (немесе күш сызықтарының санынан). Магнит ағынының белгісі - Φ (грек тілінде фи). Магнит ағынының өлшем бірлігі: вебер, Вб.

Магнит индукциясы дегеніміз – ағын мөлшерінің оның бағытына перпендикуляр белгілі бір ауданнан өтуі

$$\text{Магнит индукциясы} = \frac{\text{магнит ағыны}}{\text{аудан}}$$

Магнит индукциясының белгісі B оның өлшем бірлігі тесла-Тл.
 $1 \text{ Тл} = 1 \text{ Вб}/\text{м}^2$, олай болса,

$$B = \frac{\Phi}{S} \text{ Тл}$$

мұндағы, S (м^2) – аудан.

1-есеп. Магниттік полюстің беті төртбұрышты, оның көлденең қимасының өлшемдері: 200 мм және 100 мм. Егер полюстен шығатын жалпы магнит ағын 150 мкВб болса, магниттік индукция қандай?

$$\text{Магнит ағыны } \Phi = 150 \text{ мкВб} = 150 \times 10^{-6} \text{ Вб}$$

$$S = 200 \times 100 = 20000 \text{ мм}^2 = 20000 \times 10^{-6} \text{ м}^2.$$

Магнит индукциясы:

$$B = \frac{\Phi}{S} = \frac{150 \times 10^{-6}}{20000 \times 10^{-6}} = 0.0075 \text{ Тл} = 7.5 \text{ мТл}$$

2-есеп. Көтергіш электрмагниттің максималды магниттік жұмысшы индукциясы 1.8 Тл, ал әсер ететін полюс ұшының ауданы дөңгелек қимамен сипатталады.

Егер жалпы магнит ағынының мөлшері 353 мВб болса, полюс ұшының радиусы қандай болғаны? Магниттік индукция: $B = 1.8 \text{ Тл}$ және:

$$\Phi = 353 \text{ мВб} = 353 \times 10^{-3} \text{ Вб}.$$

$B = \Phi/S$ формуласынан қиманың ауданы шығады: $S = \Phi/B$ олай болса,

$$S = \frac{353 \times 10^{-3}}{1.8} \text{ м}^2 = 0.1961 \text{ м}^2,$$

Полюстың беті дөңгелек, олай болса, ауданы πr^2 , сонда r - оның радиусы, осыдан: $r^2 = 0.1961 / \pi$

$$\text{және } r = \sqrt{(0.1961 / \pi)} = 0.250 \text{ м} = 250 \text{ мм}.$$

7.4 Магниттік қозғаушы күш пен магниттік өрістің кернеулігі

Магниттік қозғаушы күш (м.қ.к.) – магнит тізбегінде магнит ағынының себебі болып табылады.

$$\text{м.қ.к.}, F_m = NI \text{ А},$$

мұндағы, N – оралған өткізгіштер саны (орам саны); I – ток; м.қ.к. өлшем бірлігі кейде ампер-оралым деп өрнектеледі. Алайда, орамның өлшемі болмағандықтан, м.қ.к. – нің өлшем бірлігі ампер болып қала береді.

Магнит өрісінің кернеулігі (магниттелу күші):

$$H = \frac{NI}{l} \text{ А / м}.$$

Ұзындығы l - метрмен алынған магнит ағынының орташа ұзындығы. Сондықтан, м.қ.к. = $NI = Hl \text{ А}$

3-есеп. Магниттелген күш 8000 А / м дөңгелек магнит тізбегіне түсірілген, оның диаметрі 30 см . Сызбада көрсетілгендей орама арқылы ток өтеді. Егер контурмен орамды біркелкі ораса, онда шумақтың саны 750 -ге жетеді. Олай болса, орамдағы токты табыңыз.

$$H = 8000 \text{ А/м}, \quad l = \pi d = \pi \times 30 \times 10^{-2} \text{ м}$$

және шумақ саны: $N = 750$

$$\text{Сонда: } I = \frac{Hl}{N} = \frac{8000 \times \pi \times 30 \times 10^{-2}}{750} = 10.05 \text{ А}$$

Яғни ток күші: $I = 10.05 \text{ А}$

Келесі жаттығуды орындаңыздар.

33- жаттығу. Магнит тізбегіне арналған қосымша есептер

1. Магнит өрісіндегі 30 мкВб ағынның көлденең қимасының ауданы 20 см^2 осы ағынның тығыздылығы қандай?
[1.5 Тл]
2. Магниттік индукция 0.9 Тл , магниттік полюс бетінің мөлшері 5 см , осы полюстен шығып жатқан толық магнит ағынын есептеңіздер.
[2.7 мВб]
3. Электрмагнитті көтергіштің максималды жұмыс индукциясы 1.9 Тл . Осы магнит полюс әсер ететін ауданның көлденең қимасы дөңгелек, егер толық магнит ағыны 611 мВб болса, полюс ұшының радиусы қандай?
[32 см]
4. 5 А ток 1000 шумақты орам арқылы өтеді, ораған сымның радиусы 120 мм . Есептеу керек: (а) м.қ.к-н., (б) магнит өрісінің кернеулігін.

$$[(a) 5000 \text{ А} \quad (b) 6631 \text{ А / м}]$$

5. Электрмагниттің көлденең қимасының ауданы 0.45 Тл индукцияны тудырады. Магнит ағыны 720 мкВб , сонда оған сәйкес электрмагнит ағынының көлденең қимасын қандай?
[4 см×4 см]
6. Ұзындығы 50 см орамның 400 шумағы бар, егер оны магнит тізбегіне қосса, онда онан 1.2 А ток өтеді. Магнит өрісінің кернеулігін табыңыз.
[960 А / м]
7. Ұзындығы 20 см соленоидқа (электрмагнитке) 500 шумақ сым оралған. 2500 А / м магниттену күшін соленоид ішінде тудыру үшін қанша ток қажет?
[1 А]
8. Диаметрі 250 мм дөңгелек магнитті тізбекке 5000 А / м магнит өрісінің күші әсер етеді, сонда 500 шумағы бар орамнан қанша ток өтеді?
[7.85 А]

7.5. Өтімділік B/H пен магниттеу қисығы

Ауа мен кез келген магнит емес ортада магнит индукциясының магниттену күшіне қатынасы тұрақты шама (a): яғни $B / H = a$. Бұл тұрақтыны μ_0 вакуумның өтімділігі (немесе магниттік кеңістіктің тұрақтысы) деп атайды және ол ауа мен кез келген магнит емес орта үшін $4\pi \times 10^{-7} \text{ Н/м}$ шамасына эквивалентті.

$$\frac{B}{H} = \mu_0$$

Алайда кез келген магниттік емес орта, тіпті, ауаның өзі қалайда болса, магниттік қасиетпен сипатталады, бірақ бұл шама өте аз болғандықтан, оны елемеуге болады.

Бос кеңістік пен вакуумнан басқа барлық орта үшін:

$$\frac{B}{H} = \mu_0 \mu_r,$$

Мұндағы, μ_r - салыстырмалы өтімділік және ол магниттік индукциялардың қатынасы болғандықтан, оның өлшем бірлігі жоқ:

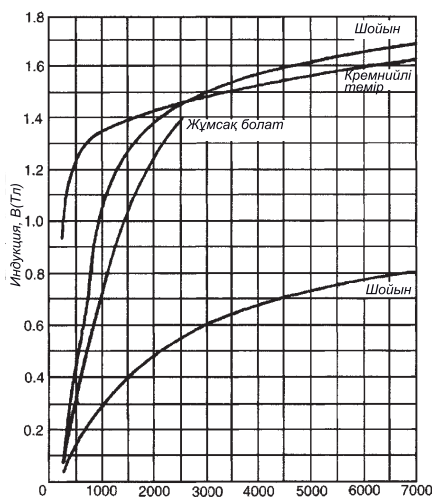
$\mu_r = \text{материалдағы магниттік индукция/вакуумдегі магниттік индукция}$

Вакуумда өзінің анықтамасы бойынша μ_r 1-ге тең.

$\mu_0 \mu_r$ - көбейтіндісі **абсолюттік өтімділік** деп аталады. Ол магниттік материалдың түріне тәуелді.

B магниттік индукциямен H магнит өрісінің кернеулігін өлшеу арқылы олардың арасындағы тәуелділікті магниттелу қисығы арқылы өрнектеуге болады. Магниттік емес материалдар үшін мұндай сұлба тіке сызық түрінде сипатталады. *7.3-суретте* 4 түрлі магниттік материалдар үшін әдеттегі қисықтар келтірілген.

Ферромагниттік материалдардың салыстырмалы өтімділігі $B - H$ қисығының көлбеуіне пропорционал, олай болса өтімділік магнит өрісінің кернеулігіне тәуелді өзгереді. Кейбір жиі кездесетін магнитті материалдар үшін μ_r - магниттің салыстырмалы өтімділігінің мағыналары төменде келтірілген:



7.3-сурет

Шойын	$\mu_r = 100 - 250$
Жұмсақ болат	$\mu_r = 200 - 800$
Кремнийлі темір	$\mu_r = 1000 - 5000$
Құйылған болат	$\mu_r = 300 - 900$
муметал магнитті құйма	$\mu_r = 200 - 5000$
Кремнийлі болат –	$\mu_r = 500 - 6000$

4-есеп. 1.2 Тл – ға тең магнит индукциясы 1250 А / м магниттелу күшімен болат кесекке әсер етеді. Осы шарт бойынша болаттың салыстырмалы өтімділігін табыңыз.

Магниттік материалдар үшін: $B = \mu_0 \mu_r H$

$$\text{Олай болса, } \mu_r = \frac{B}{\mu_0 H} = \frac{1.2}{(4\pi \times 10^{-7})(1250)} = 764 .$$

5-есеп. Ұзындығы 12 мм ауа саңлауында 0.25 Тл индукциясын жасау үшін магнит өрісінің кернеулігі мен м.қ.к. қандай болуы керек?

Ауа үшін: ($\mu_r = 1$) $B = \mu_0 H$

$$\text{Магнит өрісінің кернеулігі: } H = \frac{B}{\mu_0} = \frac{0.25}{4\pi \times 10^{-7}} = 198940 \text{ А/м}$$

$$\text{м.қ.к.: } Hl = 198940 \times 12 \times 10^{-3} = 2387 \text{ А}$$

6-есеп. Магнитті емес материалдан жасалған сақинаға біркелкі 300 шумақ оралған. Сақина дөңгелегінің ұзындығы 40 см, көлденең қимасының ауданы 4 см². Орамдағы ток күші 5 А, (а) магнит өрісінің кернеулігін, (б) магниттік индукцияны, (с) сақинадағы жалпы магнит ағынын есептеңіз.

(а) Магнит өрісінің кернеулігі:

$$H = \frac{NI}{l} = \frac{300 \times 5}{40 \times 10^{-2}} = 3750 \text{ А/м}$$

(b) Магниттік материалдың $\mu_r = 1$, индукциясы: $B = \mu_0 H$,

$$\text{Сонда: } B = 4\pi \times 10^{-7} \times 3750 = 4.712 \text{ мТл}$$

(c) Сақинадағы жалпы магнит ағыны:

$$\Phi = BA = (4.712 \times 10^{-3})(4 \times 10^{-4}) = 1.885 \text{ мкВб.}$$

7-есеп. Диаметрі 10 см темір сақина біртекті 2000 шумақ сыммен оралған. Орам арқылы 0.25 А ток өтеді. Темір сақинаға 0.4 Тл магниттік индукция әсер етеді. Табыңыздар: (a) м.қ.к., (b) μ_r - темірдің салыстырмалы магниттік өтімділігін.

$$(a) H = \frac{NI}{l} = \frac{2000 \times 0.25}{\pi \times 10 \times 10^{-2}} = 1592 \text{ А / м.}$$

$$(b) B = \mu_0 \mu_r H,$$

$$\text{олай болса, } \mu_r = \frac{B}{\mu_0 H} = \frac{0.4}{(4\pi \times 10^{-7})(1592)} = 200$$

8-есеп. Шойыннан жасалған біртекті сақинаның көлденең қимасының ауданы 10 см² және дөңгелектің ұзындығы 20 см. Сақинада 0.3 мВб магнит ағыны туу үшін қанша м.қ.к. қажет. Шойын үшін магниттену қисығы келтірілген.

$$S = 10 \text{ см}^2 = 10 \times 10^{-4} \text{ м}^2, l = 20 \text{ см} = 0.2 \text{ м } \Phi = 0.3 \times 10^{-3} \text{ Вб}$$

$$\text{Магниттік индукция: } B = \frac{\Phi}{S} = \frac{0.3 \times 10^{-3}}{10 \times 10^{-4}} = 0.3 \text{ Тл}$$

Егер шойын үшін магниттелу қисығынан алынған $B = 0.3$ Тл, $H = 1000 \text{ А / м}$ болса, сонда м.қ.к. $Hl = 1000 \times 0.2 = 200 \text{ А}$ болады.

Сонымен қатар сызба тәсілін де қолдануға болады, ондай тәсіл 7.1-кестеде көрсетілген.

9-есеп. Магниттеу қисығынан шойын үшін μ_r мен H арасындағы тәуелділікті табуға болады.

$$\mu_r = \frac{B}{\mu_0 H} = \frac{1}{\mu_0} \times \frac{B}{H} = \frac{10^7}{4\pi} \times \frac{B}{H}$$

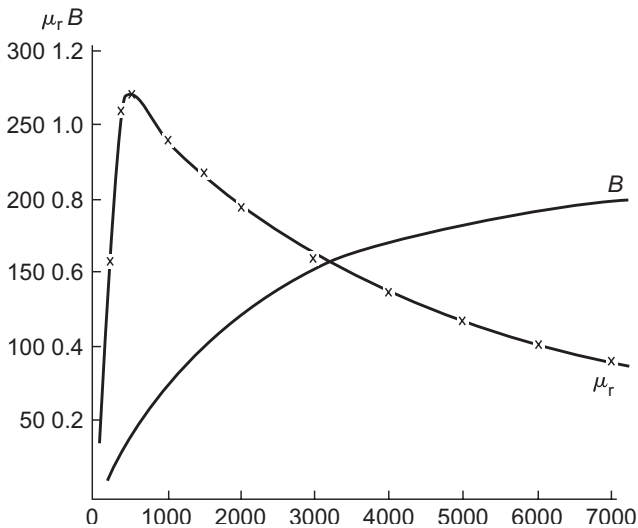
7.2-кестеден $B - H$ арасындағы координат тәуелділіктерінен μ_r -дің мәні әрқайсысына сәйкес есептеледі. 7.4 суретте μ_r мен H арасындағы тәуелділік байланысы келтірілген, магниттелу күші өсуінің салдарынан салыстырмалы өтімділік қисығында өзгеріс бар екені көрінеді.

7.1-кесте

Тізбектің бөлігі	материал	(Вб)	(м2)	Тл	H график-тен алынған	(м)	м.к.к.
сақина	шойын	$0.3 \cdot 10^{-3}$	10×10^{-14}	0.3	1000	0.2	200

7.2-кесте

H (А/м)	B (Тл)	$\mu_r = \frac{10^7}{4\pi} \times \frac{B}{H}$
200	0.04	159
400	0.13	259
500	0.17	271
1000	0.30	239
1500	0.41	218
2000	0.49	195
3000	0.60	159
4000	0.68	135
5000	0.73	116
6000	0.76	101
7000	0.79	90



7.4-сурет

Келесі жаттығуды орындаңыздар.

34-жаттығу. Магнит тізбегіне арналған қосымша есептер

(Қажетті жағдайда $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H / м}$ деп алыңыздар)

- Ұзындығы 15 мм ауа саңлауында 0.33 Тл магнит индукциясын тудыру үшін қажетті магнит өрісінің кернеулігі мен м.қ.к. – н табыңыз,

[[a) 262600 A / м , (b) 3939 A]
- Екі полюс ұштарының арасындағы ауа саңлау енінің ұзындығы 20 мм және осы саңлауындағы магнит ағынының ауданы 5 см^2 . Ауа саңлауына қажетті ағын 0.7 мВб болғандағы м.қ.к. – н табыңыз.

[23870 A]
- (a) Егер соленоидтың ауа саңлауындағы магнит өрісінің біртекті кернеулігі 8000 A / м болса, магнит индукциясын табыңыз. (b) Темірдің салыстырмалы өтімділігі 150-ге тең, магнит өрісінің кернеулігі 8000 A / м (a) соленоидқа бекітілген. Соленоидтағы ағынның тығыздылығын есептеңіз.

$[(a) 10.05 \text{ мТл}, (b) 1.508 \text{ Тл}]$

4. Материалдың салыстырмалы өтімділігін анықтау керек, егер оның абсолютті өтімділігі 4-ке тең болса.

[325]

5. Егер ағынның тығыздығы 1.3 Тл болса және осы ағын 700 А/м магнит өрісін тудырса, онда кремний темір кесегінің салыстырмалы өтімділігі қандай?

[1478]

6. Болат сақинаның диаметрі 120 мм, оған біртекті етіп 1500 сымнан орам жасалған. Орам арқылы 0.3 А ток өткенде, ағынның тығыздылығы 1.5 Тл болатта орнатылады. Осы шарттарда болаттың салыстырмалы өтімділігін табыңыз.

[1000]

7. Құймалы болаттан жасалған біртекті сақинаның көлденең қимасының ауданы 5 см^2 , ұзындығы 15 см. Орамдағы қажетті ток күшін табыңыз, егер оған берілетін ағын 0.8 мВб болса және құймалы болат үшін 80 беттен магниттелу қисығын пайдаланыңыз.

[0.60 А]

8. Жұмсақ болаттан жасалған біртекті сақинаның диаметрі 50 мм көлденең қимасының ауданы 1 см^2 . Сақинада 50 мкВб ағында тұғызу үшін қанша м.қ.к. қажет екенін анықтаңыз. ($B - H$ қисығын пайдаланыңыз).

$[(a) 110 \text{ А}, (b) 0.25 \text{ А}]$

9. Жұмсақ (азкөміртекті) болат үшін 80 беттен магниттену қисығынан, салыстырмалы өтімділік пен магнит өрісі кернеулігінің арасындағы тәуелділікті аламыз. График бойынша табу керек: (а) 1200 А / м магнит өрісі кернеулігіне сай μ_r сан мәнін, (b) μ_r -ің мәні 500 болғанда магнит өрісі кернеулігінің саны мәні қандай?

$[(a) 590 - 600, (b) 2000]$

7.6. Меншікті магниттік кедергі

S_M немесе (R_M) – құрамында магнит ағыны бар магниттік тізбектектің магниттік кедергісі.

$$S_M = \frac{F_M}{\Phi} = \frac{NI}{\Phi} = \frac{HI}{BS} = \frac{l}{(B/H)S} = \frac{l}{\mu_0\mu_r S}$$

Оның өлшем бірлігі $1/H$ (немесе H^{-1}) немесе $A/Bб$. Ферромагнитті материалдың меншікті магниттік кедергілері төмен және сондықтан олар экран жанында материалдар үшін магниттік экран рөлін атқарады алады.

10-есеп. Ұзындығы 150 мм , көлденең қимасының ауданы 1800 мм^2 мюметалл (құрамында хром мен мысы бар темір-никель құймасы) кесегі үшін меншікті магниттік кедергіні табыңыз. Салыстырмалы өтімділігі 4000-ға тең болса, мюметалдың абсолютті өтімділігі қандай?

Меншікті магниттік кедергі:

$$S_M = \frac{l}{\mu_0\mu_r S} = \frac{150 \times 10^{-3}}{(4\pi \times 10^{-7})(4000)(1800 \times 10^{-6})} = 16580\text{ H}^{-1}$$

Абсолюттік өтімділік:

$$\mu = \mu_0\mu_r = (4\pi \times 10^{-7})(4000) = 5.027 \times 10^{-3}\text{ H / м}$$

11-есеп. Жұмсақ болат сақинаның радиусы 50 мм , көлденең қимасының ауданы 400 мм^2 . Орамдағы ток күші 0.5 А , сақина біртекті оралған, сонда туған ағын 0.1 мВб . Осы токқа сәйкес салыстырмалы өтімділік 200-ге тең болғанда (а) жұмсақ болаттың меншікті магниттік кедергісін, (б) орамадағы шумақ санын табыңыз.

(а) Меншікті магнит кедергісі:

$$S_M = \frac{l}{\mu_0 \mu_r S} = \frac{2 \times \pi \times 50 \times 10^{-3}}{(4\pi \times 10^{-7})(200)(400 \times 10^{-6})} = 3.125 \times 10^6 \text{ H}^{-1}$$

$$(b) S_M = \frac{M.K.K.}{\Phi} \text{ м.к.к.} = S_M \Phi \quad NI = S_M \Phi$$

Олай болса, орамдағы шумақтың саны:

$$N = \frac{S_M \Phi}{I} = \frac{3.125 \times 10^6 \times 0.1 \times 10^{-3}}{0.5} = 625$$

Келесі жаттығуды орындаңыздар.

35-жаттығу. Магнит тізбегіне қосымша есептер

(Қажетті жерде келесі жуықтауды алуға болады:

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H / м})$$

1. Магнит тізбегінің бір бөлігі ұзындығы 120 мм болат сымнан жасалған, осы сымның көлденең қимасының ауданы 15 см². Есептеу керек: (а) магниттік кедергіні, (б) болат үшін абсолюттік өтімділікті.

$$[(a) 79580 \text{ H}^{-1} (b) 1 \text{ мН / м}]$$

2. Оқшауланған магнит тізбегіндегі жұмсақ болаттың ұзындығы 75 мм, көлденең қимасының ауданы 320.2 мм². Орам арқылы 40 А ток өтеді, біркелкі оралған орамның магниттік индукциясы 200 мкВб. Егер болаттың салыстырмалы өтімділігі токтың осы шамасы үшін 400 тең болса, табу керек: (а) материалдың магниттік кедергісін, (б) орамдағы шумақ санын.

$$[(a) 466000 \text{ H}^{-1} (b) 233]$$

7.7 Магнитті сызбадағы композитті топтама

Магнитті тізбектердің қатары үшін құрамында n бөліктері бар S_M жалпы меншікті кедергісі келесі өрнекпен анықталады: $S_M = S_1 + S_2 + \dots + S_n$ (бұл резисторлар тізбектей қосылған сызбаларға ұқсас).

12-есеп. Тұйықталған магнит тізбегі құйма болаттың екі түрлі бөлігінен құралған, бір бөлігінің ұзындығы 6 см , көлденең қимасының ауданы 1 см^2 және екінші бөлігінің ұзындығы 2 см , көлденең қимасының ауданы 0.5 см^2 . Орам шумағының саны 200 , ұзындығы 6 см құйма болатпен оралған, одан өтетін токтың ағыны 0.4 А . Салыстырмалы өтімділігін 750 деп алып, құйма болаттың 2 см ұзындығы үшін ток ағынын есептеу керек.

Орамның 6 см бөлігі үшін:

Меншікті магнит кедергісі:

$$S_M = \frac{l_1}{\mu_0 \mu_r S_1} = \frac{6 \times 10^{-2}}{(4\pi \times 10^{-7})(750)(1 \times 10^{-4})} = 6.366 \times 10^5 \text{ H}^{-1}$$

Орамның 2 см бөлігі үшін:

Меншікті магнит кедергісі:

$$S_M = \frac{l_2}{\mu_0 \mu_r S_2} = \frac{2 \times 10^{-2}}{(4\pi \times 10^{-7})(750)(0.5 \times 10^{-4})} = 4.244 \times 10^5 \text{ H}^{-1}.$$

Толық тізбек үшін меншікті магнит кедергісі:

$$S_M = S_1 + S_2 = (6.366 + 4.244) \times 10^5 \text{ H}^{-1} = 10.61 \times 10^5 \text{ H}^{-1}$$

$$S_M = \frac{\text{м.к.к.}}{\Phi} \quad \text{м.к.к.} = S_M \Phi$$

$$\Phi = \frac{\text{м.к.к.}}{S_M} = \frac{NI}{S_M} = \frac{200 \times 0.4}{10.61 \times 10^5} = 7.54 \times 10^{-5} \text{ Вб}$$

2 см ұзындық үшін магниттік индукция:

$$B = \frac{\Phi}{S} = \frac{7.54 \times 10^{-5}}{0.5 \times 10^{-4}} = 1.51 \text{ Тл}$$

13-есеп. Кремнийлі темір сақинаның көлденең қимасының ауданы 5 см^2 . Оның ішінде ені 2 мм радиалды ауа саңлауы ойылып кесілген. Осы кремнийлі темірдің ұзындығын 40 см деп алып, 0.7 мВб ағынын тудыратын м.қ.к. – і есептеңіз. Магниттену қисығын пайдаланыңыздар.

Тізбек: кремнийлі темір мен радиалды ауа саңлауы сияқты 2 бөліктен тұрады. Жалпы м.қ.к. осы бөліктердің м.қ.к. – нің қосындысынан тұрады.

Кремнийлі темір үшін:

$$B = \frac{\Phi}{S} = \frac{0.7 \times 10^{-3}}{5 \times 10^{-4}} = 1.4 \text{ Тл}$$

$B - H$ қисығынан $B = 1.4 \text{ Тл}$ $H = 1650 \text{ А / м}$

Олай болса, м.қ.к. кремнийлі темір бөлігі үшін $= Hl = 1650 \times 0.4 = 660 \text{ А}$

Радиалды ауа саңлауы:

Кремнийлі темір сияқты ауа саңлауы үшін магниттік индукция: 1.9 Тл (шектелу орындалып, индукцияға жол берілмейді).

Ауа саңлауы үшін:

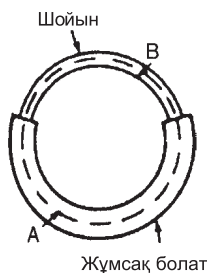
$$H = \frac{B}{\mu_0} = \frac{1.4}{4\pi \times 10^{-7}} = 1114000 \text{ А / м}.$$

Олай болса ауа саңлауының м.қ.к.
 $= Hl = 1114000 \times 2 \times 10^{-3} = 2228 \text{ А}.$

0.6 мВб ағынды тудыратын жалпы м.қ.к.

$= 660 + 2888 = 2888 \text{ А}$

7.3-кестені пайдалана отырып, осы есепті басқа жолмен де шығаруға болады.



7.5-сурет

14-есеп. 7.5-суретте сақина көрсетілген, ол 2 түрлі материалдан: құйма және жұмсақ болаттан жасалған.

Мөлшерлері

Аттары	Ұзындығы	Көлденең қимасының ауданы
Жұмсақ болат	400 мм	500 мм ²
Құйма болат	300 мм	312 мм ²

Магнит тізбегінде 500 мкВб ағынды тудыратын жалпы м.қ.к. табу керек. Сонымен қатар тізбектің жалпы меншікті магниттік кедергісін анықтаңыздар.

7.4-кесте арқылы да осы есептеулерді жүргізуге болады.

Тізбектің жалпы меншікті магниттік кедергісі:

$$S_M = \frac{m.k.k.}{\Phi} = \frac{2000}{500 \times 10^{-6}} = 4 \times 10^6 \text{ H}^{-1}$$

15-есеп. Магнит тізбегінің көлденең қимасының ауданы 2 см² 7.6-суретте көрсеткендей құйма болат өзегінің ұзындығы 25 см. Ауа саңлауының ені 1 мм және орамның шумақ саны 500. Құйма болат үшін $B - H$ қисығының тәуелділігі алынған. Ауа саңлауында 0.8 Тл магниттік индукцияны тудыру үшін орамнан қанша ток өтуі керек, егер барлық ағын магнит тізбегінің екі жақ бөлігінен де (екі жағынан) өтіп жатқанын ескерсе.

7.4-кесте

Тізбектің бөлігі	Материал	Вб	м2	Тл	График-тен	м	м.қ.к.
А	Жұмсақ болат	500	500	1.0	1400	400	560
В	Құйма болат	500	312	1.6	4800	300	1440
жалпы							2000

Ауа саңлауы үшін:

Ауа үшін $\mu_r = 1$, сондықтан меншікті магнит кедергісі:

$$S_M = \frac{l_2}{\mu_0 \mu_r A_2} = \frac{l_2}{\mu_0 A_2} = \frac{(1 \times 10^{-3})}{(4\pi \times 10^{-7})(2 \times 10^{-4})} = 3979000 / H$$

Жалпы меншікті кедергі:

$$S = S_1 + S_2 = 1172000 + 3979000 = 5151000 / H$$

Магнит ағыны: $\Phi = BS = 0.8 \times 2 \times 10^{-4} = 1.6 \times 10^{-4}$ Вб

$$\text{Осыдан: } S = \frac{\text{м.к.к.}}{\Phi}$$

$$\text{м.к.к.} = S\Phi, \text{ содан: } NI = S\Phi$$

$$\text{Ток күші: } I = \frac{S\Phi}{N} = \frac{(5151000)(1.6 \times 10^{-4})}{5000} = 0.165 \text{ A}$$

Келесі жаттығуды орындаңыздар.

36-жаттығу. Магнит тізбектеріне арналған қосымша есептер

1. Магнит тізбегінің көлденең қимасының ауданы 0.4 см^2 , оның бір бөлігінің ұзындығы 3 см осы материалдың салыстырмалы

өтімділігі 1200, ал екінші бөлігіндегі материалдың салыстырмалы өтімділігі 750 және оның ұзындығы 2 см. 1000 шумағы бар орамадан 2 А ток өтеді, тізбек үшін магнит ағынының сан мөнін табыңыздар.

[0.195 мВб]

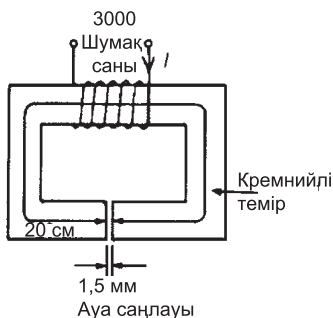
2. (а) Құйма болаттың көлденең қимасының ауданы 600 мм^2 , радиусы 25 мм болсын. 0.8 мВб магнит ағынын тудыру үшін қанша м.қ.к. қажет. $B - H$ қисығын пайдаланыңыздар. (б) Ені 1.5 мм радиалды ауа саңлауы сақина ішінде кесілген, (а) бабында пайда болған м.қ.к. – н табыңыздар. (а) бабына орналасқандағы сақина магнит ағынының сан мөнін сақтап қалу керек.

[(a) 270 А (b) 1860 А]

3. Тұйықталған магнит тізбегі кремнийлі темір мен орауыштан құралған. Кремнийлі темірдің ұзындығы 40 мм, көлденең қимасының ауданы 70 мм^2 . Орамның шумақ саны 50, тізбектің ұзындығы 40 мм және одан 0.39 А ток өтеді. Егер ораманың ұзындығы 15 мм болса, онда магниттік индукция қандай? Осы магниттену күшіне кремнийлі темірдің 3000-ға тең салыстырмалы өтімділігі сәйкес.

[1.59Тл]

4. Егер ауа саңлауында 0.45 мВб магнит ағыны туатын болса, 7.7-суреттегі магниттік тізбектегі орамдағы токты табыңыз.



7.7-сурет

Кремнийлі темір тізбегінің көлденең қимасының ауданы 3 см^2 және оның магниттену қисығын пайдаланыңыз.

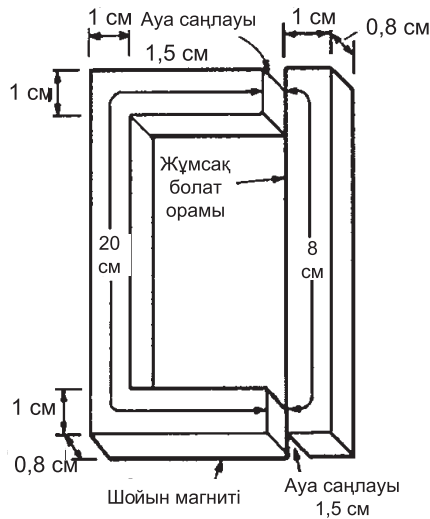
$$[0.83 \text{ A}]$$

5. Магнит тізбегін құрайтын сақина 2 материалдан тұрады, оның бір бөлігі жұмсақ болат. Сақинаның бір бөлігінің ұзындығы 25 см , көлденең қимасының ауданы 4 см^2 , ал қалған екінші бөлігі шойыннан тұрады, ұзындығы 20 см , көлденең қимасының ауданы 7.5 см^2 . Егер магнит тізбегінде 0.30 мВб магнит ағыны туатын болса, сызба арқылы жалпы магнит қозғалыс күшін табу керек. Сонымен қатар жалпы тізбек үшін меншікті магнит кедергісін табыңыз, ол үшін магниттену қисығын пайдаланыңыз.

$$[550 \text{ A}, 1.83 \times 10^6 / \text{H}]$$

6. 7.8-суретте реле үшін магниттік тізбек келтірілген. Әрбір ауа саңлауының ендері 1.5 мм , ауа саңлауы ендеріне 0.75 Тл индукция сәйкес олай болса м.қ.к. табыңыздар.

$$[2970 \text{ A}]$$



7.8-сурет

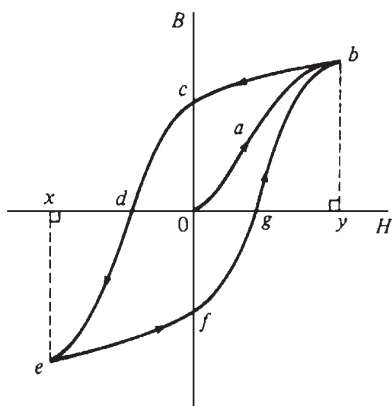
7.8 Магниттік және электрлік шамаларды салыстыру

Электр тізбегі	Магнит тізбегі
э.қ.к. $E = (V)$	м.қ.к. $F_m (A)$
Ток күші $I (A)$	Магнит ағын $\Phi = (B\delta)$
Кедергі $R = (Ом)$	Меншікті магнит кедергісі $S_M (H^{-1})$
$I = \frac{E}{R}$	$\Phi = \frac{м.қ.к.}{S_M}$
$R = \frac{\rho l}{S}$	$S_M = \frac{l}{\mu_0 \mu_r S}$

7.9 Гистерезис және гистерезис тұзағы

Гистерезис тұзағы

Магнитсіздендірілген ферромагнитті материал $B = H = 0$ болсын, сонда осы материалды H магнит өрісінің шамасы мен оған сәйкес B магнит индукциясын ұлғайтайық. 7.9-суретте көрсе-



7.9-сурет

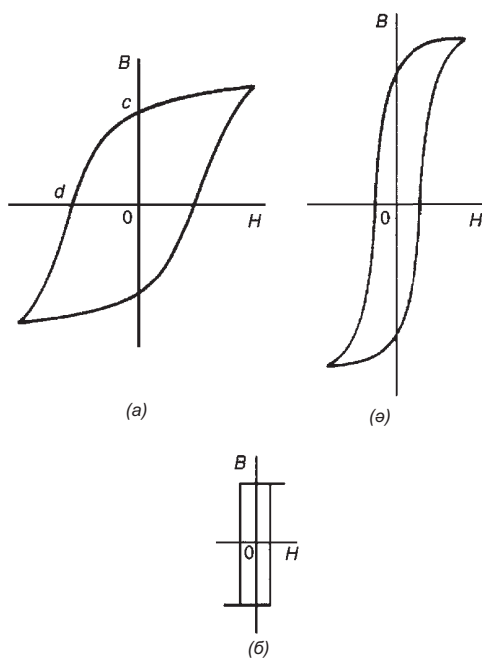
тілгендей Oav қисығына сәйкес B мен H -тың арасында қатынас шығады. Мысалы, Oy өсіндегі H -тың шамасы үшін әрі қарай магнит индукциясын ұлғайту еш нәтиже бермейді, мұндай материал **қаныққан** деп аталады. Олай болса бұл магнит индукциясының қанығуы **қаныққан магнит индукциясы** болып табылады.

Енді H -тің магнит индукциясының мәнін bc қисығы бойымен төмендетейік. Сонда H нөлге дейін төмендесін, bc ағын әлі де болса қалады. Мұндай индукцияның қалдығы немесе магниттелген қалдық 7.9-суретте **Ос** кесіндісімен сипатталады. Әрі қарай H -ті қарама-қарсы бағытта ұлғайтса, магнит индукциясы **Ос** күйіне дейін азаяды, ал магнит индукциясы нөлге дейін жетеді. **Ос** сәйкес магнит өрісінің кернеулігі қалдық магнетизмді жою үшін қажет, оны *коэрцитті күш* деп атайды. H одан әрі кері бағытта ұлғаяды да қисыққа сәйкес қанығуға жетеді. Егер H Ox пен Oy аралығында өзгерсе, магнит индукциясы $efgb$ қисығы бойымен $bcde$ қисығына ұқсас болады.

7.9-суреттен көрінгендей магнит индукциясының өзгерісі магнит өрісінің кернеулігімен салыстырғанда қалып отырады. Осы әсерді **гистерезис** деп атайды. Тұйықталған фигура B / H **гистерезис тұзағы** немесе B / H тұзағы деп аталады.

Гистерезис шығыны

Ферромагниттік материалдың құрамындағы атомдар тобының бұзылуы немесе аймақтарды дұрыстаған кезде магниттеу циклін құруға жұмсайтын энергия қажет. Бұл энергия жылу түрінде пайда болады және гистерезистегі шығындар деп аталады. Гистерезиске байланысты энергия шығыны гистерезис тұзағының ауданына тура пропорционал. Гистерезис тұзағының ауданы материалдың табиғатына байланысты өртүрлі. Олай болса қатты материалдар үшін энергия шығыны жұмсақ материалмен салыстырғанда әлдеқайда үлкен. 7.10-суретте гистерезис тұзағының бірнеше түрі келтірілген.



7.10-сурет

(а) Өте жоғары O_c қалдық магниттелуі және өте үлкен O_d коэрциттілігі бар қатты материал.

(б) Жұмсақ болат, үлкен қалдық магниттігі бар бірақ коэрциттілігі кіші.

(с) Феррит – керамикалық темірдің никельдің, кобальттің, магнийдің, алюминийдің, марганецтің тотықтарынан жасалған магниттік зат. Ферриттің гистерезисі өте кішкентай.

Айнымалы қоздыру тоқ құрылғылары үшін айнымалы токтың әрбір циклына гистерезис тұзағы қайталанып отырады. Әр цикл үшін гистерезис (қатты болат сияқты) тұзағының ауданы үлкен болса, оның қажеті жоқ, себебі энергияның шығыны жоғары болып кетеді. Кремнийлі болат гистерезис тұзағы жіңішке, сондықтан гистерезис шығыны аз, сондықтан ол трансформатордың өзегі мен айналатын машиналар орамына қолайлы.

Келесі жаттығуды орындаңыздар.

37-жаттығу. Магнит тізбектері

1. Магнитті қолданатын 6 жерді атаңыздар.
2. Тұрақты магнит деген не?
3. Магнит өрісінің суретін салыңыздар, магнит өзегімен байланысты өрістің бағытын көрсетіңіздер.
4. Магнит ағыны деген не?
5. Магнит ағынының белгісі ... оның өлшем бірлігі.
6. Магнит индукциясы туралы түсінік.
7. Магнит индукциясының белгісі және өлшем бірлігі.
8. Магнит қозғаушы күштің белгісі, оның өлшем бірлігі.
9. Магнит күшінің басқаша аты, оның белгісі және өлшем бірлігі.
10. Абсолютті өтімділік деген не?
11. Бос кеңістіктің өтімділігінің сан мәні.
12. Магниттелу қисығы деген не?
13. Магнит және электрлік шамаларын салыстыру.
14. Гистерезис деген не?
15. Гистерезис тұзағын салыстырыңыздар және онда:
 - (a) Қанығу гистерезисін;
 - (b) Магниттеу қалдығын;
 - (c) Коэрцитті күшін анықтаңыздар;
 - (d) Магниттелу қалдығын;
 - (e) Мәжбүрлі күштің өлшем бірліктерін келтіріңіздер.
16. Магниттік экран қалай пайда болады?
17. Келесі тұжырымды аяқтаңыздар: магнитті материалдар магнитті кедергіні, ал магнитті емес материалдар ... магнитті кедергіні білдіреді
18. Гистерезиске байланысты қандай шығын белгілі?

38-жаттығу. Магнит тізбегі

(жауаптары кітаптың соңында)

1. *Магнит индукциясының өлшем бірлігі:*

- (a) вебер
 - (b) вебер-метр
 - (c) ампер-метр
 - (d) тесла
2. *Электр машинасының өзегіндегі жалпы ағынның сан мәні 20 мВб және оның магнит индукциясы 1 Тл. Сонда өзектің көлденең қимасының ауданы тең:*
- (a) 0.05 м^2
 - (b) 0.02 м^2
 - (c) 20 м^2
 - (d) 50 м^2
3. *Магнит тізбегінің жалпы ағыны 2 мВб болса, сызбаның көлденең қимасының ауданы 10 см², сонда магнит индукциясы тең:*
- (a) 0.2 Тл
 - (b) 2 Тл
 - (c) 20 Тл
 - (d) 20 мТл
- 4 тен 8 сұраққа дейін келесі берілгендерді ескеріңіздер, ағаш сақинаға 100 шумақты біртекті оралған орам берілген. Сақинаның ұзындығы 1 м көлденең қимасының ауданы 10 см². Орамдағы ток күші 1 А.*
4. *м.қ.к. – і табыңыз:*
- (a) 1 А
 - (b) 10 А
 - (c) 100 А
 - (d) 1000 А
5. *Магнит өрісінің кернеулігін:*
- (a) 1 А / м
 - (b) 10 А / м
 - (c) 100 А / м
6. *Магнит индукциясын:*

- (a) 800 Тл
- (b) 8.85×10^{-10} Тл
- (c) $4\pi \times 10^{-7}$ Тл
- (d) 40π мкТл

7. Магниттік ағынды:

- (a) 0.04π мкВб
- (b) 0.01 Вб
- (c) 8.85 мкВб
- (d) 4π мкВб

8. Магниттік кедергіні:

- (a) $(10^8 / 4\pi) H^{-1}$
- (b) $1000 H^{-1}$
- (c) $2.5 / \pi \times (10^9) H^{-1}$
- (d) $(10^8 / 8.85) H^{-1}$

9. Қай тұжырым дұрыс емес:

- (a) Магнит емес материалдың меншікті кедергісі жоғары
- (b) Гистерезистегі энергия шығыны қатты магнитті материалдар үшін жұмсақ магнитті материалдарға қарағанда жоғары
- (c) Магнитті материалдардың магниттелу қалдығы А/м өлшенеді
- (d) Абсолютті меншікті кедергі генри/м өлшенеді

10. Орамның 500 шумақ темір сақинасынан 4 А ток өтеді.

Магниттік кедергінің мәні $2 \cdot 10^6$ Н. Қанша ағын түзіледі?

- (a) 1 Вб
- (b) 1000 Вб
- (c) 1 мВб
- (d) 62.5 мкВб

11. Магниттік және электрлік шамалар салыстырылады.

Төменде қандай магниттік шамалар электрлік шамаларға эквивалентті?

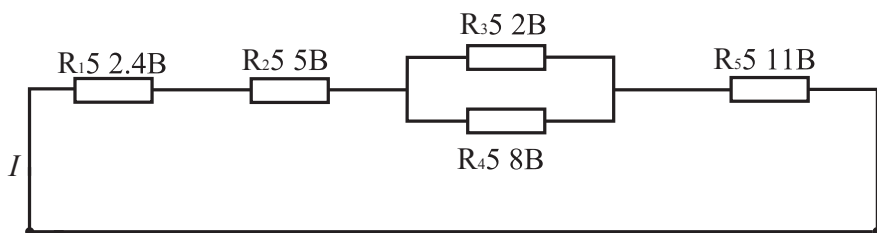
- (a) ток,
- (b) магниттік кедергі,

- (с) магнит ағынды бөледі,
(d) м.қ.к. кемітеді
12. *Магнит тізбегінде ауа саңлауы әсері қандай рөл атқарады:*
- (a) магниттік кедергіні ұлғайтады,
(b) магниттік индукцияны кемітеді,
б) магнит ағынды бөледі,
в) м.қ.к. кемітеді.
13. *Екі өзекті магнит бірбіріне параллель орналасқан, арасы 2 см және біреуінің оң полюсі екіншісінің теріс полюсімен сәйкес. Осылай орналасқан магниттер қандай қызмет атақарады:*
- (a) біріне бірі әсер етеді
(b) бірбіріне ешқандай әсер етпейді
(c) біріненбірі тебінеді
(d) өзінің магниттік қасиетін жоғалтады

2-тексеру тесті

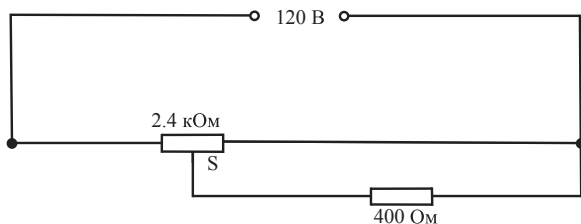
Бұл тексеру тестінде 5-тараудан 7-тарауға дейінгі материалдар қамтылған. *Әрбір жауапқа қойылатын баға жақша ішіне орналастырылған.*

1. 5, 7, 8 Омды кедергілері тізбектей қосылған. Қоректендіру көзінің кернеуі 10 В және ол ток күшін анықтайтын құрылғымен қосылған. Резистордің кедергісі 7 Ом , кедергісі 8 Ом -ды резистордың потенциалдар айырымын есептеңіз. (6)
2. Суретте көрсетілгендей тізбектегі (a) және параллель қосылған аралас желі арқылы табыңыздар:
- (a) қоректендіру көзінің ток күшін,
(b) әрбір резистор арқылы ағып өтетін ток күшін,
(c) әрбір резистордың потенциалдар айырымын,
(d) тізбектегі жалпы қуаттың таралуын
(e) 80 сағат жағылған желі үшін энергия ақысын, егер электр энергиясының бірлігіне 14 пенс алынса.



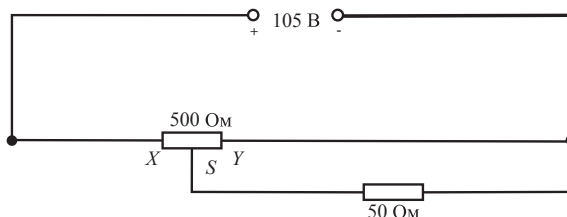
RT2.1-сурет

3. Конденсатордың пластина аралығындағы заряды 8 мКл , ал потенциалдар айырымы 4 кВ . Конденсатордың сыйымдылығын табыңыз.
4. Екі параллель тіктөртбұрыш ұзындығы 80 мм , ені 120 мм қалыңдығы 4 мм слюдамен ажыратылған және арасындағы заряд 0.48 мКл . Пластина арасындағы кернеу 500 В . Есептеңіздер:
 - (a) электр ағынының тығыздылығын,
 - (b) электр өрісінің кернеулігін,
 - (c) конденсатордың сыйымдылығын пикофарадамен анықтап, салыстырмалы диэлектрлік өтімділігі 5-ке тең деп алыңыз.
5. 4 мкФ конденсатор 6 мкФ конденсаторымен параллель қосылған. Осындай құрылғы 10 мкФ конденсаторымен тізбектей қосылған. Тізбектегі қоректендіру көзінің кернеуі 250 В . Анықтаңыздар:
 - (a) тізбектің эквивалентті сыйымдылығын,
 - (b) 10 мкФ конденсатордың кернеуін,
 - (c) әрбір конденсатордың зарядын.



RT2.2-сурет

6. Орам магнитті емес материалдан оралған сымның көлденең қимасының ауданы 200 мм^2 , ал ораманың ұзындығы 500 мм .
7. Орамдағы ток күші 4 А сонда анықтау керек:
 (а) магниттік өрістің кернеулігін,
 (б) магниттік индукцияны,



RT2.3-сурет

- (с) орамдағы жалпы магниттік ағынды.
8. Жұмсақ болаттан жасалған орамның көлденең қимасының ауданы 4 см^2 және онда ені 3 мм радиалды саңлау ауасы бар, егер осы жұмсақ болаттың ұзындығы 300 мм болса, есептеу керек: 0.48 пкВб ағынды тудыру үшін қажетті магниттік қозғаушы күшті (м.қ.к.). ($B - H$ қисығын пайдаланыңыз).
9. *RT2.2-суретте* S сырғанама резистордың тура жартысында орналасқан. Есептеңіздер:
 (а) Кедергісі 400 Ом жүктемеден өтетін токты, оның потенциалдар айырымын;
 (б) Тізбекте потенциометр ме әлде реостат па?
10. *RT2.3-суретте* көрсеткендей сызбада кедергісі 50 Ом жүктемеден қанша ток өтеді және жүктемедегі кернеудің түсуін келесі шарттар үшін есептеңіз:
 (а) XY -тің XS $3/5$ бөлігінде орналасқанда;
 (б) S нүктесімен Y нүктесі сәйкескенде.

8-тарау

Электрмагнетизм

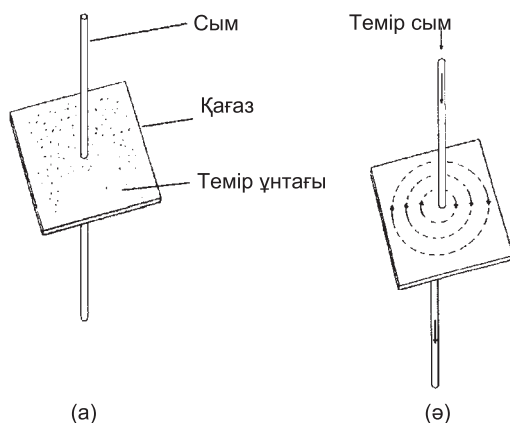
Тараудың соңында меңгеретін сұрақтар тізімі:

- Электр тогы арқылы магнит өрісін тудыру
- Магнит өрісінің бағытын анықтау үшін бұрғы ережесін қолдану
- Соленоидтың айналасындағы магнит өрісі магнитке ұқсас
- Соленоидқа магнит өрісінің бағытын анықтау үшін бұрғы ережесін қолдану
- Практика жүзінде электрмагнитті қолдану: электр-магнитті қоңырау, реле, магнит көтергіш, телефон трубкасы
- Тогы бар өткізгішке әсер ететін F күшінің факторларын анықтау
- $F = BIl$, $F = BIl \sin \theta$, формулаларын есептеулерде қолдана білу
- F күшінің практикалық түрде қолдануына дәлел ретінде дауысқатайтқыш жұмысын білу
- Ток өту желісіндегі күштің бағытын анықтау үшін Флемингтің сол қол ережесін қолдану
- Қарапайым тұрақты ток қозғалтқышының жұмыс істеу негізі

- Жылжымалы орамы бар аспаптың құрылысы мен жұмыс істеу негізі
- Магнит өрісіндегі зарядқа әсер ететін F күші $F = QvB$ өрнекпен анықталады
- $F = QvB$ формуласын есептеулерде қолдана білу

8.1 Электр тогы мен магниттік өрісі

7-тарауда көрсеткендей магнит өрістері тек тұрақты магниттер арқылы ғана емес, сонымен қатар электр тогы арқылы да туа алады. Өткізгіш арқылы тұрақты токты жібергенде оның айналасында магнит өрісі пайда болады. Ол қағаз бетіндегі ұсақ темір ұнтақтарының орналасуынан және магнит тілшенің бұрылуынан байқалады. Мысалы, *8.1-суретте* көрсеткендей тіке орналасқан темір сымды қағаз арқылы тесіп өткізейік және осы қағазда темір ұнтақтары орналасқан болсын. Енді темір сым арқылы ток өткізіп, қағазды жеңіл ғана сілкіп жібергенде, темір ұнтақтары белгілі-бір тәртіппен сымның айналасында дөңгелене қозғала

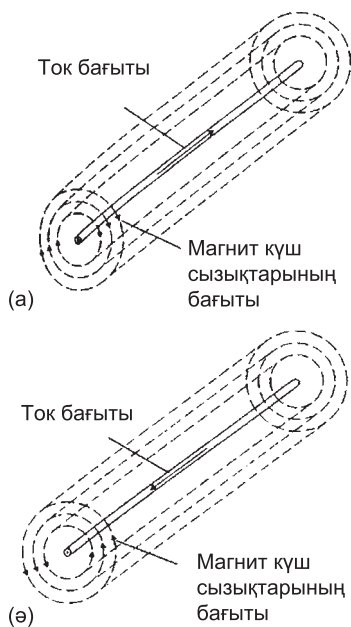


8.1-сурет

бастайды. Егер ағын сызықтарының әртүрлі позицияларында компасты орналастырса, онда сызықтардың белгілі бір бағытта қозғалатыны байқалады, оны *8.1 (b) -суреттен* көруге болады.

Егер ток бағыты кері болса, күш сызықтары да кері қарай бағытталады. Токты өшірген жағдайда темір үгіндісі мен компастың магнит тілшесінің бұрылуына да әсер жоғалады. Олай болса электр тогы тарапынан магнит өрісі туады. Тұрақты магнит тарапынан ағын қалай пайда болса, магниттік ағынның қасиеті де тура сондай. Егер ток ұлғайса, өрістің кернеулігіде ұлғаяды, тұрақты магнит сияқты өрістің кернеулігі тогы бар өткізгіштен алыстаған сайын азая береді.

8.1-суретте магнит өрісінің өткізгішке түсіретін әсерінің тек шамалы бөлігі ғана көрсетілген. *8.2-суретте* көрсеткендей, ұзын өткізгіштің бүкіл бойымен ток жіберсе, онда оның айналасында пайда болған магнит өрісінің түрі концентрлік цилиндр



8.2-сурет

тәріздес және магнит өрісімен электр тогының бағыттары бір-біріне тәуелді болып келеді.

Электр тогы арқылы пайда болатын магниттік өрістермен танысқанда *8.3-суретте* көрсетілген әсерлер шығады.

Осыдан келесі ережелер қабылданған:

Бақылаушыдан қағаздың ішіне қарай ағатын ток белгісі – \oplus . Мұндай құбылысты садақ қанаттарының артқы жағынан бейнелегендіктен, оны айқастырылған сызықтар арқылы (*8.3 (a) - сурет*) көрсетуге болады.

Қағаздан бақылаушыға қарай ағатын токтың белгісі – \ominus . Мұндай құбылысты садақтың ұшындай бейнелегендіктен, ол нүкте сияқты болып көрінеді (*8.3(b)-сурет*).

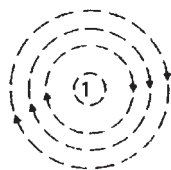
Магниттік күш сызықтарының бағытын анықтауға бұрғы ережесін пайдаланған жөн:

Берілген электр тогына сәйкес магнит өрісі индукция сызығының бағытын анықтайтын ереже:

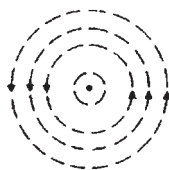
Егер өткізгіштің бүкіл бойымен, бұрғының оң оймасымен тоқты бағыттап бұрғыны бұраса, онда бұрғының айналу бағытымен магнит өрісінің бағыты бірдей болады.

Егер бұрғының ілгерілемелі қозғалысы өткізгіштегі ток бағытымен дәл келсе, онда бұрғы тұтқасының айналу бағыты өткізгіштің айналасында болатын магнит өрісінің күш сызықтарының бағытымен дәл келеді.

Мысалы ток бақылаушыдан бұрғының оң оймасымен бұрғылаған сағат тілінің бағытымен бірдей ақсын. Олай болса,

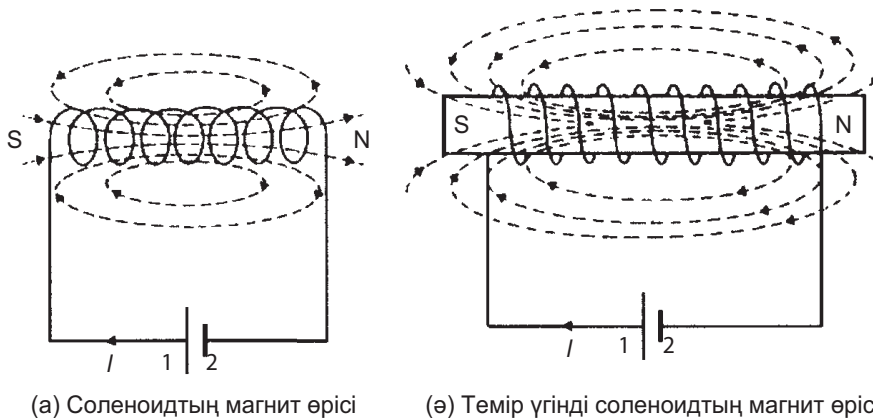


(a) бақылаушыдан қағаздың ішіне қарай ағатын ток



(б) бақылаушыға қарай ағатын ток

8.3-сурет



(а) Соленоидтың магнит өрісі

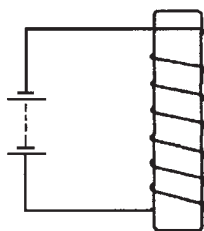
(ә) Темір үгінді соленоидтың магнит өріс

8.4-сурет

магнит өрісі сағат тілінің бағытымен бірдей. 8.4(a)-суретте көрсетілгендей магниттік өріс соленоид немесе ұзын орама тарапынан туса, онда ол өзекті магнитке ұқсас болады. Егер соленоид темір шыбыққа оралған болса, 8.4 (b) -суретте көрсеткендей онда магнит өрісі күштірек туады, темір магниттеліп, өзін тұрақты магнит тәрізді ұстайды.

Осындай жолмен түзілген магнит өрісінің бағыты кез келген екі жолмен немесе екі ережемен: бұрғы ережелерімен немесе ілінісу ережесімен анықталады.

Бұрғы ережесі; 8.4(a)-суретте көрсеткендей магнит өрісінің бағыты солноид ішінде оңтүстіктен солтүстік полюске қарай бағытталған, егер бұрғының оң оймасы соленоид өсінің бойымен орналасса және бұрғы токтың бағытымен бұралса, онда солено-



8.5-сурет

ид ішіндегі магнит өрісі де сол бағытта қозғалады. Сонымен *8.4 (a)* және *(b)* -суреттерінде солтүстік полюс оң жақта орналасқан.

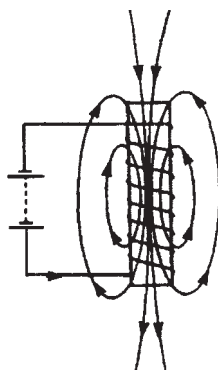
Ілінісу ережесі; егер орамды **оң қолмен** ұстаса сонда саусақтар ток бағытын көрсетеді, ал бас бармақ соленоид өсіне параллель орналасқан соленоид **ішіндегі** магнит өрісінің бағытын көрсетеді.

1-есеп. *8.5-суретте*, темір өзекке сымның шумағы оралған орам батареямен қосылған. Ток өткізетін орамның магнит өрісінің күш сызықтарының көрінісін салып, өрістің полюсін анықтаңыздар.

8.5-суретте соленоидтың магнит өрісі *8.6-суретте* көрсетілген магнитті өзектің магнит өрісіне ұқсас. Магнит өрісінің полярлығы бұрғы немесе ілінісу ережелерінің біреуімен анықталады. Олай болса, солтүстік полюс соленоидтың астыңғы жағында, ал оңтүстік полюс үстіңгі жағында жатқаны.

8.2 Электрмагнетизм

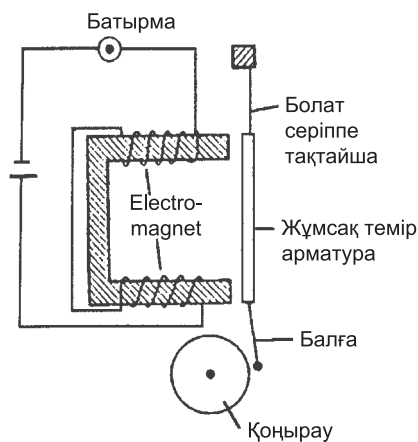
Соленоид (грекше solen – түтік және idos – түр) ток жүретін оқшауланған сымнан оралған цилиндр тәрізді индуктивті шумақ. Соленоидтың ішкі қуысының орта бөлігінде (ұзындығы соленоид диаметрінен едәуір үлкен) магнит өрісі соленоид өсіне параллель бағытталады және біртекті, әрі бұл өрістің кернеулігі ток күшіне және шумақ санына (жуық шамамен) пропорционал. Соленоидтың магнит өрісі сырықты магниттің өрісіне ұқсас. Ішкі қуысында темір өзекшесі бар соленоид электрмагнит болып есептеледі. **Соленоид электрмагниттік теориясы** өте маңызды, өйткені соленоид ішіндегі магнит өрісі біркелкі нақты ток және универсалды, себебі токтың өзгерісі магнит өрісінің күшін өзгерте алады. Соленоид негізіндегі электрмагнит көптеген электр қоңыраулары бөлшектерінің элементтері ретінде қолданылады. Мысалы, электр қоңырау, реле, көтергіш магнит, телефон трубкасы.



8.6-сурет

Электр қоңырауы

Электр қоңыраулар алуан түрлі. Бір тактылы қоңырау, электр үзгіш қоңырауы, зыңылдақ және үздіксіз шылдырлайтын қоңырау, мұның бәрі жұмсақ темір өзегіне әсер ететін электр магнитіне байланысты. 8.7-суретте қоңыраудың бір соғысын бейнелейтін сызба келтірілген. Қоңыраудың **батырмасы** іске қосылған кезде орам арқылы ток жүреді. Темір өзегі бар орам жұмсақ темір арматураға әсер еткенде бұл соңғы электр магнитке тартылады. Осы жұмсақ темір арматура өз тарапынан балғаға



8.7-сурет

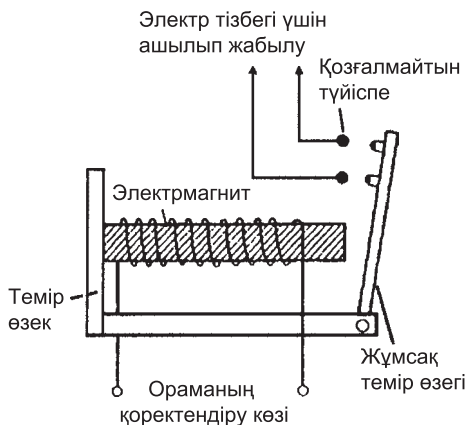
әсер етеді. Ал балға қоңырауды соғып, шылдырайтын болады. Енді тізбек үзілгенде орам магнитсізденіп, болат серіппенің **тақтайшасы** арматураны кері қарай тартып, бұрынғы орнына қайтарады (8.7-суретті қараңыз). Тізбектегі батырма іске қосылса ғана балға соғылып, қоңырау шылдырайды.

Реле

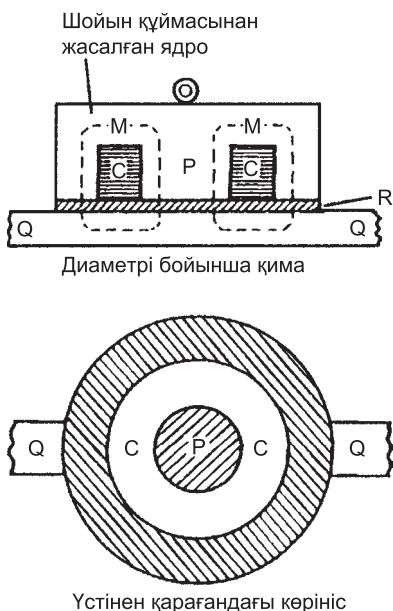
Реле электр қоңырауына ұқсас, айырмашылығы балғаның соғылуының орнына түйіскен жер біресе ашылып, біресе жабылып отырады. 8.8-суретте қарапайым реленің суреті келтірілген. Ол орам шумағынан және жұмсақ темір өзегінен тұрады. Орамға қоректендіру көзінен ток берілгенде жұмсақ темір өзегі электрмагнитке тартылып, екі қозғалмайтын түйіспені басады, сондықтан осы түйіспелер бірбірімен қосылғанда басқа электр тізбегі жабылып, оқшауланады.

Көтергіш магнит

Көтергіш магниттер өте үлкен электрмагниттерден тұратындықтан, металлургиялық комбинаттарда металл сынықтарын көтеру үшін пайдаланылады. Көдімгі сенімді жүк көтеруші магниттік



8.8-сурет

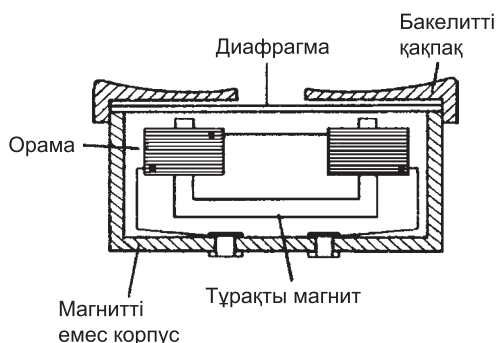


8.9-сурет

қармағыш құрылғы орасан зор тартылыс күштерін көрсетуге қабілетті, 8.9-суретте оның тік және үстінен қарағандағы проекциялары көрсетілген, дәл ортасында шойын құймасынан жасалған P ядроны ораған C -орамы орналасқан. Электрмагниттік экраннан кейін қорғаныш мақсатында магнитті емес R материалдан жасалған қабат алынған. Көтерілетін Q жүктемесі магнитті материал болуы керек, орамға кернеу түскенде, M -магнитті ағынның жолы үзік сызықтармен келтірілген.

Телефон трубкасы

Таратқыш немесе микрофон сияқты құрылғылар дыбыс толқындарын оларға сәйкес электр сигналдарына айналдыратын болса, телефон қабылдағышы керісінше, электр сигналдарын дыбыс толқындарына түрлендіреді. 18.10-суретте кәдімгі телефон қабылдағыштың сызбасы келтірілген. Телефон қабылдағыш тұрақты магнит пен оның полюстарында оралған орамалардан тұрады. Магнит полюстерінің жанын-



8.10-сурет

да өте жіңішке, икемді, магнитті емес материалдан жасалған диафрагма орналасқан және ол полюстермен жанаспайтындай етіп бекітілген. Қабылдағыштағы токтың өзгеруі магнит өрісін өзгертеді, сондықтан диафрагма дірілдей бастайды. Дірілдеу дыбыс толқындарын тудырады, осы толқындар қабылдағыштан шығатын толқындарға сәйкес келеді.

8.3 Тоғы бар өткізгіштегі күш

Егер тұрақты магнит арқылы түзілген магнит өрісіне тоғы бар өткізгіш орналастырылса, онда тоғы бар өткізгіштің және тұрақты магниттің өрістері бір-бірімен әрекеттесе бастайды, соның арқасында өткізгішке әсер ететін күш туады. Магнит өрісінде орналасқан тоғы бар өткізгішке әсер ететін күштер келесі:

- а) Өріс магнит индукциясы– B , тесла;
- ә) Ток күші, I ампер;
- б) Магнит өрісіне перпендикуляр өткізгіштің ұзындығы, l метр;
- в) Өріс пен токтың бағыттары аспектілерге тәуелді.

Егер магнит өрісі мен ток және өткізгіш бір-бірімен тік бұрышты орналасса:

$$\text{Күш } F = BI l \text{ ньютон.}$$

Магнит өрісі, ток және өткізгіш өзара θ^0 бұрышпен орналасса:

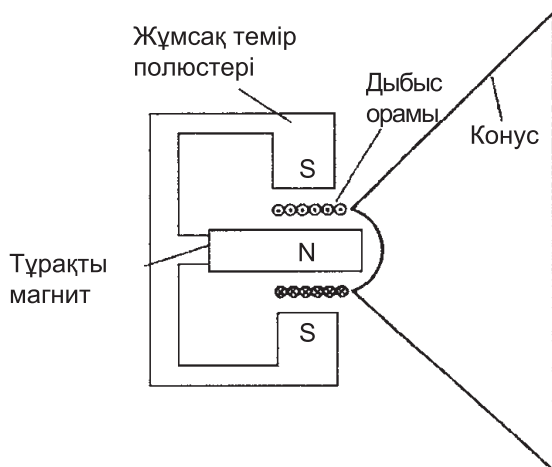
$$\text{Күш } F = BIl \sin \theta \text{ ньютон.}$$

Егер магнит өрісі мен ток және өткізгіш бір-бірімен тік бұрышты орналасса, онда магнит индукция B анықталады:

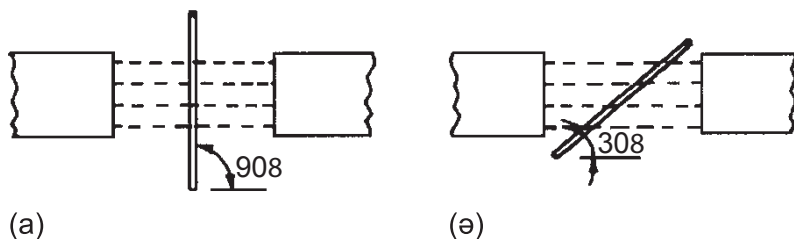
$B = (F) / (Il)$, олай болса, егер 1 Тл ағын 1 м өткізгішке әсер етсе, 1 А ток өтеді, оны 1 Ньютон (Н) деп атайды.

Дауыс қатайтқыш

Орамы қозғалмалы аспапты қолданатын жер ретінде дауыс қатайтқышты келтіруге болады. Дауыс қатайтқыштарда электр сигналдары дыбыс толқындарына айналады. *8.11-суретте* кәдімгі дауыс қатайтқыш келтірілген, ол магнит тізбегінен тұрады, оның құрамына енген тұрақты магнит пен жұмсақ темір полюстері тек қана күшті магнит өрісін қысқа цилиндрлік саңлауға қолжетімді ете алады. Дыбыс орамы немесе сөз сөйлеу орамы деп аталатын қозғалмалы орамды саңлауға бекітіп, қағаз немесе пластика конусының ұшына іліп қояды. Орам арқылы электр тогы өткенде ол белгілі бір күш тудырады, осы күш токтың



8.11-сурет



8.12-сурет

бағытына сай конусты алға немесе артқа итеруге тырысады. Ко- нус піспек сияқты ауа арқылы күш бере отырып, керекті дыбыс толқындарын тудырады.

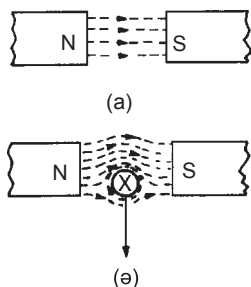
2-есеп. Өткізгіштің ток күші 20 A , магнит өрісімен тік бұрышты орналасқан, индукциясы 0.9 Тл . Осы өрістегі өткізгіштің ұзындығы 30 см болса, өткізгішке әсер ететін күшті есептеңіз. Сонымен қатар өткізгіш өріс бағытына 30° еңкейгендегі күштің мәні қандай?

$B = 0.9 \text{ Тл}$, $I = 20 \text{ А}$ және $l = 30 \text{ см} = 0.30 \text{ м}$, Күш $F = BIl = (0.9)(20)(0.30)$ Ньютон, 8.12 (а)-суретте көрсеткендей өткізгіш пен магнит өрісі тіке бұрышпен орналасқан, яғни $F = 5.4 \cdot \text{Н}$.

8.12 (б)-суретте көрсетілгендей өткізгіш өріске 30° еңкейсе, онда:

$$F = BIl \sin \theta = (0.9)(20)(0.30) \sin 30^\circ - \text{яғни } F = 2.7 \text{ Н}$$

8.3 (а)-суретте көрсеткендей тогы бар өткізгіш 8.13 (а)-суретте келтірілгендей магнит өрісіне енгізілсе екі өріс бір-бірімен әрекеттесе алады, осы әрекеттесу нәтижесінде 8.13 (б)-суретте көрсетілгендей өткізгішке әсер ететін күш туады. Өткізгіштің үстіңгі жағындағы өріс күшейе түсіп, астындағы өріс әлсірейді, сондықтан өткізгіш астыңғы жаққа қарай ығысуға ты-



8.13-сурет

рысады. Міне, осындай құбылыс электрқозғалтқышпен жылжымалы орамы бар аспаптардың (8.5-тарау) жұмыс істейтін негізгі принципі болып табылады.

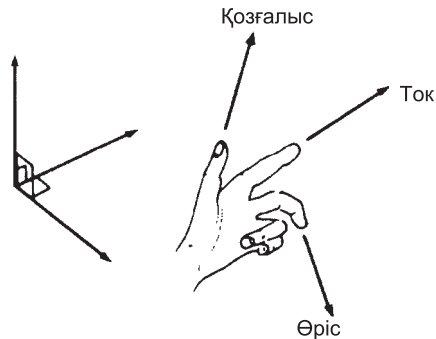
Флемингтің сол қол ережесін қолдана отырып (жиі **қозғалтқыштың ережесі** деп аталады), өткізгішке әсер ететін күштің бағытын алдын ала анықтауға болады: сол қолдың бас бармағын, бірінші және екінші саусақтарды бір-біріне тіке бұрыш жасай орналастырып, *8.14-суретте* көрсеткендей барынша созайық. Бірінші саусақ магнит өрісінің бағытын, ал екінші саусақ токтың бағытын, ал бас бармақ өткізгіштің қозғалу бағытын көрсетеді.

Қорытындылай келе:

Бірінші саусақ – өріс

Екінші саусақ – ток

Бас бармақ – қозғалыс



8.14-сурет

3-есеп. Электрқозғалтқыш өткізгішінің ұзындығы 400 мм , магниттік индукциясы 1.2 Тл магнит өрісіне тік бұрышпен орналасқан, өткізгішке 1.92 Н күш әсер ету үшін қажетті тоқты анықтаңыз. Өткізгіш тік орналасқанда ток төмен қарай ағады, магнит өрісі солдан оңға қарай бағытталған, сонда күштің бағыты қандай болады?

$$\text{Күш } F = 1.92 \text{ Н}, \quad l = 400 \text{ мм} = 0.40 \text{ м} \quad \text{және} \quad B = 1.2 \text{ Т}$$

олай болса, $F = BIl$, болса $I = F / Bl$

$$I = \frac{1.92}{(1.2)(0.4)} = 4 \text{ А}$$

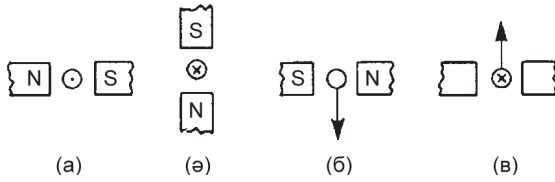
Егер өткізгіштің үстінен қарағанда ток төмен қарай ақса, онда оның магнит өрісі ток түзе отырып, сағат тілінің бағытымен бағыттас болады. Өткізгіштің артқы жағындағы негізгі магнит өрісін ағын сызықтары күшейте түседі (нығайтады) және оған керісінше, өткізгіштің алдыңғы жағындағы негізгі магнит өрісін әлсіздендіреді. **Осыдан өткізгішке әсер ететін күш оның артқы жағынан алдыңғы жағына қарай, яғни бақылаушыға қарай бағытталады.** Магнит өрісінің бағытын Флемтингтің сол қол ережесі арқылы да анықтауға болады.

4-есеп. Радиусы 60 мм әрбір екі дөңгелек полюстің ортасында жатқан өткізгіштің ұзындығы 350 мм , ток шамасы $I = 10 \text{ А}$ және ол магнит өрісіне тік бұрышпен орналасқан. Егер екі полюстер арасындағы жалпы ағын 0.5 мВб болса, өткізгішке әсер ететін күшті табыңыз.

$$l = 350 \text{ мм} = 0.35 \text{ м}, \quad I = 10 \text{ А},$$

$$\text{полюс бетінің ауданы } S = \pi r^2 = \pi (0.06)^2 \text{ м}^2$$

$$\text{және } \Phi = 0.5 \text{ мВб} = 0.5 \times 10^{-3} \text{ Вб}$$



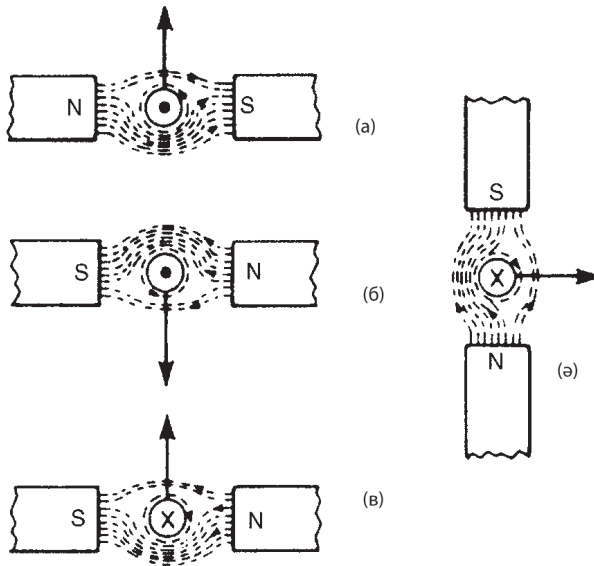
8.15-сурет

Күш $F = BIl$ және $B = \frac{\Phi}{A}$ болғандықтан

$$F = \frac{\Phi}{A} Il = \frac{(0.5 \times 10^{-3})}{\pi(0.06)^2} (10)(0.35) \text{ Ньютон,}$$

олай болса, күш = **0.155 Н**.

5-есеп. 8.15-суретті ескере отырып, (а) 8.15 (а) – суретте келтірілген өткізгішке әсер ететін күштің бағытын, (б) 8.15 (б) – суретте көрсетілген өткізгішке әсер ететін күштің



8.16-сурет

бағытын, (с) 8.15 (с) -суреттегі токтың бағытын, (d) 8.15 (d) -суреттегі магнит жүйесінің полярлығының бағытын табыңыз.

(а) Негізгі магнит өрісінің бағыты солтүстіктен оңтүстікке қарай, яғни солдан оңға қарай бағытталған. Ток бақылаушыға қарай аққан, бұрғы ережесі арқылы өрістің бағыты ілгерілемелі емес кері қарай бағытталған. Сонымен Флемингтің сол қол ережесі немесе 8.16-суретте көрсетілген магниттік өрістерінің өзара әрекеттесу көріністері арқылы күштің әсер ететін бағыттын анықтауға болады. Өткізгішке әсер ететін күштің бағыты төменнен жоғары қарай бағытталғаны көрініп тұр.

(b) (а) баптағы тәсілді қолдана отырып, 8.16(b)–суреттен, өткізгішке әсер ететін күш сол жақтан бағытталғаны көрініп тұр. 8.16 (с) -суретті қараңыз.

(с) Флемингтің сол қол ережесіне сүйене отырып, 8.16 (с) -суретте келтіргендей ток қағаздан шығып, бақылаушыға қарай бағытталған.

(d) 8.16 (d) – суреттегі сияқты магнитті жүйенің полярлығының бағыты (d) бабындағы сияқты.

6-есеп. Ені 24 мм, ұзындығы 30 мм тік төртбұрышты қаңқаға орам оралған. Қаңқа өз өсімен айнала алады, магнит өрісіне перпендикуляр осы өс екі қысқа жақтарының ортасынан өтеді және магнит индукциясы 0.8 Тл біртекті магнит өрісіне орналастырылады. Егер орам арқылы 50 мА ток өтсе, әрбір орам үшін табыңыздар: (а) оның бүйір жағындағы 1 шумақтың күшін, (b) 300 шумағы бар ораманың күшін.

(а) Магнит индукциясы $B = 0.8$ Тл өріске тік бұрышпен орналасқан өткізгіштің ұзындығы $l = 30$ мм = 30×10^{-3} м. Әрбір орамның ток күші 50 мА = 50×10^{-3} А. Бір шумақты орам үшін әрбір шумақтың күші:

$$F = BIl = 0.8 \times 50 \times 10^{-3} \times 30 \times 10^{-3} = 1.2 \times 10^{-3} \text{ Н}$$

немесе **0.0012 Н**.

(b) Орамның 300 шумағы болғандықтан, ол 300 параллель өткізгіштерге парапар және әрбір өткізгіштің ток күші 50 mA тең деп алынады. Олай болса, 1 шумақпен салыстырғанда орамның жалпы күші 300 есе артық болғаны, сондықтан орамның күші: $F = 300BIl = 300 \times 0.0012 = 0.36 \text{ Н}$

Келесі жаттығуларды орындаңыздар.

39-жаттығу. Тоғы бар өткізгіштердің күштеріне арналған қосымша есептер

1. Өткізгіштен 70 A ток ағып жатыр, магнит өрісіне тік бұрышпен бағытталған магнит индукциясы 1.5 Tл . Егер өріс ішіндегі өткізгіштің ұзындығы 200 мм болса, онда өткізгішке әсер ететін күшті табыңыз. Егер өткізгіш өріске 45° еңкейіп орналасса, онда күш қандай болады?
[21.0 Н, 14.8 Н]
2. Тұрақты қозғалтқыштағы өткізгіштің ұзындығы 240 мм , магнит өрісіне өткізгіш тік бұрышпен орналасқан, оның магнит индукциясы 1.25 Tл , әсер ететін күш 1.20 Н болу үшін қанша ток қажет?
[4.0 А]
3. Ұзындығы 30 см өткізгіш магнит өрісіне тік бұрышпен орналасқан. Егер өткізгіштің 15 A ток күші 3.6 Н күшті тудырса, онда магнит өрісінің индукциясы қандай?
[0.80 Tл]
4. Ұзындығы 300 мм өткізгіш магнит өрісімен тік бұрышпен орналасқан. Өткізгіштің ток күші 13 A , әрқайсысының диаметрі 80 мм болып келген екі дөңгелек полюстердің арасында орналасқан. Егер осы екі полюс арасындағы жалпы

магнит ағыны 0.75 мВб болғанда өткізгішке әсер ететін күшті есептеңіз.

[0.582 Н]

5. (а) Электр қозғалтқыштың екі полюстерінің арасындағы магнит өрісіне тік бұрышпен орналасқан өткізгіштің ұзындығы 400 мм , одан өтетін токтың шамасы 25 А . Полюстердің көлденең қимасы дөңгелек. Осы өткізгішке әсер ететін күштің шамасы 80 Н , ал полюстер арасындағы магнит өрісі ағынының толық тығыздылығы 1.27 мВб , полюс беттерінің диаметрін анықтау керек.

(b) (а) бабында келтірілген өткізгіш тік болсын, ток төмен қарай аққанда, магнит өрісінің бағыты солдан оңға қарай бағытталады, сонда осы 80 Н күштің бағыты қандай болғаны?

[(а) 14.2 мм (b) бақылаушыға қарай]

6. Ені 18 мм , ұзындығы 25 мм орама біркелкі қаңқаға оралған. Осы қаңқа өзінің өсі арқылы айнала алады. Өс екі қысқа жақтарының ортасы арқылы өтеді. Ол біртекті магнит өрісіне енгізіледі, оның магниттік индукциясы 0.75 Тл . Өс магнит өрісіне перпендикуляр. Егер орама арқылы 120 мА ток өтсе, әрбір шумаққа әсер ететін күшті есептеңіз: (а) бір шумақты ораманың; (b) 400 шумақты ораманың.

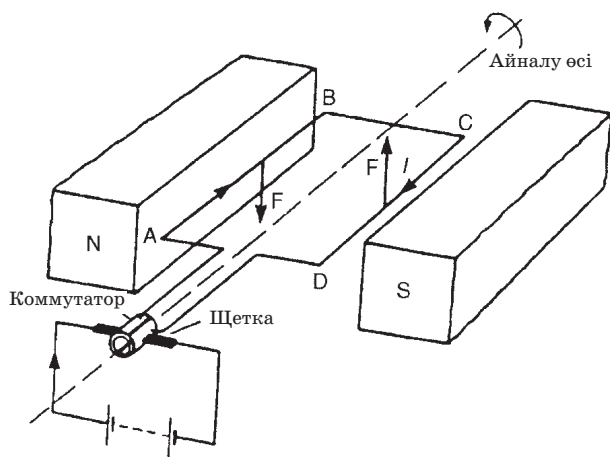
[(а) $2.25 \times 10^{-3} \text{ Н}$ (b) 0.9 Н]

8.4. Тұрақты ток электрқозғалтқышының жұмыс істеу принципі

Тікбұрышты орама қозғалмайтын өс арқылы еркін айналсын, *8.17-суретте* көрсеткендей осы өс тұрақты магнит өндіре алатын магнит өрісінің ішінде орналасқан.

Орамға көміртегі қылшығы арқылы тұрақты ток беріліп, коммутаторға осы көміртегі қылшықтары бекітеледі. Коммутатор екіге бөлініп, металл сақинасынан тұрады және олар изолятор арқылы оқшауланған. Орам арқылы ток өткенде оның ай-

наласында магнит өрісі туып, ол тұрақты магнит өрісімен өзара әрекеттеседі. Осының нәтижесінде F күші пайда болып, ток өткізуші қылсымға әсер етеді, сонда оның бағыты Флемингтің сол қол ережесімен анықталады, яғни оның бағыты A және B нүктесінің арасында төмен қарай, ал C мен D нүктесінің арасында жоғары қарай бағытталады. Міне, осы себептермен айналу моменті туып, орам ілгерілемелі емес, кері қарай қозғалады. Орам 90° бұрылғанда *8.17-суретте* көрсеткендей қылшықтар қоректендіру көзінің оң және теріс полюстеріне жалғанып, коммутатор сақинасының жан жағынан түйіспелі жанасады. Егер ток қайта бұрынғы қалпына келмесе немесе орам осы позиция жанынан өткенде әсер ететін күш оның бағытын өзгертсе, сонда ол кері қарай қайтадан айналатын болады, яғни ол жарты айналымнан артық ешқандай айналым жасай алмайды екен. Осы көрсетілген орамның айналымы вертикал жағдайынан теңселгенде орнынан қанша уақытқа дейін ток ағып жатқанша орама ілгерілемелі емес кері қарай қозғалып отырады. Бұл тұрақты ток қозғалтқышының жұмыс істеу принципі болып табылады, сонымен қозғалтқыш дегеніміз электр энергиясын механикалық энергияға түрлендіруші құрылғы болып табылады.



8.17-сурет

Тұрақты ток машинасы – механикалық энергияны тұрақты токтың энергиясына (генератор ретінде) және керісінше, тұрақты токтың энергиясын механикалық энергияға (қозғалтқыш ретінде) түрлендіретін электр машинасы. Тұрақты ток машинасы қайтымды, яғни әрі генератор, әрі қозғалтқыш ретінде жұмыс істей алады. Мысалы, электрлендірілген жылжымалы құраманың (электровоздардың) тартым қозғалтқыштары және қуаты тұрақты ток электр жетектерінің электрлік қозғалтқыштары осы негізде жұмыс істейді.

Тұрақты ток машинасы негізгі магнит өрісі параллель, *тізбекті* және *аралас қоздырылатын*, сондай-ақ *тұрақты магниттері* бар түрлерге ажыратылады. Ол айналу жиілігін біртіндеп, үнемі әрі кең алқапта реттей алады. Тұрақты ток машинасы өнеркәсіптің электрқозғалтқышының айналыс жиілігін қатаң сақтау және кең аралықта өзгерту қажет болатын саласында кеңінен қолданылады.

Тұрақты ток генераторы

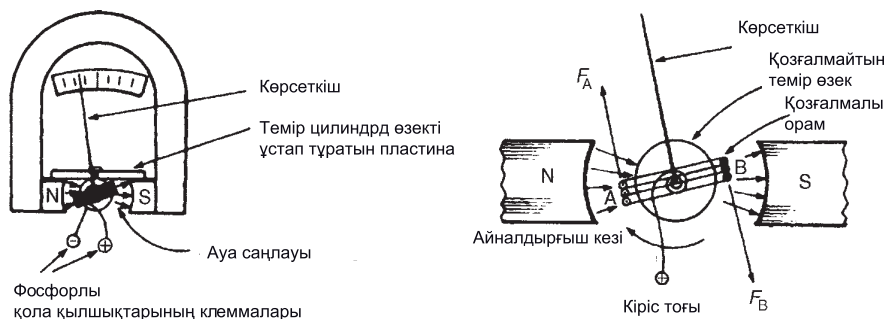
Оның жұмыс істеу принципі магнит өрісінде зәкірді айналдырғанда оның шумағында э.қ.к. – нің индукциялануына негізделген. Тұрақты ток генераторы коллекторлы және коллекторсыз түрге бөлінеді. Прокат стандартының, аэродинамикалық құбырлардың желдету қондырғыларын, ірі экскаваторлардың реттелінетін электр жетектерін, дербес тұрақты топ тораптарын қоректендіруге арналған қорек көзі ретінде, сондай-ақ автоматты реттеу жүйелерінде (мысалы, тахогенераторларда) қолданылады.

8.5 Орамы қозғалмалы құралдың жұмыс істеу принципі

Орамы қозғалмалы құрылғы қозғалтқыштың принципі бойынша жұмыс істейді. Өткізгіш тогы бар магнит өрісіне

енгізілгенде оған F күші әсер етеді. Егер магниттік индукция B -ға тең тұрақты болса (тұрақты магниттерді өткізгіштің ұзындығы да тұрақты, мысалы, орам), онда күш өткізгіштен ағатын токқа ғана тәуелді бола алады. Орамы қозғалмалы аспапта орамды полюс ұштарының арасындағы саңылаудың ортасына орналастырады, 8.18-суретте көрсеткендей. Ауа саңлауы өте кішкентай болуы керек, алайда, суретте оны анық көрсету үшін шамалы ұлғайтқан.

8.18-суретте орам болат топсаларымен мойынтірекке бекітіліп, темір цилиндр өзегіне тіреліп орнатылады. Орамадағы ток екі фосфорлы қала спиральді қылшықтар арқылы біресе еніп және біресе шығып жатады, бұл спиральдар қарама-қарсы, яғни кері жаққа қарай оралған, себебі, осындай жағдай температураның өзгерісімен орамның теңселуін шектеп отырады. Басқаша айтқанда 8.18-суретте көрсеткендей қозғалысты бақылап отырады, сөйтіп ток болмаған жағдайда қозғалысты нөл жағдайына әкеліп, доғартады. Орам арқылы өткен токтың тудыратын күшінің бағыты Флемингтің сол қол ережесімен анықталады. Екі күш F_A пен F_B айналу моментін тудырады, осы күш орамды ілгерілмелі қозғалтады, яғни ток сол жақтан оңға қарай бағытталады. Күш токқа пропорционал болғандықтан, өлшеу масштабы сызықты.



8.18-сурет

Алюминий рамасы магнит полюстерінің ортасында айналғанда, кішкентай токтар (құйынды токтар) рама ішінде индукцияланады, міне осы қаңқаның магнит өрісі ішінде қозалысын тоқтату мүмкіншілігі автоматты түрде жүйенің басылуын тудырады. Орамы қозғалмалы құрылғылар тек тұрақты ток пен кернеуді өлшей алады және оң, теріс белгіленген клеммалар орамнан өтетін токтың дұрыс бағытпен ағып жатқанына кепілдік бере алады, ол үшін масштабты көрсететін шкаладағы көрсеткіш жоғары қарай қозғалуы қажет. Құрылғының дәлділік диапазоны шунттармен мультипликаторларды қолдану арқылы ұзартылады (10-тарауды қараңыз). Магнит өрісі ішінде раманың қозғалысы меншікті магнит кедергісіне байланысты.

8.6 Заряд күші

Заряд Q кулон v м/с жылдамдықпен қозғалғанда магнит өрісінде магнит индукциясы B Тл, заряд өріске перпендикуляр қозғалады, онда зарядқа әсер ететін F күштің шамасы келесі формуламен анықталады:

$$F = QvB \text{ Ньютон}$$

7-есеп. Теледидар түтігіндегі Q заряды 1.610^{-19} Кл тең және ол магнит өрісіне перпендикуляр 3×10^7 м / с жылдамдықпен қозғалады, сондағы магниттік индукция 18.5 мкТл. Зарядқа әсер етілетін күшті есептеңіз.

$F = QvB$ Ньютон, мұндағы, Q –кулонмен алынған заряд $= 1.6 \times 10^{-19}$ Кл, v – зарядтың жылдамдығы $= 3 \times 10^7$ м/с, B – магниттік индукция 18.5×10^{-6} Тл. Олай болса, электронға әсер етілетін күш:

$$F = 1.6 \times 10^{-19} \times 3 \times 10^7 \times 18.5 \times 10^{-6} = \\ 1.6 \times 3 \times 18.5 \times 10^{-18} = 88.8 \times 10^{-17} \text{ Н}$$

Келесі жаттығуларды орындаңыздар.

40-жаттығу. Заряд күшіне арналған қосымша есептер

1. 1. Зарядқа 2×10^{-18} әсер ететін күшті есептеңіз, егер оның жылдамдығы 2×10^6 м/с болса, ол өріске перпендикуляр, өріс индукциясы: 2×10^{-7} Тл.

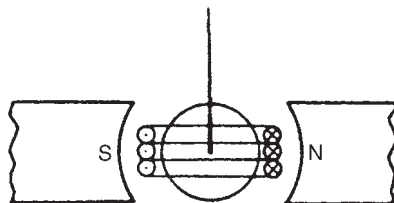
$$[8 \times 10^{-19} \text{ Н}].$$

2. 2. Егер заряд өріске перпендикуляр қозғалса және оның магниттік индукция 10^{-7} Тл, ал зарядқа әсер ететін күші 10^{-20} Н болса, 10^{-19} Кл зарядтың жылдамдығын табыңыз.

$$[10^6 \text{ м/с}]$$

41-жаттығу. Электрмагнетизм бойынша сұрақтар

1. Ток өткізетін өткізгіштің айналасындағы магнит өрісінің бағытын қандай ережемен анықтауға болады?
2. Соленоид батареямен қосылып, темір шыбыққа оралғанда пайда болған магнит өрісінің күш сызықтарын салу керек. Магнит өрісінің бағытын көрсетіңіздер.
3. Электрмагнетизмді қолданатын үш мысалды келтіріңіздер.
4. Ток өткізетін өткізгішті екі магнит арасындағы магнит өрісіне енгізгенде қандай құбылыс туады?
5. Магнит өрісінде ток бар өткізгішке әсер ететін күштің төрт факторын атаңыздар.
6. Магнит өрісінде орналасқан өткізгішке әсер ететін күштің бағытын Флемингтің сол қол ережесін пайдалана отырып, анықтаңыздар.
7. Тоғы бар өткізгішті қолданатын үш жерді атаңыздар.



8.19-сурет

8. *8.19-суретте* көрсетілгендей орамы қозғалмалы аспаптың қарапайым сызбасының бөлігі берілген. Орамадан өтетін токтың бағытын нұсқама тілінің қозғалуы арқылы қалай анықтауға болады?
9. Қарапайым тұрақты токты қозғалтқыштың әсерін суреттің көмегімен түсіндіріңіздер.
10. Орамы қозғалмалы құрылғының сызбасын салыңыздар, осындай құрылғының жұмыс істеу принципін түсіндіріңіздер.

42-жаттығу. Электрмагнетизм бойынша тест сұрақтары (жауаптары кітаптың соңында)

Магнит өрісіне тік бұрышпен орналасқан өткізгіш арқылы 10 А ток өтеді, оның магниттік ағынының тығыздығы 500 мТл. Өріс ішіндегі өткізгіштің ұзындығы 20 см, сонда өткізгішке әсер ететін күш тең:

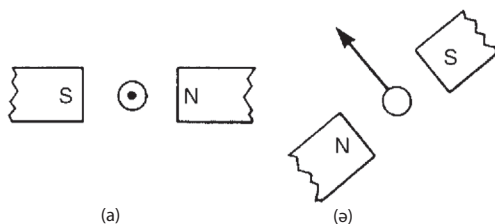
- (a) 100 кН
- (b) 1 кН
- (c) 100 Н
- (d) м Н

Егер өткізгіш горизонталь жатса, ток сол жақтан оң жаққа қарай ақса, айналасындағы магнит өрісінің бағыты жоғарыдан төмен қарай бағытталса, өткізгішке әсер ететін күш бағыты қандай:

- (a) солдан оңға қарай
- (b) астынан үстіне қарай
- (c) бақылаушыдан алыстай
- (d) бақылаушыға қарай

8.20-суретте магнит өрісіндегі тогы бар өткізгіш (ток өткізетін қысым) көрсетілген. Өткізгішке әсер ететін күштің бағыты қандай?

- (a) солға қарай
- (b) жоғары
- (c) оңға қарай



8.20-сурет

(d) төмен қарай

8.20-суретте көрсетілген магнит өрісі ішіндегі ток өткізетін қыл сым көрсетілген, өткізгіштегі токтың бағыты қандай.

(a) бақылаушыға қарай,

(b) бақылаушыдан алыстай

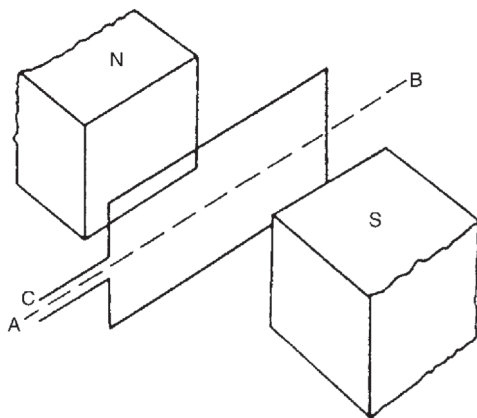
8.21-суретте келтірілген сымның төртбұрышты орамы магнит өрісінің ішіне енгізілген, АВ өсімен еркін айналады. Егер орам арқылы С тогы өтсе, онда орам қандай болғаны?

(a) ілгерілемелі қозғалысқа кері қарай қозғалады

(b) ілгерілемелі қозғалады

(c) солтүстікке қарай әсер ететін күшті сезеді

Орам магнит өрісінде 10^7 м/с жылдамдықпен қозғалады, магниттік индукция 10 мТл, оған 1.6×10^{-17} Н күш әсер етеді. Электронның заряды қандай?



8.21-сурет

(a) 1.6×10^{-28} Кл

(b) 1.6×10^{-19} Кл

(c) 1.6×10^{-15} Кл

(d) 1.6×10^{-25} Кл

Электр қоңырауына әсер ететін қандай жағдай?

(a) тұрақты магнит

(b) токтың өзгеруі

(c) балға мен қоңырау

(d) электрмагнит

Реле қай жерде қолданылады?

(a) тізбекте ток таусылғанда

(b) тізбекті тексеру үшін

(c) тізбекте токты ұлғайту үшін

(d) тізбекті алыстан тексеру үшін

Ток өткізгіш қыл сым арасында өзара тартылу күші бар, егер оларда ток:

(a) қарама-қарсы ақса

(b) бір бағытта ақса

(c) мәндері әртүрлі болса

(d) мәндері бірдей болса

Ток өткізетін қыл сым тудыратын магнит өрісінің пішіні қандай:

(a) тік бұрышты

(b) концентрлі дөңгелек

(c) толқындық сызықтар

(d) сыртқа шығатын түзу сызықтар.

9–тарау

Электрмагниттік ИНДУКЦИЯ

Тараудың соңында меңгерілетін сұрақтардың тізімі:

- Өткізгіште электр қозғаушы күштің пайда болу себебі;
- Фарадейдің электрмагниттік индукция заңының анықтамасы;
- Ленц заңы;
- Салыстырмалы бағыт үшін Флемингтің оң қол ережесі;
- Индукцияланған э.қ.к. – ті бағалау, $E = Blv$ немесе $E = Blv \sin \theta$;
- Егер B , l , v мен θ° берілсе, э.қ.к. есептеу және салыстырмалы бағытты анықтау;
- Магнит өрісінің ішіндегі тұзақтың айналуын түсіндіріп, есептеулер жүргізе білу;
- L индукцияны анықтау, оның өлшем бірлігі.
- Өзара индукциялық
- Э.қ.к.анықтамасы: $E = -N \frac{d\Phi}{dt} = -L \frac{dI}{dt}$
- Егер N , t , L және ағын мен токтың заряды өзгергенде э.қ.к. есептеу.

- Орамның индукциясына әсер ететін факторларды анықтау.
- Орамның сызбадағы белгісі
- Индукция жолымен жиналған энергияны $W = \frac{1}{2} LI^2$ Дж формуламен есептей алу.
- Орамдағы L индукцияны $L = \frac{N^2}{S}$ мен $L = \frac{N\Phi}{I}$ формулаларымен есептей алу.
- Өзара индукцияны есептеуді меңгеру: $E_2 = -M \frac{dI_1}{dt}$
және. $M = \frac{N_1 N_2}{S}$

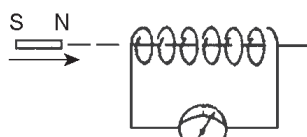
9.1 Электрмагниттік индукцияға кіріспе

Тоғы бар өткізгіш өзінің маңындағы кеңістікте өрістің басқа бір түрін – магнит өрісін туғызады. Гравитация өрісі және электр өрістері тәрізді магнит өрісі де біздің санамыздан тыс өмір сүретін материяның ерекше бір түрі. Электр өрісі тәрізді магнит өрісін де көрнекті түрде оның күш сызықтары арқылы бейнелеуге болады. Магнит өрісінің күш сызықтары осы өрістің кеңістікте таралуының бейнесін береді. Ол сызықтар тұйық болады. Бұлай болуы табиғатта магнит зарядтарының болмайтындығының белгісі. Кеңістіктегі магнит өрісі тек магнит тілшелеріне ғана емес, сонымен қатар осы өрісте қозғалып бара жатқан кез келген зарядқа, басқаша айтқанда, тоғы бар өткізгішке де әсер етеді.

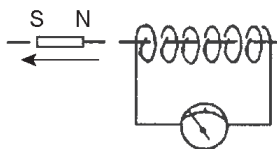
Өткізгіш магнит өрісінің күш сызықтарын (немесе ағынын) көлденең кесіп өткенде электр қозғаушы күш (э.қ.к.) пайда болады. Егер өткізгіш тұйық контурдың бөлігі болып табылса, онда осы дөңгелек контур бойымен аққан электр тоғы э.қ.к. туды-

рады. Сондықтан магнит өрісінде өткізгіштің көлденең қозғалуы нәтижесінде өткізгіште э.қ.к. (олай болса, ток) «индукцияланады», яғни туындалады. Осы әсерді **электрмагнитті индукция** деп атайды. *9.1-суретте* көрсетілген сым орам нөлдік белгісі шкаланың ортасында орналасқан гальванометрмен жалғанған. Нөлдік токтың позициясы шкаланың ортасында орналасқан сезімтал амперметрмен анықталады.

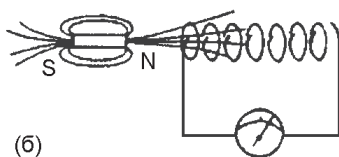
- (a) *9.1-суретте* көрсеткендей орам бағытына қарай магнит тұрақты жылдамдықпен қозғалғанда гальванометрдегі нұсқама тілінің ауытқуы байқалып, орамда токтың пайда болғанын көрсетеді.
- (b) Магнит орамдан кері бағытта (a)–да берілген шарттағы жылдамдықпен қозғалса, *9.1(b)-суретте* көрсеткендей гальванометрдегі ауытқу да кері бағытта байқалады.
- (c) Магнит қозғалмайтындай етіліп бекітілсе, онда тіпті орамның өзінің ішінде болса да ауытқу байқалмайды.
- (d) Орам (a) сияқты жылдамдықпен қозғалғанда, магнит қозғалмай, гальванометрдегі ауытқу көрінбейді.



(a)



(ә)



(б)

9.1-сурет

- (e) Салыстырмалы жылдамдықтарды екі есе өсірсе, гальванометрдегі мәндердің шамасы да екі еселенеді.
- (f) Күшті магнит гальванометрдегі көрсеткіштің ауытқуын ұлғайтпайды.
- (g) Орамдағы шумақтың саны ұлғайса да, гальванометрдің ауытқуы ұлғаймайды.

9.1-суретте магнитпен байланысқан магнитті өріс келтірілген. Магнит орамға жақындағанда магниттердің магнит ағыны көлденең жылжып ауысады, сөйтіп, спираль бойынша қозғалып, орамдан өтіп шығады.

Магнит ағыны мен орамның арасындағы салыстырмалы қозғалыстар э.қ.к. тудырады, сондықтан орам индукцияланған токты тудырады. Осы әсерді **электрмагниттік индукция** деп атайды. *9.2-тарауда* электрмагниттік индукцияның заңдары келтірілген.

Электр қозғаушы күш (э.қ.к.) – электр тізбегіне жалғанған, табиғаты электрстатикалық емес энергия көзі. Тек электрстатикалық күштер ғана тұйық тізбекпен тұрақты токтың үздіксіз өтуін қамтамасыз ете алмайды. Өйткені бұл күштердің тұйық контур бойымен зарядты қозғалтуы үшін жұмсайтын жұмысы нөлге тең, ал ток жүрген кезде әдетте, энергия шығыны пайда болады. Сондықтан тұйық контурмен үздіксіз ток жүруі үшін электр тізбегінен тыс басқа бір энергия көзі болу керек. Бұл энергия көзі энергияны сырттан ала отырып, оны зарядтардың қозғалыс энергиясына айналдырып, қосымша электр өрісін (E) тудырады. Мұндай қосымша электр өрісі күшінің тұйық контур бойымен істейтін жұмысы нөлге тең болмайды: E' шамасы э.қ.к. деп аталады және оның шамасы бірлік зарядты қозғалтуға кететін электрстатикалық емес күштердің жұмысына тең. Потенциал сияқты э.қ.к. – тің де өлшем бірлігі – вольт (В).

9.2 Электрмагнитті индукцияның заңдары

Электрмагниттік индукция үшін Фарадей заңы:

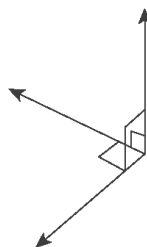
Магнит өрісімен тізбектегі өзгерістер өзара байланысты, соның нәтижесінде э.қ.к. пайда болады.

Кез келген контурда индукцияланған э.қ.к. – ің шамасы тізбекті қосатын магнит ағыны жылдамдығының өзгеруіне пропорционал.

Ленц ережесі:

Индукциялық токтың магниттік өрісі осы индукциялық токты тудыратын магниттік өрістің өзгерісін компенсациялауға тырысады.

Э.қ.к. –ің бағытын табу үшін Ленц заңынан басқа тәсілді, мысалы Флемингтің оң қол ережесін (генератор ережесі деп жиі



9.2-сурет

аталады) де қолдануға болады: Оң қолдың бас бармағы, бірінші саусақпен екінші саусақтар бір-бірімен тік бұрыш жасай отырып, барынша созылсын (9.2-сурет). Егер бірінші саусақ – өрістің бағытын, басбармақ – магнит өрісімен салыстырғандағы өткізгіштің қозғалыс бағытын анықтаса, онда екінші саусақ – *э.қ.к.* – ің бағытын көрсете алады.

Қорыта келгенде:

Бірінші саусақ – *э.қ.к.* – ің бағытын;

Екінші саусақ – өрістің бағытын;

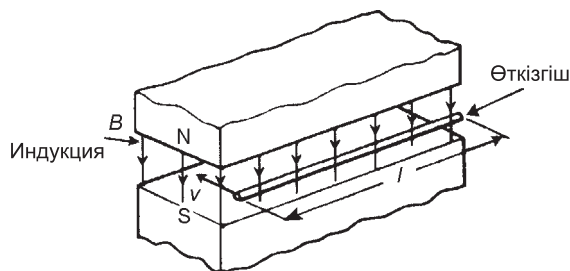
Басбармақ – өткізгіштің қозғалыс бағытын көрсете алады.

Магнит өрісін түзу үшін өткізгіштер генераторларда электр тізбектерін құрайды. Фарадей заңына сай өткізгіштерде *э.қ.к.* индукцияланады, сөйтіп *э.қ.к.* – нің көзі пайда болады. Генератор механикалық энергияны электр энергиясына түрлендіреді. Тұрақты ток генераторының қарапайым түрі 14-тарауда келтіріледі. 9.3-суретте өткізгіштер ұштарының арасында индукцияланған *э.қ.к.* – E келтірілген және оның формуласы: $E = Blv$ вольт.

Мұндағы, B – индукция, өлшем бірлігі Тл (тесла). Өткізгіштің l ұзындығы магнит өрісінде метрмен, өткізгіштің жылдамдығы – v м/с берілген.

Егер өткізгіш магнит өрісіне қарай θ^0 бұрышпен қозғалса (бұрынғыдай 90^0 градуспен емес), сонда:

$$E = Blv \sin \theta \text{ В.}$$



9.3-сурет

1-есеп. Ұзындығы 300 мм өткізгіш 4 м / с біркелкі жылдамдықпен біртекті магнит өрісіне перпендикуляр бағытта қозғалып келеді. Оның индукциясы өткізгіш 1.25 Тл . Өткізгіш арқылы өтетін токтың шамасын анықтау керек: егер (а) олардың ұштары ажыратылған болса, (б) олардың ұштарындағы кедергілері 20 Ом жүктемелерімен жалғанса.

Өткізгіш магнит өрісінің ішінде қозғалғанда өткізгіштің э.қ.к. индукцияланады, алайда, мұндай э.қ.к. тек тұйықталған контур үшін ғана токты тудыра алады.

Индукцияланған э.қ.к. тең: $E = Blv = (1.25) \left(\frac{300}{1000} \right) (4) = 1.5 \text{ В}$

(а) Егер өткізгіштердің ұштары ажыратылған болса, онда 1.5 В кернеуді бергеннің өзінде де ток тумайды.

(б) Ом заңынан: $I = \frac{E}{R} = \frac{1.5}{20} = 0.075 \text{ А}$ немесе 75 мА

2-есеп. Ұзындығы 75 мм өткізгіш тығыздылығы 0.6 Тл магнит өрісінің ағынын кесіп өтеді, сонда 9 В э.қ.к. индукциялану үшін өткізгіштің өткізгіштік жылдамдығы қандай болуы керек, өріс пен токтың бағыттары өзара перпендикуляр болсын деп болжайық. Индукцияланған э.қ.к. $E = Blv$ сонда өткізгіштік жылдамдығы $v = E / Bl$.

$$v = \frac{9}{(0.6)(75 \times 10^{-3})} = \frac{9 \times 10^3}{0.6 \times 75} = 200 \text{ м/с}.$$

3-есеп. Жылдамдығы 15 м / с өткізгіш магнит өрісіне (а) 90° , (б) 60° , (с) 30° бағытпен қозғалады, екі квадрат бет жақтарының арасы 2 см . Полюс бетінен шыққан ағын 5 мкВб , сонда әрбір шарт үшін индукцияланған э.қ.к.—ің мәнін табыңыз.

$v = 15$ м/с ; магнит өрісіндегі өткізгіштің ұзындығы
 $l = 2$ см = 0.02 м , полюс бетінің ауданы: және магнит ағыны:
 $\Phi = 5 \times 10^{-6}$ Вб Олай болса,

$$(a) E_{90} = Blv \sin 90^\circ = \left(\frac{\Phi}{A} \right) lv \sin 90^\circ$$

$$= \left(\frac{5 \times 10^{-6}}{4 \times 10^{-4}} \right) (0.02)(15)(1) = 3.75 \text{ мВ}$$

$$(b) E_{60} = Blv \sin 60^\circ = E_{90} \sin 60^\circ = 3.75 \sin 60^\circ = 3.25 \text{ мВ}$$

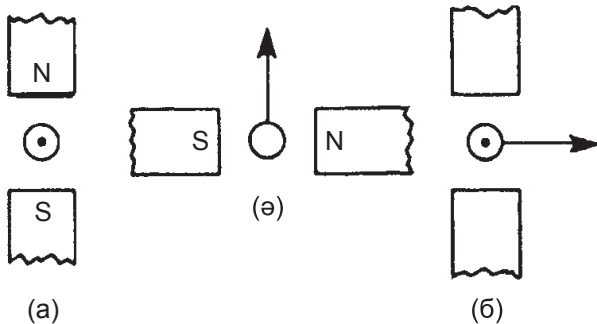
$$(c) E_{30} = Blv \sin 30^\circ = E_{90} \sin 30^\circ = 3.75 \sin 30^\circ = 1.875 \text{ мВ}$$

4-есеп. Ұшақ қанаттарының құлашы 36 м. Ұшақтың жылдамдығын 400 км / сағ деп алғанда, оның екі қанаттарының арасындағы индукцияланған э.қ.к. мәнін табыңыз. Жердің магнит өрісінің вертикал құраушысы 40 мкТл деп алынсын.

Ұшақтың қанаттары арқылы индукцияланған э.қ.к: $E = Blv$

$$B = 40 \text{ мкТл} = 40 \times 10^{-6} \text{ Тл} , l = 36 \text{ м және}$$

$$v = 400 \frac{\text{км}}{\text{сағ}} \times 1000 \frac{\text{м}}{\text{км}} \times \frac{1 \text{ сағ}}{60 \times 60 \text{ с}} = \frac{(400)(1000)}{3600} = \frac{4000}{36} \text{ м/с}$$

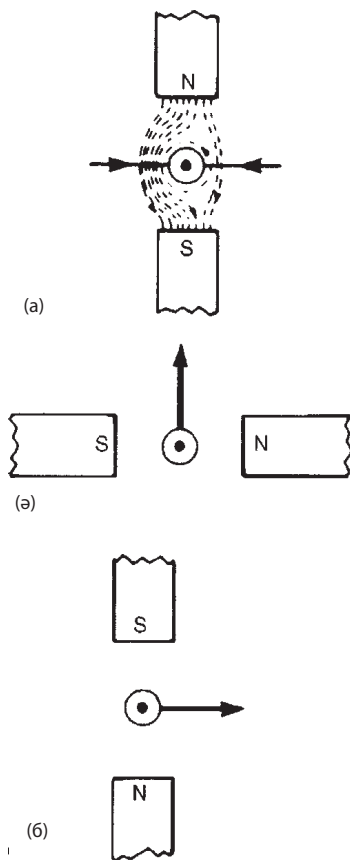


9.4-сурет

$$\text{Сонда } E = Blv = (40 \times 10^{-6})(36) \left(\frac{4000}{36} \right) = 0.16 \text{ В}$$

5-есеп. 9.4-суретте э.қ.к. – ің пайда болу түрлері келтірілген. Анықтаңыздар: (а) 9.4(a)-суреттегі өткізгіш қандай бағытта қозғала алады, (б) 9.4(c)-сурет арқылы магнит жүйесінің полюстерін.

Э.қ.к.-ің бағыты, яғни э.қ.к.-ің әсерінен туған токтың бағыты Ленц заңымен немесе Флемингтің оң қол ережесімен анықталынады (генератор ережесі).



9.5-сурет

Ленц заңын пайдаланайық; магнит арқылы пайда болған өріс пен ток өткізгіште тудыратын өрістерінің бейнесі *9.5 (a) -суретте* келтірілген. Суреттен өткізгіштің сол жағындағы күштің нығайтылғаны көрініп тұр. Осыдан өткізгішке түсетін әсер оң жағынан туатыны шығады. Алайда Ленц заңынан э.қ.к. – ің бағыты оны тудыратын әсерге қарсы бағытталатыны белгілі. Олай болса, **өткізгіш солға қарай ығысуы керек.**

Флемингтің оң қол ережесін пайдалана отырып:

бірінші саусақ – өріс; олай болса $N \rightarrow S$ солтүстіктен оңтүстікке немесе оңнан солға қарай бағытталған;

басбармақ – қозғалыс, олай болса, жоғары қарай бағытталған; екінші саусақ – э.қ.к.-ің бағытын көрсетеді;

Ендеше *9.5 (b) -суретте* келтіріген сияқты өткізгіш қағаздан бақылаушыға қарай бағытталған

Магнит жүйесінің полярлығы *9.4 (c) -суретте* және *9.5 (c) -суретте* келтірілген, мұнда Флемингтің оң қол ережесін пайдалану керек.

Келесі жаттығуларды орындаңыздар.

43-жаттығу. Индукцияланған э.қ.к. арналған қосымша есептер

1. Ұзындығы 15 см , жылдамдығы 750 мм / с өткізгіш магнит өрісіне тіке бұрышпен қозғалады, өріс индукциясы 1.2 Тл . Өткізгіштегі индукцияланған э.қ.к. мәнін табыңыз.

[0.135 В]

2. Ұзындығы 120 мм өткізгіш өріспен тік бұрыш жасай орналасқан, индукция 0.6 Тл , индукцияланған э.қ.к. 1.8 В , осындай э.қ.к. индукциялану үшін өткізгіштің жылдамдығы қандай болуы керек?

[25 м / с]

3. Ұзындығы 25 см , тұрақты жылдамдығы 8 м / с , индукциясы 1.2 Тл біртекті магнит өрісі арқылы өткізгіш қозғалады.

Өткізгіш арқылы өтетін токты табыңыз, (а) егер олардың ұштары ажыратылған болса, (b) егер олардың ұштарына кедергісі 15 Ом жүктеме жалғанса.

$$4. [(a) 0 (b) 0.16 \text{ A}]$$

5. Ұзындығы 500 мм , біртекті магнит өрісінде тіке бұрышпен және тұрақты жылдамдықпен түзу сым қозғалады. Өткізгіште индукцияланған э.қ.к. – ің мәні 2.5 В , жылдамдығы 5 м / с магнит өрісінің индукциясын есептеңіз. Өткізгіш тұйық контурдың бөлігі болып табылады, жалпы кедергісі 50 Ом , осы өткізгіштің күшін табыңыз.

$$[1 \text{ Тл}, 0.25 \text{ Н}]$$

6. Автокөліктің жылдамдығы 80 км / сағ . Оның артқы өсінің ұзындығы 1.76 м . Жердің магнит өрісінің тіке құраушысы 40 мкТл болса, қозғалыс әсерінен өсте пайда болатын э.қ.к. табыңыз.

$$[1.56 \text{ мВ}]$$

7. Жылдамдығы 20 м / с магнит өрісімен өткізгіш тік бұрыш жасай, (а) 45°C және (b) 30° жасай қозғалады, екі квадрат бет қабырғасының полюс ұзындығы 2.5 см . (с) Полюс беттері магнит ағындары 60 мВб болса, әрбір берілген шарт үшін э.қ.к. мәнін табыңыз.

$$[(a) 48 \text{ В} (b) 33.9 \text{ В} (c) 24 \text{ В}]$$

8. Ұзындығы 400 мм өткізгіш магнит өрісінде 70° көлбеумен қозғалады. Өріс ағыны 0.85 Тл . Өткізгіштердің жылдамдығы 115 км / сағ , есептеу керек: (а) бағытталған кернеуді, (b) егер кедергісі 8 Ом резистор қосылса, өткізгішке әсер ететін күшті.

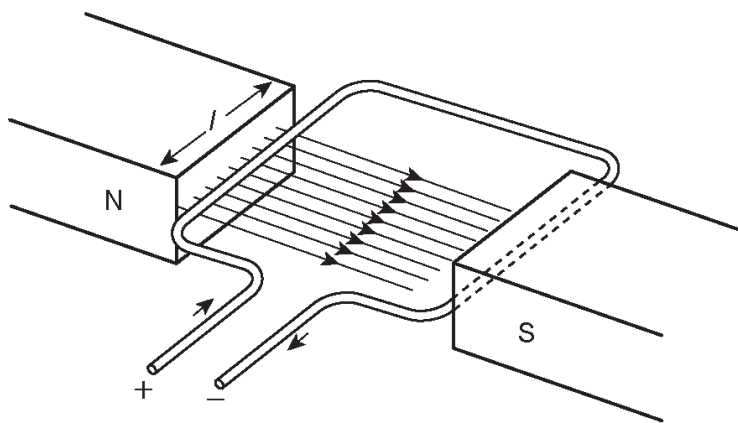
$$[(a) 10.21 \text{ В} (b) 0.408 \text{ Н}]$$

9.3 Магнит өрісінде тұзақтың айналуы

Өткізгіштер тұзақтарының түрлері *9.6-суретте* келтірілген. Оның жақтары магнит өрісінен көлденең өтеді. Ұзындығы l өткізгіш оң жақтан жоғары қарай қозғалып (Флемингтің оң қол ережесі қолданғанда), – солдан оңға қарай бағытталған магнит күш сызықтарын кесіп өтеді. Анықтамасы бойынша индукцияланған э.қ.к. мәні E –ге тең және ол қағаздың ішіне қарай бағытталған. Сол жағы жоғарыдан төмен қарай қозғалғандықтан (Флемингтің оң қол ережесімен тексеруге болады), l магнит күш сызықтарын кесіп өтіп, э.қ.к. солдан оңға қарай бағытталады.

Индукцияланған э.қ.к. мәні $Blv \sin \theta$ өрнегімен анықталады, бірақ бағыты қағаздан бері бақылаушыға қарай шығады. Сондықтан жалпы э.қ.к. өткізгіштің тұзағы үшін – $2Blv \sin \theta$. Енді N шумақтан тұратын орамды қарастырайық, өткізгіш тұзағының жалпы э.қ.к. – ің E мәнін келесі формуламен анықтаймыз:

$$E = 2NBlv \sin \theta .$$



9.6-сурет

6-есеп. Тік бұрышты орамның қабырғалары 12 см және 8 см . Осы орам магнит өрісінде айналады, оның индукциясы 1.4 Тл , орамның қабырғасы неғұрлым ұзын болса, соғұрлым оның ағыны дәлірек кесіледі. Орам 80 шумақтан тұрады және ол 1200 айн / мин жылдамдықпен айнала алады. Табу керек: (а) индукцияланған э.қ.к. – ің максималды мәнін, (b) орамның кернеуі 90 В болғанда, оның айналу жылдамдығын.

(а) э.қ.к. – ің өндірілуі: $E = 2NBLv \sin \theta$

Шумақ саны $N = 80$, индукция $B = 1.4\text{ Тл}$,

Магнит өрісіндегі өткізгіштің ұзындығы: $l = 12\text{ см} = 0.12\text{ м}$,

Жылдамдығы:

$$v = \omega r = \left(\frac{1200}{60} \times 2\pi \text{ рад/с} \right) \left(\frac{0.08}{2} \text{ м} \right) = 1.6\pi \text{ м/с},$$

сонда максималды индукцияланған э.қ.к. $E = 2NBlv \sin \theta$

$$= 2 \times 80 \times 1.4 \times 0.12 \times 1.6\pi \times 1 = 135.1 \text{ Вольт}$$

(b) $E = 2NBlv \sin \theta$ болғандықтан, $90 = 2 \times 80 \times 1.4 \times 0.12 \times v \times 1$.

$$\text{Осыдан: } v = \frac{90}{2 \times 80 \times 1.4 \times 0.12} = 3.348 \text{ м/с}.$$

$v = \omega r$ сонда, бұрышық жылдамдық:

$$\omega = \frac{v}{r} = \frac{3.348}{\frac{0.08}{2}} = 83.7 \text{ рад/с},$$

Орамның айналу жылдамдығы:

$$= \frac{83.7 \times 60}{2\pi} = 799 \text{ айн / мин}$$

(с)-ны табудың басқа тура пропорционалдық жолы белгілі.

$E = 2NBlv \sin \theta$ -нің құрамында N , B , l , θ тұрақты шамалар болғандықтан $E \propto v$ болуы керек.

Егер (а) бабындағы 135.1 В кернеуге $1200 \text{ айн} / \text{мин}$ айналу жылдамдығы сәйкес келсе, онда 1 В кернеуге қандай орамның айналу жылдамдығы сәйкес келетінін пропорция арқылы шығаруға болады:

$$\frac{1200}{135.1} = 8.88 \text{ айн} / \text{мин}.$$

Олай болса, 90 В кернеуге сәйкес айналу жылдамдығы $90 \times 8.88 = 799 \text{ айн} / \text{мин}$.

Келесі жаттығуларды орындаңыздар.

44-жаттығу. Орамдағы индукцияланған э.қ.к. арналған қосымша есептер

1. Тік бұрышты орамның қабырғалары 8 см және 6 см магнитсіз өрісте айналып қозғалады. Соның ұзын қабырғасы магнит өрісін кесіп қозғалады. Егер орамның индукциясы 1.6 Тл , айналу жылдамдығы $1500 \text{ айн} / \text{мин}$ және 60 шумағы болса, онда максимум индукцияланған э.қ.к.-ің мәнін есептеп табу керек.

[72.38 В]

2. Орам қаңқасының ұзындығы 100 мм , шумақ саны 1200 және ол магнит өрісінде айналады, өріс индукциясы 1.4 Тл . Егер орамның диаметрі 60 мм айналу жылдамдығы $450 \text{ айн} / \text{мин}$ болса, онда максималды өндірілетін э.қ.к. мәнін есептеңіз.

[47.50 В]

3. Егер 1 және 2 есептерде орам 60 В э.қ.к.-ін өндіретін болса, онда есептеу керек: (а) әрбір орам үшін олардың жаңа жылдамдықтарын; (б) жылдамдық өзгеріссіз қалса, индукцияны.

$$[(a) 1243 \text{ айн} / \text{мин}, 568 \text{ айн} / \text{мин} \\ (b) 1.33 \text{ Тл}, 1.77 \text{ Тл}]$$

9.4 Индуктивтілік

Индуктивтілік сызбаның қасиеті тізбекте э.қ.к. – і индукцияланған токтың өзгеруіне байланысты ағынның өзгеруі. Ток өзгерген сызбада э.қ.к. индукциялануын L –меншікті **индуктивтілік** деп атайды. Көрші тізбектегі токтың әсерінен ағынның өзгеруінің нәтижесінде тізбекте э.қ.к. индукцияланады, міне, осы қасиетті M **өзара индукция** деп атайды. Индуктивтіліктің өлшем бірлігі ретінде генри, Гн – алынады.

Егер 1 вольт э.қ.к. индукцияланғанда токтың өзгеру жылдамдығы бір секунд тізбектің индуктивтілігі 1 Генриге тең болады.

N – шумағы бар орамдағы индукцияланған э.қ.к. – і:

$$E = -N \frac{d\Phi}{dt} \text{ В},$$

Мұндағы, $d\Phi$ вебермен алғандағы ағынның өзгерісі, dt – бір секунд ішінде ағынның өзгеруі, (басқаша айтқанда $\frac{d\Phi}{dt}$ ағынның өзгеру жылдамдығы).

Индуктивтілігі L Гн орамның индукцияланған э.қ.к. – і:

$$E = -N \frac{dI}{dt} \text{ В}$$

Мұндағы, dI – ампермен алғандағы токтың өзгерісі, dt – бір секунд ішінде токтың өзгеруі (басқаша айтқанда, $\frac{dI}{dt}$ токтың өзгеру жылдамдығы).

Осы келтірілген екі теңдеудің де алдындағы минус таңба Ленц заңымен берілген э.қ.к. – ің бағытын көрсетеді.

7-есеп. Орамның 200 шумағы бар, индукция 25 мВб . 50 мс ішінде индукцияланған э.қ.к. – ің мәнін табыңыз.

Индукцияланған э.қ.к. мәні:

$$E = -N \frac{d\Phi}{dt} = -(200) \left(\frac{25 \times 10^{-3}}{50 \times 10^{-3}} \right) = -100 \text{ В} .$$

8-есеп. Тығыздығы 400 мкВб ағын 40 мс ішінде 150 шумақты орам арқылы өтеді. Орташа индукцияланған э.қ.к. мәнін табыңыз:

Ағын қайтадан қалпына келе алатындықтан ол +400 мкВб – ден –400 мкВб –ге дейін өзгере алады, жалпы алғанда өзгерісі 800 мкВб–ге тең. Индукцияланған э.қ.к. мәні:

$$E = -N \frac{d\Phi}{dt} = -(150) \left(\frac{800 \times 10^{-6}}{40 \times 10^{-3}} \right) = - \frac{150 \times 800 \times 10^3}{40 \times 10^6}$$

Олай болса **индукцияланған э.қ.к. орташа мәні**, $E = -3 \text{ В} .$

9-есеп. Егер индуктивтілік 12 Гн , ал токтың өзгеру жылдамдығы 4 А/с болса, орамдағы индукцияланған э.қ.к. мәнін есептеңіз:

$$\text{Индукцияланған э.қ.к. } E = -L \frac{dI}{dt} = -(12)(4) = -48 \text{ В}$$

10-есеп. Ток 4 А ден 0–ге дейін төмендегенде 8 мс ішінде кернеуі 1.5 кВ орам э.қ.к. – ті өндіреді. Орамның индуктивтілігін анықтаңыз. Токтың өзгерісі,

$$dI = (4 - 0) = 4 \text{ А және } dt = 8\text{мс} = 8 \times 10^{-3}\text{с}$$

$$\text{Индуктивтілік: } \frac{dI}{dt} = \frac{4}{8 \times 10^{-3}} = \frac{4000}{8} = 500 \text{ А/с}$$

және $E = 1.5кВ=1500 В$

$$|E| = L \frac{dI}{dt} \text{ болғандықтан}$$

$$\text{Индуктивтілік, } L = \frac{|E|}{(dI / dt)} = \frac{1500}{500} = 3 Гн$$

(Еске сақтайтын мәселе $|E|$ белгісі E шамасының минус таңбасын елемеуге болатынын көрсетеді).

11-есеп. Кернеуі $40 В$ орташа мәнді э.қ.к.орамда $150 мГн$ индуктивтілікті тудырады, егер $6 А$ ток кері бағытталса, токтың кері бағытқа кететін уақытын есептеңіздер.

$$|E| = 40 В, L = 150 мГн$$

Токтың өзгеруі $dI = 6 - (-6) = 12 А$

(ток кері бағытта айналғандықтан өзгереді).

$$|E| = \frac{dI}{dt} \text{ болғандықтан, } dt = \frac{LdI}{|E|} = \frac{(0.15)(12)}{40} = 0.045 с=45 мс$$

Сондықтан ток өзгеруіне кететін уақыт- $45 мс$

Келесі жаттығуларды орындаңыздар.

45-жаттығу Индуктивтілікке арналған қосымша есептер

1. Орамның 200 шумағы бар, магнит ағыны $30 мВб$ $40 мс$ өзгереді, сондағы орам тудыратын э.қ.к. табыңыз.

[$-150 В$]

2. Егер орамдағы шумақ саны 300 , магнит ағыны $12 мВб$ болса, кернеуі $25 В$ орам қанша э.қ.к. өндіреді? Ағынның өзгеріске ұшырау уақытын мс-пен есептеңіз.

[$144 мс$]

3. Оталдыратын орамның 10000 шумағы бар, ол 8 кВ э.қ.к. өндіреді, осындай э.қ.к. мәні пайда болу үшін өріс магнит ағынының өзгеріс жылдамдығы қандай?

$$[0.8 \text{ Вб} / \text{с}]$$

4. 25 с ішінде 125 шумағы бар орамнан 0.35 мВб магнит ағыны өтеді. Индукцияланған э.қ.к.-ің орташа мәнін анықтаңыз.

$$[3.5 \text{ В}]$$

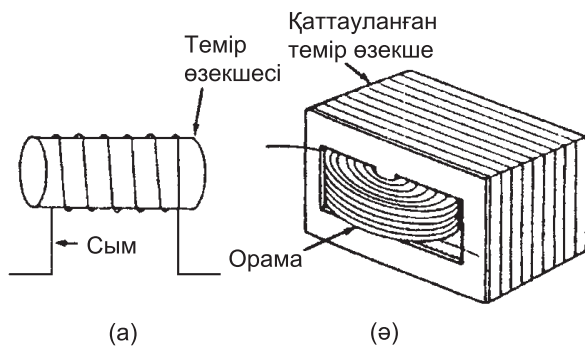
5. Орамның индуктивтілігі 6 Гн , ток $15 \text{ А} / \text{с}$ жылдамдықпен өзгереді, сондағы орамдағы индукцияланған э.қ.к. мәнін есептеңіз.

$$[-90 \text{ В}]$$

9.5. Индукторлар

Индуктор магнит өрісін тудыратын қондырғы және ол тұрақты магнит не электрмагнит болуы мүмкін. Тізбекте индуктивтілік керек жағдайда қолданылатын қондырғы индуктор деп аталады. Индуктордың негізі ретінде сымның шумағы алынады. Орамның индуктивтілігіне әсері ететін факторлар:

Сым шумағының саны – неғұрлым көп болса, соғұрлым индуктивтілік жоғары.



9.7-сурет



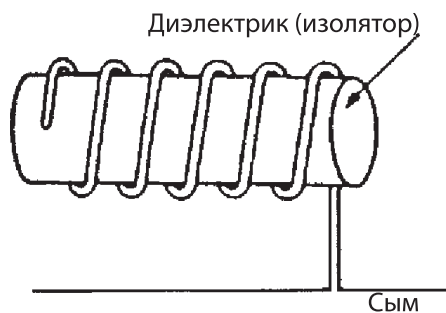
9.8-сурет

Сым шумағының көлденең қимасының ауданы – неғұрлым аудан үлкен болса, соғұрлым индуктивтілік жоғары. Магнит өзегінің болуы – темір өзегіне оралған орамдағы ток қоюланған магнит өрісінің әсерінен индуктивтілігін жоғарылатады, ал мұндай қоюланған магнит өрісінің әсері магнит өзегінен туады.

Шумақтағы орау тәсілдері – ұзын жіңішке сыммен салыстырғанда, қысқа жуан сымдармен оралған орамның индуктивтілігі жоғары.

9.7-суретте индукторды пайдаланудың екі мысалдары келтірілген. 9.8-суретте электр тоғының стандартты тізбегіндегі индуктивті орамның ауа саңлаулы өзегі мен темір өзегінің символдары көрсетілген.

Темір үгінді өзекті индукторды немесе индуктивті орамды дроссель деп атайды. Айнымалы тізбекті пайдаланғанда және өзек арқылы ток өткенде дроссельдің тоқты шектей ала-



9.9-сурет

тын тұншықтыру әсері бар. Индуктивтіліктің тізбекке жиі қажеттілігі жоқ. Индуктивтілікті минимумге дейін азайту үшін сымды артқа қарай ию қажет, сонда бір өткізгішті магниттеу эффектісі басқа көршілес өткізгішті нейтралдайды (9.9-суретте көрсетілген). Индуктивтілікті ұлғайтпай-ақ изоляторды сыммен айналдыра орауға да болады. Осындай тәсілмен оралған стандартты резистор индуктивті емес болуы мүмкін.

9.6 Жинақталған энергия

Индуктордың (индуктивті орам) энергияны жинақтай алатын қабілеті бар. Магнит өрісіндегі орамның индуктивтілігін индуктор үшін энергияны жинақтау W формуласы:

$$W = \frac{1}{2} LI^2 \text{ Дж}$$

12-есеп. Индуктордың индуктивтілігі 8 Гн , ол арқылы 3 А ток ағады. Индуктивтілік орамында қанша энергия жинақталады?

$$\text{Жинақталатын энергия, } W = \frac{1}{2} LI^2 = \frac{1}{2} (8)(3)^2 = 36 \text{ Дж}$$

Келесі жаттығуларды орындаңыздар.

46-жаттығу. Энергияның жинақталуына арналған қосымша есептер

1. Индуктордың индуктивтілігі 20 Гн , одан 2.5 А ток өтеді. Магнит өрісіндегі индуктордың жинақталған энергиясын табыңыз.

[62.5 Дж]

2. Орамнан өтетін токтың шамасы 30 мА , индуктивтілігі 400 мГн , сондағы жинақталған энергияны табыңыз.

[0.18 мДж]

3. Индукторда жиналған энергия 80 Дж , ол арқылы 2 А ток ағады. Орамның индуктивтілігін есептеңіз.

[40 Гн]

9.7 Орамдағы индуктивтілік

Егер ток 0 -ден I амперге дейін өзгерсе, онда ол 0 -ден Φ Вб-ге дейін магнит индукциясын тудырады. Сонда $dI = I$ және $d\Phi = \Phi$ болады. Ендеше, 9.3-тараудан, ә.қ.к.

$$E = \frac{N\Phi}{t} = \frac{LI}{t}.$$

Сондықтан орамның индуктивтілігі:

$$L = \frac{N\Phi}{I} \text{ Гн}$$

Сондықтан: $E = -L \frac{dI}{dt} = -N \frac{d\Phi}{dt}$. Ендеше, $L = N \frac{d\Phi}{dI} \left(\frac{dt}{dI} \right)$

$$L = N \frac{d\Phi}{dI}$$

7-тараудан:

$$L = N \frac{d\Phi}{dI}$$

осыдан:

$$L = N \frac{d}{dI} \left(\frac{\text{м.к.к.}}{S} \right)$$

Орнына қоямыз:

$$L = \frac{N}{S} \frac{d(NI)}{dI} \text{ ендеше: м.к.к.} = NI$$

$$L = \frac{N^2}{S} \frac{dI}{dI} \text{ және } \frac{dI}{dI} = 1$$

$$L = \frac{N^2}{S} \text{ Гн}$$

13-есеп. Орамдағы ток 4 А және оның шумақ саны 800 . Осы 5 мВб ағында орамның индуктивтілігін есептеңіз.

$$\text{Орамның индуктивтілігі: } L = \frac{N\Phi}{I} = \frac{(800)(5 \times 10^{-3})}{4} = 1 \text{ Гн}$$

14-есеп. Ағыны 25 мВб орамның 1500 шумағы бар, одан 5 А ток өтеді. Егер ток 150 мс ішінде 0 -ге дейін төмен түссе, есептеу керек: (а) орамның индуктивтілігін, (б) магнит өрісіндегі энергияның жинақталуын, (с) индукцияланған э.қ.к.-ің орташа мәнін.

$$\text{(а) индуктивтілік: } L = \frac{N\Phi}{I} = \frac{(1500)(25 \times 10^{-3})}{3} = 12.5 \text{ Гн}$$

$$\text{(б) жинақталған энергия: } W = \frac{1}{2} LI^2 = \frac{1}{2} (12.5)(3)^2 = 56.25 \text{ Дж}$$

(с) индукцияланған э.қ.к. – ің орташа мәнін

$$E = -L \frac{dI}{dt} = -(12.5) \left(\frac{3 - 0}{150 \times 10^{-3}} \right) = -250 \text{ В}$$

(Басқаша жолмен шығару: $E = -N \frac{d\Phi}{dt}$)

$$E = -N \frac{d\Phi}{dt} = -1500 \left(\frac{25 \times 10^{-3}}{150 \times 10^{-3}} \right) = -250 \text{ В}$$

Ток нөлге дейін түскендіктен, ағын да солай төмендейді)

- 15-есеп.** Орамдағы ток 1.5 A , одан туатын индукция 90 мкВб . Егер орамның индуктивтілігі 0.6 Гн болса, орамдағы шумақ саны қанша?

$$\text{Орам үшін: } L = \frac{N\Phi}{I}$$

$$\text{сондықтан } N = \frac{LI}{\Phi} = \frac{(0.6)(1.5)}{90 \times 10^{-6}} = 10000 \text{ шумақ.}$$

- 16-есеп.** Орамның 750 шумақ сымы бар, индуктивлігі 3 Гн , токтың шамасы 2 A , орамдағы индукцияланған э.қ.к. мен ораммен байланысты индукцияны есептеу керек, егер 20 мс ішінде ток 0 -ге дейін түссе.

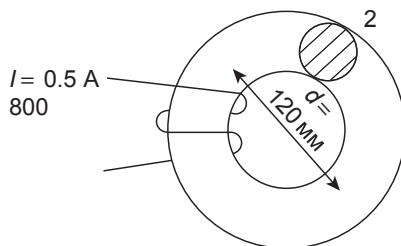
$$\text{Орам индуктивтілігі: } L = \frac{N\Phi}{I}$$

$$\text{осыдан индукция: } \Phi = \frac{LI}{N} = \frac{(3)(2)}{750} = 8 \times 10^{-3} = 8 \text{ мВб}$$

$$\text{Индукцияланған э.қ.к. } E = -L \frac{dI}{dt} = -(3) \frac{(2-0)}{20 \times 10^{-3}} = -300 \text{ В}$$

$$\text{(Басқа жолмен } E = -N \frac{d\Phi}{dt} = -(750) \left(\frac{8 \times 10^{-3}}{20 \times 10^{-3}} \right) = -300 \text{ В)}$$

- 17-есеп.** Кремнийлі темір сақинаның 800 шумағы бар, сақина шумағының диаметрі 120 мм және көлденең қимасының ауданы 400 мм^2 . Ток өткен кезде салыстырмалы



9.10-сурет

өтімділік 3000-ға тең болсын, есептеу керек: (а) орамның өздік индукциясын, (б) 80 мс ішінде токтың 0-ге дейін кемігендегі э.қ.к.-ін. Осы сақинаның түрі 9.10-суретте келтірілген.

(а) Индуктивтілік, $L = \frac{N^2}{S}$ және 7-тараудан

Меншікті магнит кедергісі: $S_M = \frac{l}{\mu_0 \mu_r S_{\text{А\textit{y}d}}}$

$$S = \frac{\pi \times 120 \times 10^{-3}}{4\pi \times 10^{-7} \times 3000 \times 400 \times 10^{-6}} = 250 \times 10^3 \text{ А/Вб}$$

Олай болса, өздік индукцияланған э.қ.к:

$$L = \frac{N^2}{S} = \frac{800^2}{250 \times 10^3} = 2.56 \text{ Гн}$$

(б) Индукцияланған э.қ.к:

$$E = -L \frac{dI}{dt} = -(2.56) \frac{(0.5 - 0)}{80 \times 10^{-3}} = -16 \text{ В}$$

Келесі жаттығуларды орындаңыздар.

47-жаттығу. Орамның индуктивтілігіне қосымша есептер шығару

- 1200 шумағы бар, тоғы 5 А орамнан 30 мВб магнит ағыны өтеді. Егер ток 20 с ішінде 0-ге дейін төмендесе, есептеу керек: (а) орамның индукциясын, (б) магнит өрісінде жинақталған энергияны, (б) индукцияланған э.қ.к. – ің орташа мәнін.

$$[(a) 7.2 \text{ Гн} \quad (b) 90 \text{ Дж} \quad (б) 180 \text{ В}]$$

2. 2 кВ э.қ.к. орамда индукцияланған, сонда 10 мс ішінде, одан 10 А ток 0 -ге дейін төмендеген. Орамның индукциясы қандай?
[4 Гн]
3. Э.қ.к. – ің орташа мәні 60 В , орам индукцияланған, орамның индуктивтілігі 160 мГн , кері тоғы 7.5 А . Қандай уақыт ішінде ток кері бағытталады?
[40 мс]
4. Орамның шумақ саны 2500 , магнит ағынының мәні 10 мВб , тоғының шамасы 2.0 А . Токтың 20 мс ішінде 0 -ге дейін төмендегендегі орамның индуктивтілігін, индукцияланған орамдағы э.қ.к. табыңыз.
[12.5 Гн, 1.25 кВ]
5. Орамдағы токтың шамасы 5 А , шумақ саны 1000 , магнит ағынының шамасы 8 мВб . Орамның индуктивтілігін есептеңіз.
[1.6 Гн]
6. Орамның шумақ саны 600 , өздік индукциясы 2.5 Гн . 20 мВб магнит ағыны түзілу үшін токтың шамасы қандай болуы керек?
[4.8 А]
7. 2 А ток орамнан өтеді, сонда 80 мкВб магнит ағыны туады. Егер орамның индуктивтілігі 0.5 Гн болса, орамдағы шумақ саны қандай?
[12500]
8. Орамның шумақ саны 1200 , ағыны 15 мВб , тоғы 4 А . Егер 250 мс ішінде ток 0 -ге дейін төмендесе, орамның индуктивтілігі мен орамдағы индукцияланған э.қ.к. – тісептеңіз.

В [4.5 Гн, 720 В]

9. Орамның шумақ саны 300, индуктивтілігі 4.5 мГн. Өзегін тура сондай деп 0.7 мГн магнит ағынды тудыру үшін орамдағы шумақ саны қандай болуы керек?

[48 шумақ]

10. 1000 шумағы бар орамнан 5 А ток өткенде 500 мкВб магнит өрісі туады. 15 мс ішінде ток өзгеріске ұшырады деп алғандағы орамның индуктивтілігін есептеңіз. Орамда өндірілген э.қ.к. мәнін есептеңіз.

[0.1 Гн, 80 В]

11. Темір сақинаның көлденең қимасының ауданы 500 мм², ұзындығы 300 мм. Шумақ саны 100, өтімділігі 1600. Есептеу керек: (а) орамдағы 500 мкВб магнит ағынын тудыру үшін қажет токты, (б) электр жүйенің индуктивтілігін, (с) өріс В 1 мс ішінде өзгеріске ұшырағандағы индукцияланған э.қ.к. мәнін.
[(а) 1.492, А (б) 33.51 мГн, (с) - 50 В]

9.8 Өзара индуктивтілік

Екінші орамдағы өзара индукцияланған э.қ.к.

$$E_2 = -M \frac{dI_1}{dt} \mathbf{B}$$

мұндағы, M екі орам арасындағы Гн-мен берілген **өзара индукция**.

dI_1 / dt қатынас бірінші орамдағы токтың өзгерісін көрсетеді.

Өзара индукция құбылысы **трансформаторларда** қолданылады (*21-тарау*).

M -ді есептеудің басқа жолы:

Темір сақинаның екі орамы бар делік, егер Φ_1 мен Φ_2 магнит ағындары А және В орамдарынан I_1 және I_2 токтарын сәйкесінше алатын болса, сонда индуктивтіліктің өрнегі:

$$S = \frac{I_1 N_1}{\Phi_1} = \frac{I_2 N_2}{\Phi_2}$$

Егер А мен В орамдарындағы ағындар бірдей және 100 % өзара байланысып, I_1 токты тек қана А орамынан алса, онда өзара индуктивтіліктің өрнегін келесі түрде келтіруге болады:

$$M = \frac{N_2 \Phi_1}{I_1}$$

Осы соңғы өрнекті $\left(\frac{N_1}{N_1}\right)$ – қатынасына көбейтіп:

$$M = \frac{N_2 \Phi_1 N_1}{I_1 N_1}$$

Алайда, $S = \frac{I_1 N_1}{\Phi_1}$

Олай болса өзара индукция: $S = \frac{I_1 N_1}{\Phi_1}$

18-есеп. Егер токтың өзгеру жылдамдығы 200 A/s бір орам екінші орамда 1.5 В э.қ.к. – ің индукциясын тудырса, екі орам арасындағы өзара индуктивтілік қандай?

Индукцияланған э.қ.к: $|E_2| = M \frac{dI_1}{dt}$

олай болса, $1.5 = M(200)$

сонда өзара индукция: $M = \frac{1.5}{200} = 0.0075 \text{ Гн}$ немесе 7.5 мГн

19-есеп. Екі орам арасындағы өзара индукция 18 мГн . Екі орамның біреуінде 0.72 В э.қ.к. – ін тудыру үшін басқа

орамдағы тоқтың тұрақты өзгеру жылдамдығы қандай болады?

$$\text{Индукцияланған э.қ.к.: } |E_2| = M \frac{dI_1}{dt}$$

Олай болса, токтың өзгеру жылдамдығы:

$$\frac{dI_1}{dt} = \frac{|E_2|}{M} = \frac{0.72}{0.018} = 40 \text{ А/с}$$

20-есеп. Екі орамның өзара индукциясы 0.2 Гн . Егер 10 мс ішінде бір орамда ток 10 А ден 4 А –ге дейін төмендесе және оның шумақ саны 500 тең болса есептеңіздер: (а) екінші орамдағы индукцияланған э.қ.к. – ің орташа мәнін, (б) екінші орамға байланысты ағын өзгерісін:

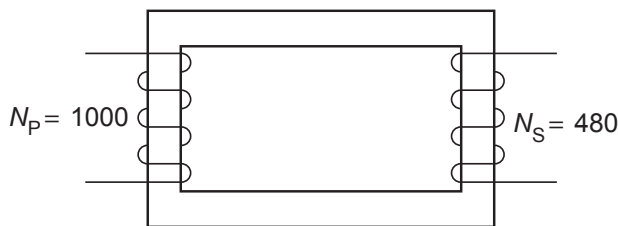
$$(a) \text{ Индукцияланған э.қ.к.: } |E_2| = -M \frac{dI_1}{dt}$$

$$|E_2| = M \frac{dI_1}{dt} = -(0.2) \left(\frac{10 - 4}{10 \times 10^{-3}} \right) = -120 \text{ В}$$

$$(b) \text{ Индукцияланған э.қ.к.: } |E_2| = N \frac{d\Phi}{dt}$$

$$\text{олай болса, } d\Phi = \frac{|E_2| dt}{N}$$

$$\text{Магнит ағынының өзгерісі: } d\Phi = \frac{(120)(10 \times 10^{-3})}{500} = 2.4 \text{ мВб}$$



9.11-сурет

21-есеп. 9.11-суретте құрылғы сызбасы келтірілген. 200 мс ішінде бірінші орамдағы ток 1 А ден 6 А дейін біртіндеп сызықтық ұлғайса, екінші орамда 480 шумағы бар кернеуі 15 В э.қ.к. индукцияланады, сызба тұйық емес ашық. Анықтаңыз: (а) екі орам үшін өзара индуктивтілікті, (б) меншікті магнитті кедергіні, (с) бірінші орамның өздік индукциясын.

$$(a) E_s = M \frac{dI_p}{dt}$$

Осыдан өзара индукция:

$$M = \frac{E_s}{\frac{dI_p}{dt}} = \frac{15}{\left(\frac{6-1}{200 \times 10^{-3}}\right)} = \frac{15}{25} = 0.60 \text{ Гн}$$

$$(b) M = \frac{N_p N_s}{S} \text{ осыдан,}$$

меншікті магниттік кедергі

$$S = \frac{N_p N_s}{M} = \frac{(1000)(480)}{0.60} = 800000 \text{ А/Вб}$$

немесе 800 кА/Вб

(б) бастапқы өзара индукция,..

Келесі жаттығуларды орындаңыздар.

48-жаттығу. Өзара индукцияға арналған қосымша сұрақтар

1. Екі орам арасындағы өзара индуктивтілік 150 мГн. Егер бір орамда токтың өзгеру жылдамдығы 30 А / с болса, онда басқа орамда индукцияланған э.қ.к. мәнін табыңыз.

[4.5 В]

2. Егер токтың бір орамдағы өзгеріс жылдамдығы $50 \text{ A} / \text{с}$ және ол орамда кернеуі 80 мВ э.қ.к. тудыратын болса, екі орам арасындағы өзара индуктивтілікті табыңыз.

$$[1.6 \text{ мГн}]$$

3. Екі орам арасындағы өзара индукция 0.75 Гн . Бір орамда индукцияланған э.қ.к. мәнін есептеңіз, егер басқа орамда 15 мс ішінде 2.5 А тоғы бар орам тоғын өзгертсе.

$$[250 \text{ В}]$$

4. 12 мс ішінде өзара индуктивтілікті екі орам арасындағы ток 15 А ден 6А -ге дейін өзгеріп төмендесін, онда есептеу керек: (а) басқа орамда индукцияланған э.қ.к. орташа мәнін, (б) 400 шумағы бар басқа орамдағы магнит ағынының өзгерісін.

$$[(a) - 180 \text{ В} (b) 5.4 \text{ мВб}]$$

5. Екі орам арасындағы өзара индукция 0.06 Гн . Бір орамның тоғы 6 А , ол 0.8 с өзгерсін, сонда табу керек: (а) 500 мВб магнит ағынының өзгеруі басқа орамға байланысты болса, басқа орамдағы индукцияланған э.қ.к. – ің орташа мәнін, (б) басқа орамдағы шумақ санын.

$$[(a) - 0.9 \text{ В} (b) 144]$$

6. Магнит тізбегіндегі 400 шумағы бар бастапқы орамда 100 мс ішінде ток сызықтық 10 мА ден 35 мА ге дейін ұлғайса, 240 шумағы бар екінші орамда кернеуі 75 мВ э.қ.к. индукцияланады, тізбек ашық қалады. Анықтаңыз: (а) екі орамның өзара индукциясын, (б) қаңқаның меншікті магниттік кедергісін, (б) екінші орамның өздік индукциясын.

$$\text{А } [(a) 0.30 \text{ Гн}, (b) 320 \text{ кА/Вб}, (б) 0.18 \text{ Гн}]$$

49-жаттығу. Қысқаша сұрақтар

1. Электрмагниттік индукция деген не?
2. Электрмагниттік индукцияны Фарадей заңының түсіндіруі.

3. Ленц заңы.
4. Генератордың жұмыс істеу принципі.
5. Генератордағы индукцияланған э.қ.к. бағыты және Флемингтің оң қол ережесі.
6. Орамы қозғалмалы өткізгіште E индукцияланған э.қ.к. $E = Blv$ формуласымен анықталады. Әрбір шаманы атаңыз, өлшем бірлігін келтіріңіз.
7. E жалпы э.қ.к., N шумағы бар өткізгіш тұзағының келесі формуласын түсіндіріңіз: $E = \dots$
8. Өздік индукция деген не? Оның шартты белгісі қандай?
9. Индуктивтіліктің анықтамасы мен өлшем бірлігі.
10. Тізбектің индуктивтілігі L және токтың өзгеру қатынасы (di / dt) болса, сондағы, E индукцияланған э.қ.к. кернеуін табыңыз. $E = \dots$
11. Егер N шумағы бар орамда I ампер ток ағатын болса, Φ магнит ағыны туады, орамның L индуктивтілігі G_n -мен берілген, индуктордың энергия жинақталу $L = \dots$ формуласын келтіріңіз.
12. Егер орамның N шумақ саны болса, оның меншікті магниттік кедергісі S сонда индуктивтілік L қандай?
13. Өзара индуктивтілік деген не? Оның шартты белгісі
14. Екі орам арасындағы өзара индуктивтілік M болсын. Бір орамда E_2 индукцияланған э.қ.к. басқа орамның тоғын өзгертеді (di / dt) сөйтіп, E_2 э.қ.к. тудырады $E_2 = \dots$
15. Екі орам темір сыммен оралған, оның меншікті магнит кедергісі S , N_A , және N_B шумақ сандары әрбір орамға сай. M – өзара индукциясы қалай анықталады: $M = \dots$

50-жаттығу. Өзара индукция бойынша тест сұрақтары
(жауаптары кітаптың соңында)

1. Орамдағы токтың өзгеру жылдамдығы 5 A / c , индуктивтілігі 5 Гн , э.қ.к. индукцияланады:
(а) Қандай бағытта кернеу берілсе, тура сол бағытта, кернеуі 25В

- (b) Берілген кернеу бағытына қарамақарсы бағытта, кернеуі $25B$
- (c) Қандай бағытта кернеу берілсе, тура сол бағытта, кернеуі $1B$
- (d) Берілген кернеу бағытына қарама-қарсы бағытта, кернеуі $1B$
2. *1 мс тұрақты жылдамдықпен магнит өзегі орамға қарай қозғалады, орам сымы гальванометрге жалғанған, магнит енді 0,5 мс жылдамдықпен осы тұйықталған жолмен қозғалсын. Гальванометр көрсеткішінің ұшы қалай өзгереді?*
- (a) Кері жаққа қарай, бұрынғы қалпымен салыстырғанда ығысу мәні екі есе
- (b) Бұрынғы қалпымен бірдей бағытта, ығысу мәні екі еселенеді
- (c) Бұрынғы қалпымен бірдей бағытта екі есе азаяды
- (d) Кері жаққа қарай бұрынғы қалпымен салыстырғанда мәні екі еселенеді
3. *Тұрақты магнит ағыны 10 Вб 2 с ішінде 20 шумақ жасай алатын тізбекпен байланысқан, сонда индукцияланған э.қ.к. мәні қандай?*
- (a) 1 В
- (b) 4 В
- (c) 100 В
- (d) 400 В
4. *Орамның шумақ саны 1000, ток күші 10А, магнит ағыны ораммен байланысты 10 мВб, сонда орамның индуктивтілігі:*
- (a) 10^6 Гн
- (b) 1 Гн
- (c) 1 мкГн
- (d) 1 мГн
5. *Кернеуі 1В э.қ.к. өткізгіште индукцияланады, 0.5 Тл магнит өрісіндегі өткізгіштің жылдамдығы 10 м / с осы магнит өрісіндегі өткізгіштің эффективті ұзындығы қандай?*
6. *Қайсы тұжырам дұрыс емес:*

- (a) Индукцияланған э.қ.к. бағытын Флемингтің сол қол ережесі мен Ленц заңы анықтай алады.
- (b) Индукцияланған э.қ.к. пайда болады, егер магнит өрісі токтың өзгеруіне тәуелді болса.
- (c) Индукцияланған э.қ.к. бағыты оны тудырушы әсерге әруақытта қарама-қарсы.
- (d) Кез келген контурда индукцияланған э.қ.к. осы тізбекті байланыстырып тұрған магнит ағынының өзгеру жылдамдығына пропорционал.
7. *Электр тізбегіндегі индуктивтілік әсер туады, егер:*
- (a) кедергі өзгерсе
- (b) ток өзгерсе
- (c) магнитағыны өзгерсе
8. *Екі орам арасындағы өзара индуктивтілік: егер бір орамдағы ток 20 А/с жылдамдықпен өзгеріп, басқа орамның кернеуі 10 мВ болғанда қанша э.қ.к. индукцияланады?*
- (a) 0.5 Гн
- (b) 200 мГн
- (c) 0.5 мГн
- (d) 2 Гн
9. *Орамға күші тұрақты магнит енгізіліп, сонда қалдырылады. Шамалы уақыттан кейін орамда қандай әсер пайда болады:*
- (a) әсер болмайды
- (b) орамның изоляциясы жанып кетеді
- (c) жоғары кернеу индукцияланады
- (d) орамның шумағы қызады
10. *Өздік индукция пайда болады, егер:*
- (a) ток өзгерсе
- (b) тізбек өзгерсе
- (c) магнит ағыны өзгерсе
- (d) кедергі өзгерсе
11. *Фарадей заңының электрмагниттік индукциясы байланысты:*

- (a) химиялық элементтің индукциясымен
- (b) генератордың э.қ.к.-мен
- (c) өткізгіштегі токтың ағуымен
- (d) магнит өрісінің кернеулігімен

10–тарау

Электрді өлшейтін құрылғылар мен өлшеулер

Тараудың соңында меңгерілетін сұрақтардың тізімі:

- Тараудың соңында меңгерілетін сұрақтар тізімі:
- Электр тізбектерін тесттеу мен өлшеудің маңыздылығы
- Құрамында аналогты аспабы бар негізгі құрылғылар
- Тарту мен итеру жұмыстарының принципін электромагнитті өлшеуіш аспаптар арқылы түсіндіруі
- Орамы қозғалмалы және түзеткіші бар аспаптың жұмысын түсіндіру
- Орамы қозғалмалы, электромагнитті, орамы қозғалмалы және түзеткіші бар аспаптарды бір-бірімен салыстыру
- Вольтметрлер үшін мультипликатордың және амперметрлер үшін шунттердің мәндерін есептеу
- Электронды аспаптардың артықшылықтары
- Омметр/мегаомметрдің жұмыс істеу принципі
- Мультиметрлердің/Авометр–АмперВольтОмМетр–электрондық бақылау–өлшеу құралдарының жұмыс істеу принциптері
- Ваттметрдің жұмыс істеу принципі
- Аспаптың «жүктеме» әсерін бағалау

- Осциллографтың тұрақты ток және айнымалы ток үшін жұмыс істеу принципі осциллограф сигналдарының бір шыңнан екінші шыңға дейінгі период жиілігінің мәндерін есептеу
- Виртуалды тестеу және өлшеуіш аспаптарды бағалау
- Күрделі сигналдың құрамында периодты (гармоникалардың) бөліктерден тұратындығы
- Децибелмен алғандағы күштер, токтар және кернеулер сияқты параметрлердің арақатынастарын анықтау
- Тұрақты тоқты потенциометр мен Уинстон көпірі үшін нөлдік өлшеу әдісі
- Айнымалы ток көпірлерінің жұмыс істеу принципі
- Q-метрдің жұмыс істеу принципі
- Өлшеулердегі өте ықтимал қателіктердің негізін бағалау
- Аспаптарды мөлшерге келтіру (үлгілеу) дәлдігін бағалау

10.1. Кіріспе

Жабдықтар мен электр тізбектерін бағалап, күту және қызмет ету үшін әзірлеген кезде сынақ жасау мен өлшеу жұмыстары өте маңызды рөл атқарады. Ток, кернеу, кедергі және қуат сияқты электр шамаларын байқап алу үшін осы электр шамаларын немесе олардың күйлерін көз көрімдік индикацияға түрлендіру әрекеті қажет. Мұндай әрекеттер аспаптар көмегімен жасалады, яғни аспаптар (аналогты аспаптар) шаманың сандар мөлшерін шкала көрсеткішінің нұсқама тілі көрсетеді немесе ондық сандар түрінде (цифрлық аспаптар) келтіреді.

Соңғы жылдарда негізінде цифрлық аспаптар таңдаулы аспапқа айнала бастады, мысалы, оларға тез арада кәдімгі сынау жабдықтарын ауыстыра алатын, виртуалды (елесті) жадылық өлшеуіш (сынау) аспаптармен қамтамасыз етілген компьютерлік аспаптар жатады, соның ішінде өсіресе, ең кең тарағаны цифрлі

жадылық осциллографтар (ЦЖО). Келесі тарауларда мұндай цифрлы жадылық аспаптармен таныса жатармыз, ал қазір осы күнге дейін қолданылып келе жатқан кейбір аналогты аспаптармен танысайық.

10.2 Аналогты аспаптар

Барлық аналогты электрлік көрсетуші аспаптар үш негізгі құрылғылардан тұрады.

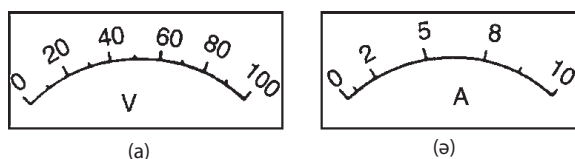
(а) Ауытқушы немесе жұмыс істеуші құрылғылар. Мұндай құрылғыларда механикалық күш ток немесе кернеуді тудырып, нәтижесінде аспаптың көрсеткіші өзінің нөлдік орнынан ауытқи алады.

(б) Басқарушы құрылғы. Берілген күш ауытқу күшіне қарсы әрекет жасағанда аспап көрсеткіші ауытқи бастап, өлшенетін шаманың мәні осы ауытқумен анықталып, кепілдік бере алады. Сонымен бірге ол көрсеткіштің үнемі ең жоғары ауытқуда болуына жол бермеуге тырысады. Басқару құрылғысының екі негізгі түрі белгілі – серіппелі және гравитациялық басқару.

(б) Демпферлі (бәсеңдететін) құрылғы. Демпфер – жүйедегі тербелістерді басатын және оны болдырмайтын құрылғы. Нұсқаманың тыныштық қалпын тез және артық тербелістерсіз өзінің түпкілікті позициясын орнатуына демпфер (бәсеңдетудің күшеюі) кепілдік бере алады.

Бәсеңдетудің немесе толастатудың негізгі үш түрі белгілі: құйынды токты бәсеңдету, ауа үйкелісі мен сұйықтық үйкелістерді бәсеңдету.

Масштабтың сызықтық және сызықтық емес негізгі екі түрі белгілі. Сызықтық шкаланың (межелік) бөлімшелерімен бірқалыпты бөлінуі *10.1 (а) суретте* көрсетілген. Вольтметрдің диапазоны 0-100 В, яғни оның толық масштабты ауытқуы (т.м.а.) 100 В болғаны. *10.1 (ә) -суретте* сызықтық емес шкала көрсетілген, онда шкаланың бас жағындағы масштаб шектелген

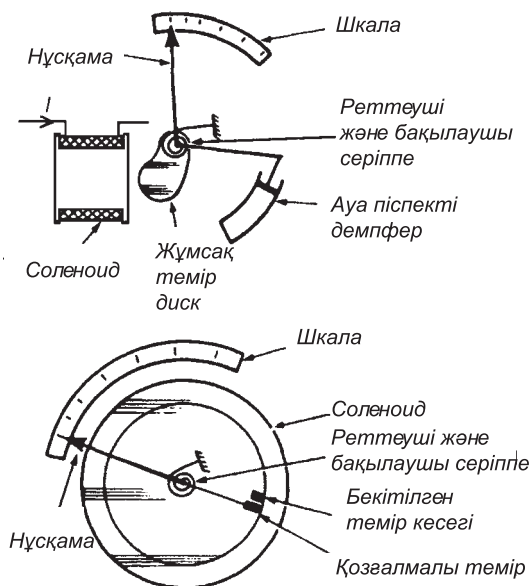


10.1-сурет

және барлық диапазонда әртүрлі мөлшерленгендіктен бірізділіктері (*градиациясы*) бірдей емес.

10.3 Электрмагнитті өлшеуіш аспаптар

10.2 (a) -суретте тартқыш типтес электрмагнитті аспаптың сызбасы көрсетілген. Соленоидтан ток өткенде жұмсақ темір диск соленоидқа қарай қайырылып, осы шкала бойымен нұсқаманың жылжуын тудырады.



10.2-сурет

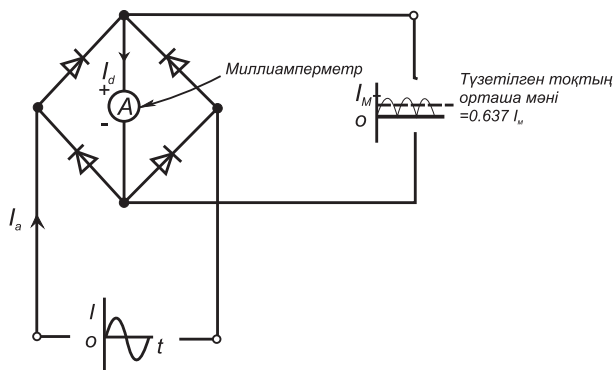
(a) Тартқыш типтес электрмагнитті аспап
(ә) Итеру типтес электрмагнитті аспап

10.2(ә)-суретте итеру типтес электрмагнитті аспаптың сызбасы келтірілген. Темірдің екі кесегі соленоид ішіне салынған, оның бірі соленоид ішінде мықты бекітілген, ал екіншісі шпиндель арқылы нұсқамамен жалғанған. Ток электрмагниттен өткенде, темірдің екі кесегіде тура сол бағытта магниттеліп, бір-бірінен итеріледі. Осы себептен шкала бойымен нұсқама жылжи бастайды. Әр бір тип үшін нұсқаманы жылжытатын күш I^2 пропорционал және бұл ток бағытының ешқандай маңызы болмайды.

Электрмагнитті аспаптар тұрақты ток көзімен де айнымалы ток көзімен де жұмыс істей алады, алайда, масштабтары сызықтық болмайды.

10.4 Түзеткіш пен орамы қозғалмалы аспаптар

10.3-суретте көрсетілгендей тек қана тұрақты ток өлшейтін жылжымалы орамы бар электрмагниттік аспапқа көпірлі түзеткішті тіркетсе болғаны, сонда осы аспаптар айнымалы токтар мен кернеулердің индикациясын жасауды қамтамасыз етеді. Қос жартылай периодты (толық толқынды) түзетілген тоқтың орташа мәні $0.637 I_M$. Әйтсе де, аспап айнымалы тоқты өлшеу үшін қолданғандықтан, әдетте, ол квадраттық орташа мәндермен мөлшерленеді.



10.3-сурет

Синусоидты шамалар үшін индикациялау келесі түрде сипатталады: $0.707 I_m / 0.637 I_m$, яғни ол орташа мәнінен 1.11 есе артық болғаны. Түзеткіш аспаптың шкаласы орташа квадраттық шамамен мөлшерленгендіктен айнымалы тоқты синусоидалды деп ұйғаруға болады. Түзеткіштер айнымалы тоқты тұрақты тоққа түрлендіре алады.

10.5 Магнитэлектрлік, электрмагниттік аспаптарды салыстыру

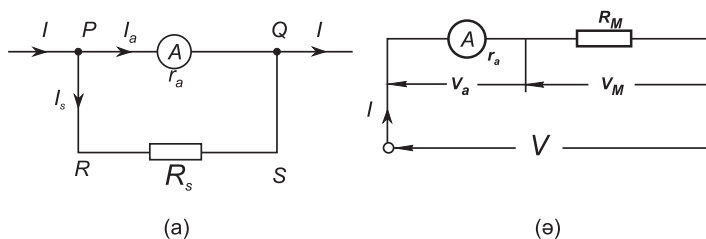
Төменде келтірілген кестеде аталған аспаптардың негізгі жұмыс істеу принципі салыстырылған (жылжымалы орамы бар аспаптың жұмыс істеу принципі 8-тарауда келтірілген).

10.6 Шунттар мен мультипликаторлар

Ток өлшейтін амперметрдің кедергісі төмен болып (идеалды түрде оныңнөлге тең болғаны жақсы), ол сызбада тізбекті түрде жалғануы керек.

Керісінше потенциалдар айырымын өлшейтін вольтметрдің кедергісі (идеалды түрде оның шексіз болғаны жақсы) жоғары болып, ол сызбаның (потенциалдар айырымы қажет емес) бір бөлігімен параллель жалғануы керек. Ток пен кернеуді өлшеу үшін қолданылатын негізгі аспаптың арасында ешқандай айырмашылық жоқ, себебі оның екеуі де миллиамперметрді өздерінің негізгі бөлігі ретінде қарастырады. Миллиамперметр сезгіш аспапқа жатады, себебі оның ток үшін бүкіл шкалаға ауытқуы (б.ш.а.) бірнеше миллиметрлерді ғана құрайды.

Үлкен мөлшерлі тоқты амперметрмен өлшегенде, токтың белгілі бір бөлігі кедергінің төмен мәнімен параллель қосқан аспапқа беріліп, кемиді. Мұндай параллель қосылған резистор Зунт деп аталады. Сонымен шунт электр тізбегінің бір бөлігіне параллель жалғанатын қосымша электр кедергісі.



10.4-сурет

Егер миллиамперметрге тізбектей жоғары кедергі қосылса (көбейткіш деп аталатын), онда ол вольтметрге түрлене алады (10.4-сурет). Сонда:

$$V_{PQ} = V_{RS}$$

Олай болса, $I_a r_a = I_s R_s$. Сондықтан шунттың мәні:

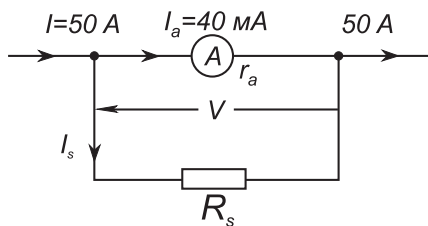
$$R_s = \frac{I_a r_a}{I_s}$$

1-есеп. Токтың шамасы 40 мА және кедергісі 25 Ом жылжымалы орамы бар аспап бүкіл шкалаға ауытқуды (б.ш.а.) бере алады. Егер осы аспап тізбекте параллель қосылып, токтың шамасын 50 А –ге дейін өлшей алатын амперметр рөлін орындай алса, шунттың мәні қандай болады?

10.5-суретте принципалды сызба келтірілген, мұндағы, r_a – аспаптың кедергісі = 25 Ом , R_s – шунттың кедергісі.

I_a – аспаптан өтетін максимал рұқсат етілген ток шамасы, I_s – шунттан өтетін ток, I – бүкіл масштабты ауытқуы 50 А болу үшін, сызбаға қанша жалпы ток қажет?

$$I = I_a + I_s \text{ болғандықтан, } I_s = I - I_a$$



10.5-сурет

$$\text{сондықтан } I_s = 50 - 0.04 = 49.96 \text{ A}$$

$$V = I_a r_a = I_s R_s \text{ олай болса, } R_s = \frac{I_a r_a}{I_s} = \frac{(0.04)(25)}{49.96} = 0.02002 \text{ Ом}$$

Сонымен орамы қозғалмалы құрылғымен параллель қосылған аспапты амперметр түрінде 0 – 50А диапазонына дейін пайдалану үшін, кедергінің шамасы 20.02 мОм болуы керек

Құрылғының түрі	Магнитэлектрлік орам	Электрмагнитті аспап	Орамы қозғалмалы аспап пен түзеткіші бар электрмагниттік құрылғы
Өлшеу үшін қолайлы	Тұрақты тоқ пен кернеу	Тұрақты және айнымалы ток пен кернеулер (мәндері орташа квадрат шамамен алынады)	Айнымала ток пен кернеу (орташа квадрат мәні алынады, бірақ шкала синусоида сигналдарын алу үшін орташа квадраттық мәнді реттейді)
Шкала	Сызықтық	Сызықтық емес	Сызықтық
Бақылау тәсілі	Қылшықтары, түкшелері	Қылшықтары	Қылшықтары
Бәсеңдеу тәсілі	Ұйытқу тоғы	Ауа	Ұйытқу тоғы
Жиілік шегі	–	20 – 200 Гц	20 – 100 Гц
Артықшылықтары	1.Сызықтық шкала 2.Жоғары сезгіштік 3.Өте жақсы бөтен магнит өрістерінен қорғалған 4.Төмен энергия тұтынушылығы	1.Мықты құрылым 2.Салыстырмалы арзан 3.Тұрақты және айнымалы тоқта қолданылады 4.20 – 100 Гц диапазондағы жиіліктерді сигналдың түріне байланыссыз дұрыс орташа квадрат мәнін өлшей алады	Сызықтық шкала Сезімталдылығы паразит магнит өрістерінен жақсы қорғалған Төмен энергия тұтынушылығы Жақсы жиіліктер диапазоны

Кемшіліктері	1.Тек тұрақты тоққа қолданылады 2.Электр-магнитті түрмен салыстырғанда арзан 3.Оңай зиян жасай алуы	1.Сызықтық емес шкала 2.Шашыранды магнит өрістерінің әсері 3.Тұрақты ток тізбегіндегі гистерезис қатесі 4.Температураға тәуелді қателер 5.Соленоид индуктивтілігінің салдарынан жиіліктерде қате кетуі мүмкін	1.Электрмагнитті түрмен салыстырғанда қымбат 2.Қоректену көзі синусоидалды емес болғандағы қателер
--------------	---	---	---

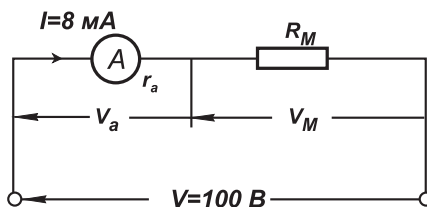
2-есеп. Орамы қозғалмалы құралдың кедергісі 10 Ом , тоғы 8 mA болғанда бүкіл шкала ауытқуын бере алады. Бүкіл шкала ауытқуы 100 В болатындай, өлшеу аспабын құралға тізбектей жалғай отырып, оның вольтметр рөлін атқара алатындай көбейткішінің сан мәнін табу керек.

10.6-суретте негізгі сызба келтірілген, мұндағы, r_a – құралдың кедергісі = 10 Ом , R_M = вольтметр рөлін атқаратын көбейткіштің кедергісі.

Аспаптың жалпы рұқсат етілген тоғы = $8 \text{ mA} = 0.008 \text{ A}$ B = бүкіл шкала ауытқуын бере алатын жалпы потенциалдар айырымының мәні 100 В .

$$V = V_a + V_M = I r_a + I R_M$$

$$100 = (0.008)(10) + (0.008)R_M \text{ немесе } 100 - 0.08 = 0.008R_M$$



10.6-сурет

$$\text{сондықтан } R_M = \frac{99.92}{0.008} = 12490 \text{ Ом} = 12.49 \text{ кОм}$$

Олай болса, орамы қозғалмалы аспап $0 - 100 \text{ В}$ диапазонында вольтметр рөлін атқару үшін қолданылған кедергінің мәні 12.49 Ом және ол құрылғымен тізбектей қосылуы керек.

Келесі жаттығуларды орындаңыздар.

51-жаттығу. Шунттар мен мультипликаторлар үшін қосымша есептер

- Орамы қозғалмалы аспап токтың 10 мА шамасында бүкіл шкалаға ауытқуды бере алады. Егер аспаптың кедергісін ескермесек, аспаптың потенциалдар айырымы 20 В , 100 В , 250 В болғанда кедергілер қатарының сәйкес жуық мәндерін есептеңіздер.

$$[(a) 2 \text{ кОм} (b) 10 \text{ кОм} (c) 25 \text{ кОм}]$$

- 50 Ом кедергіні өлшейтін санауыш 4 мкА ток үшін бүкіл шкала ауытқуын бере алады, сондықтан бүкіл шкала ауытқулары 15 мкА , (b) 20 А , (c) 100 А болуы үшін сәйкес шунттың кедергісін табыңыз.

$$[(a) 18.18 \text{ Ом} (b) 10.00 \text{ мОм} (c) 2.00 \text{ мОм}]$$

- Орамы қозғалмалы аспаптың кедергісі 20 Ом , ток 5 мкА болғанда ол бүкіл шкала ауытқуын бере алады. Егер аспапты тізбектеп қосса, потенциалдар айырымын 200 В –ке дейін өлшей алатын вольтметрдің көбейткіштік мәні қандай болады?

$$[39.98 \text{ кОм}]$$

- Орамы қозғалмалы аспап 20 мкА токтың шамасында бүкіл шкала ауытқуын бере алады және оның кедергісі 25 Ом . Осы аспап үшін қажетті (a) амперметр рөлін $0 - 10 \text{ А}$ шамаларының интервалында, (b) вольтметр рөлін $0 - 100 \text{ В}$ интервалында пайдаланыла алатын кедергінің мәнін есептеңіз.

$$[(a) 50.10 \text{ мОм параллель} \\ (b) 4.975 \text{ кОм тізбектей}]$$

5. Өлшеуіштің кедергісі 40 Ом және ол арқылы 15 мкА ток өткенде бүкіл шкаласы максималды ауытқуды бере алады. Қозғалысты түрлендіре алатын кедергінің мәнін есептеңіз:
- (а) амперметрдің ауытқуының жоғары 50 А –ге дейін және
 (b) вольтметрдің диапазонын $0 - 250 \text{ В}$ өзгерте алатындай.
- [(a) 12.00 МОм параллель
 (b) 16.63 кОм тізбектей]

10.7. Электрондық аспаптар

Электрондық өлшегіш аспаптары орамы қозғалмалы және электромагниттік өлшегіш аспаптармен салыстырғанда артықшылықтары әлдеқайда, себебі олардың кірістік кедергілері анағұрлым жоғары (олардың кейбіреуі 1000 МОм -ға дейін жетеді) және жиіліктері әлдеқайда кең диапазонда жұмыс істей алады (тұрақты тоқтан МГц -ке дейін).

Цифрлы вольтметр (digital-DVM) өлшенетін кернеудің цифрлық индикаторын қамтамасыз етеді. Аналогты аспаптармен салыстырғанда цифрлы вольтметрлердің артықшылығы олардың дәлділігі мен аспаптың рұқсат ету қабілетінің өте жоғары болуында, ығысу қателерінің болмауында (*10.22-тарау*) және барлық диапазондарда тұрақты кірістік кедергісі өте жоғары.

Цифрлы мультиметр – қосымша сызбасы бар цифрлы вольтметр болып табылады, сондықтан оның айнымалы кернеуді, тұрақты ток пен айнымалы токты және кедергіні өлшей алатын қабілеті бар.

Айнымалы токты өлшейтін аспаптар, әдетте аспапқа синусоидалды сигнал түскенде шаманың орташа квадраттық мәнін көрсетуге үшін арналған толқындардың синусоидалды пішіндерімен мөлшерленген аспаптар болып табылады.

Кейбір аспаптар мысалы, электромагнитті өлшегіш аспабы сияқты және электрдинамикалық аспаптар шынайы орташа квадраттық индикациялауды береді.

Басқа аспаптармен салыстырғанда индикация орташа мәнінен кеңейтілген (мысалы, түзеткіш пен орамы қозғалмалы аспап) немесе шындық мәнімен салыстырғанда кішірейтілген.

Кейде өлшенетін шамалар күрделі сигналмен сипатталады (10.15-тарау), сондықтан егер шама синусойдалды болмаса, яғни аспап тек синусоидты толқындар үшін ғана мөлшерленген болса, онда аспаптардың көрсеткішінде қателер шығатын болады. Сигналдың мұндай қателері көбінесе электрондық аспаптар көмегімен шеттете алады.

10.8. Омметр

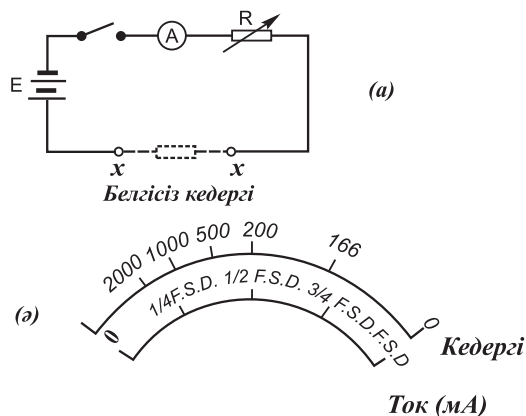
Электрлік кедергіні өлшеуі үшін арналған аспап **омметр** деп аталады. Омметрдің қарапайым сызбасы *10.7(a)-суретте* көрсетілген. Амперметр және вольтметрді омметрмен салыстырғанда, ол тоқты жұмсамай энергия тесттелінетін тізбектен алып тастағанда ғана жұмыс істейді.

Мысалы, омметрде мұндай энергия автономды кернеу көзінен, мысалы, батареядан алынады.

Ең алғашында миллиамперметрде бүкіл шкаланы алу үшін XX қысқа тұйықталу клеммелары мен R реттеледі. Егер I ток өзінің максималды мәніне тең, ал E кернеу тұрақты болса, онда кедергі R өзінің минималды мәніне ие бола алады. *Олай болса*, миллиамперметрдегі бүкіл масштабты ауытқу масштабтағы нөлдік кедергімен орындалғаны.

XX клеммалары ажыратылған болсын, онда ток жүрмейді және $R(= E / O)$ шексіздікке (∞) ұмтылады.

Сонда миллиамперметр Оммен тікелей мөлшерленген болып табылады. Масштабы сызықты емес өте тығыз және «артынан алдына қарай» орналастырылған кері шкала *10.7 (ә) -суретте* көрсетілген. Мөлшерге келтіруді жасағанда белгісіз кедергі XX клеммаларының арасында орналасады және оның мәні шкаладағы нұсқама тілінің жағдайымен анықталады.



10.7-сурет

Кедергінің кішкентай мәндерін өлшеу үшін арналған омметрді **тексеруші тестер** деп атайды.

Кедергінің үлкен мәндерін өлшеу үшін арналған Омметр (яғни мегаОм) **оқшауланған кедергінің тестері (тексерушісі)** деп аталады («Мегомметр»).

10.9 Мультиметрлер

Мультиметр (ағылш. *multimeter*, **тестер** *tect – тексеру*, **авометр** – *АмперВольтОмМетр*) – бірнеше қызметті атқаруды ұйымдастырып құрамаланған электрлік өлшеуіш аспабы. Мұндай қызметтердің ең кіші жиынтығы вольтметр, амперметр мен омметрде кездеседі. Мультиметр ток өлшеуіш қармаушылар арқылы да сипаттала алады. Мультиметр цифрлы және аналогты бола алады. Fluke – бұл дүниежүзіне мәлім, өте әйгілі өлшеуіш аспаптар жасайтын компания: бұл цифрлы мультиметрлер, ток өлшеуіш қармаушылар, кабельді тестер, жылу көргіштер, инфрақызыл мөлшерлегіштер, термометрлер, пирометрлер, мегаомметрлер және де басқа аспаптар.

Негізгі өлшемдерді жасау үшін мультиметр тасымалдауға өте жеңіл, ыңғайлы, сонымен қатар көптеген мүмкіншілігі бар

күрделі тұрақты, яғни стационар аспап та бола алады. Мультиметр өзінің құрамында орамы қозғалмалы аспаппен бірге шунттар тіркестері мен көбейткіштер топтамасын бірге үйлестіріп, біртұтас шкала бойымен спектр диапазонын қамтитын, токпен кернеуді сатылы түрде өлшей алатын өлшеуіш аспап болып табылады. Егер оған тағы батарея жалғанса, онда кедергіні де өлшей алатын аспап болып шыға келеді.

Мұндай аспаптар мультиметрлер немесе универсалды аспаптар немесе көп диапазонды **көп ауқымды аспаптар** деп аталады.

«**Авометр**» осындай мультиметр аспаптарының қатарына жатады. Нақты диапазонды таңдау жеке клеммларды қолдану немесе қосқыш кілттер арқылы жүзеге асырылады. Бір мезгілде тек бір өлшемді ғана жүргізе алады.

Егер аспапқа түзеткіш орнатса, мұндай аспаптар өте жиі айнымалы және тұрақты ток тізбектерінде де бірдей қолданыла алады.

Цифрлі мультиметрлер (DMM) қазіргі уақытта жиі кеңінен қолданылады.

Цифрлі мультиметр Fluke аспап өндіру саласында мультиметрлердің дәлдігі, айыру қабілеті, беріктігі, сенімділігі және қауіпсіздігі жағынан нағыз озық орын алады.

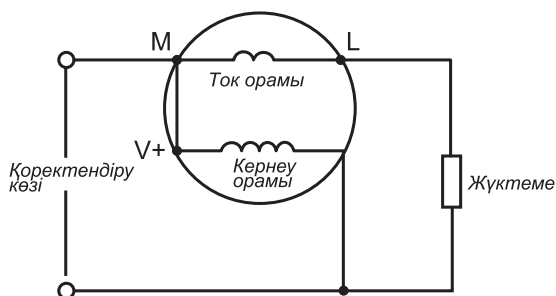
Мұндай аспаптар тұрақты токты, кернеуді кедергіні, үздіксіздікті, айнымалы ток (орташа квадрат шамасы) пен кернеуді температура және тағы басқа көптеген шамаларды өлшей алады.

10.10 Ваттметрлер

Ваттметр тізбекте электр қуатын өлшейтін аспап.

Ваттметр жүктемеге берілетін қуатты өлшеу үшін пайдаланатын құрал, оны *10.8-суреттен* көруге болады.

Ваттметрдің құрамында: тізбекті түрде жүктемемен жалғанған ток орамы, мысалы, амперметр және жұмыс кернеу, жүктемемен параллель жалғанған, мысалы, вольтметр сияқты екі орам бар.



10.8-сурет

10.11. «Жүктеулік» әсері бар аспаптар

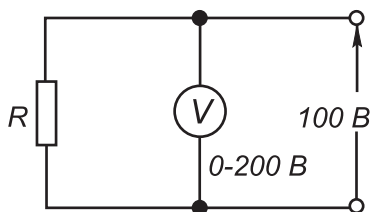
Кейбір өлшегіш аспаптар тізбекте өлшеу жасағанда қуатқа әсер еткен операциясына бағынышты болады. «Жүктеменің» түріне байланысты аспаптың әсері сызбаның өзгеруіне әкелуі мүмкін.

Вольтметрлердің кедергілерін өлшеу ол әрбір вольтметрдің өзіне тән сезімталдылық көрсеткіші немесе төзімділігі болып табылады.

Вольтметрдің кедергісі мүмкіндігінше өте жоғары болуы керек (идеалды түрде шексіз болғаны дұрыс).

Айнымалы ток тізбегінде аспаптың толық кедергісі жиілікке тәуелді, олай болса аспаптың жүктеме әсері өзгеруі мүмкін.

3-есеп. Вольтметр мен резистордың әсерінен пайда болған қуаттың жұмсалуды есептеңіз, егер (а) $R = 250 \text{ Ом}$, (б) $R = 2 \text{ МОм}$ болса (10.9-сурет). Вольтметрдің сезімталдылығы (кейде төзімділік деп аталады) $10 \text{ кОм} / \text{В}$ болсын делік.



10.9-сурет

(а) Вольтметр кедергісі: $R_v = \text{сезімталдылық} \times \text{орташа квадрат шамасы}$.

Олай болса $R_v = (10 \text{ кОм/В}) \times (200 \text{ В}) = 2000 \text{ кОм} = 2 \text{ МОм}$
Вольтметрден ағатын ток:

$$I_v = \frac{V}{R_v} = \frac{100}{2 \times 10^6} = 50 \times 10^{-6} \text{ А}$$

Вольтметр арқылы қуаттың жұмсалуды

$$= VI_v = (100)(50 \times 10^{-6}) = 5 \text{ мВ}$$

$R = 250 \text{ Ом}$ болғанда, резистордағы ток:

$$I_R = \frac{V}{R} = \frac{100}{250} = 0.4 \text{ А}$$

Резистр жүктемесі арқылы қуаттың жұмсалуды:

$$R = VI_R = (100)(0.4) = 40 \text{ Вт}$$

Олай болса вольтметр арқылы қуаттың жұмсалуды резистр жүктемесі арқылы қуаттың жұмсалудымен салыстырғанда болмашы аз.

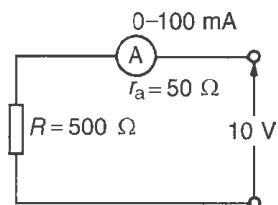
(b) $R = 2 \text{ МОм}$, болғанда резистордағы ток,

$$I_R = \frac{V}{R} = \frac{100}{2 \times 10^6} = 50 \times 10^{-6} \text{ А}$$

$$R = VI_R = 100 \times 50 \times 10^{-6} = 5 \text{ мВт}$$

Жүктеменің жоғары мәнді кедергісі қуаттың шығындалатын мөлшерін төмендетіп, жүктеменің энергиясы қандай болса, вольтметр тура сондай энергияны пайдаланды.

4-есеп. Амперметрдің бүкіл шкалаға ауытқуы 100 мА , кедергісі 50 Ом . Кедергісі 500 Ом жүктемеден ағатын тоқтың шамасын табу үшін амперметр пайдаланылған, ал кернеудің қоректендіру көзі 10 В . Есептеңіздер: (а) амперметрдің нұсқамасы қандай шаманы көрсетеді (амперметрдің өз



10.10-сурет

кедергісін ескермеңіз), (b) тізбектегі реалды (шынайы) токты, (c) амперметрдегі қуаттың және (d) жүктемедегі қуаттың жұмсалуын.

- (a) Амперметрде күтілетін санның мәні
 $= V / R = 10 / 500 = 20 \text{ mA}$

Іс жүзіндегі тізбектегі нақты ток

$$= V / (R + r_a) = 10 / (500 + 50) = 18.18 \text{ mA}$$

Сонымен, амперметрдің өзі тізбектегі 20 mA дан 18.18 mA дейін токтың өзгеруіне себепші бола алады.

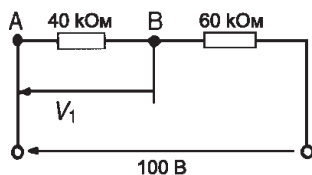
- (c) Амперметрдегі қуаттың жұмсалуды:

$$= I^2 r_a = (18.18 \times 10^{-3})^2 (50) = 16.53 \text{ мВт}$$

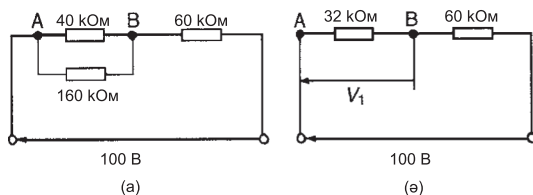
- (d) Жүктемедегі қуаттың жұмсалуды:

$$= I^2 R = (18.18 \times 10^{-3})^2 (500) = 165.3 \text{ мВт}$$

5-есеп. Вольтметрдің бүкіл шкаладағы ауытқуы 100 В және сезімталдылығы 1.6 кОм / В. Тізбектегі V_1 кернеуін өлшеуге үшін арналған вольтметр 10.11-суретте келтірілген. Анықтау керек: (a) Вольтметр әлі тізбекке қосылмаған жағдайдағы V_1 -дің шамасын, (b) А мен В ортасына вольтметрді жалғаған кездегі вольтметрдің көрсеткіші арқылы кернеудің шамасын.



10.11-сурет



10.12-сурет

(a) Кернеуді бөлу арқылы:

$$V_1 = \left(\frac{40}{40 + 60} \right) 100 = 40 \text{ В}$$

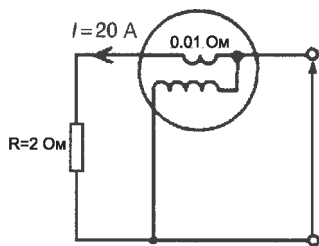
(b) Вольтметрдің бүкіл шкала бойынша ауытқуы 100 В және $1.6 \text{ кОм} / \text{В}$. сезімталдылығы $100 \text{ В} \times 1.6 \text{ кОм} / \text{В} = 160 \text{ кОм}$. 10.12-суретте келтірілгендей вольтметр тізбекке кедергісі 40 кОм резистор арқылы жалғанса, онда параллель желідегі эквивалентті кедергісі төмендегі өрнекпен анықталады:

$$\left(\frac{40 \times 160}{40 + 160} \right) \text{ кОм}$$

яғни $\left(\frac{40 \times 160}{200} \right) \text{ кОм} = 32 \text{ кОм}$

Енді тізбектің түрі 10.12 (b) -суретте көрсетілгендей сызбамен берілсін. Олай болса вольтметрде өлшенген кернеу:

$$\left(\frac{32}{32 + 60} \right) 100 \text{ В} = 34.78 \text{ В}$$



10.13-сурет

Тізбектегі жүктеменің әсерінен вольтметрде әжептәуір қате туады. Мұндай қатені жою үшін сезімталдығы жоғарырақ вольтметрді пайдаланған жөн. Сонда мұндай қателерден құтылуға болады.

6-есеп. (a) 20 A ток кедергісі 2 Ом жүктемеден өтеді. Жүктемедегі қуаттың жұмсалуды анықтаңыздар. (b) электр орамның кедергісі 0.01 Ом , оған ваттметр **10.13-суретте** көрсетілгендей жалғанған. Ваттметрдің көрсеткіші қандай?

(a) Жүктемедегі қуаттың жұмсалуды:

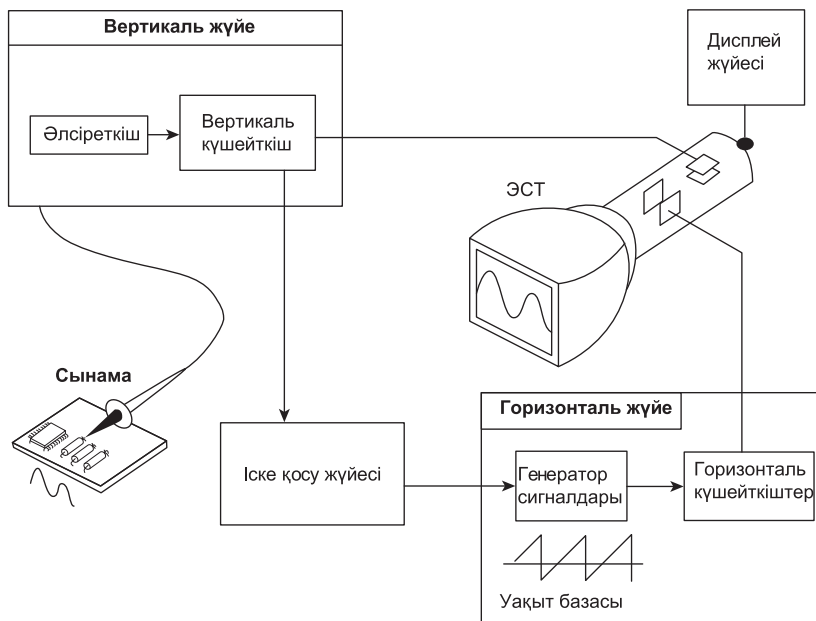
$$P = I^2 R = (20)^2 (2) = 800\text{ Вт}$$

(b) Ваттметрмен бірге тізбектегі жалпы кедергі

$$R_T = 2 + 0.01 = 2.01\text{ Ом}$$

Олай болса ваттметрдегі көрсеткіштің сан мәні:

$$I^2 R_T = (20)^2 (2.01) = 804\text{ Вт}$$



10.14-сурет

Келесі жаттығуларды орындаңыздар

52-жаттығу. Аспаптардың жүктеме әсері

1. Кернеу көзі 250 В , кедергі 1 кОм резистор арқылы токты өлшеу үшін шкала ауытқуы $0 - 1\text{ А}$, кедергісі 50 Ом амперметр қолданылған. Есептеңіздер: (а) токтың жуық шамасын, (амперметр кедергісі ескерілмейді); (b) тізбектегі іс жүзіндегі токты; (с) амперметрдегі қуаттың жұмсалуды; (d) 1 кОм резистордағы қуаттың жұмсалуды.

$$[(a) 0.250\text{ А}$$

$$(b) 0.238\text{ А} (c) 2.832\text{ Вт} (d) 56.64\text{ Вт}]$$

2. (а) 15 А ток кедергісі 4 Ом жүктеме арқылы өтті. Жүктемеде жұмсалған қуатты табыңыз. (b) электрорамның кедергісі 0.02 Ом , оған жүктемедегі қуатты өлшеу үшін ваттметр 10.13-суретте көрсетілгендей жалғанған. Егер тізбектегі токтың шамасы бұрынғыдай 15 А болса, ваттметрдің көрсеткіші қандай?

$$[(a) 900\text{ Вт} (b) 904.5\text{ Вт}]$$

3. Кедергісі 800 Ом резистор кедергісі 1.6 кОм резистормен тізбектей қосылған. Тізбекке 240 В кернеу беріледі. 1.6 кОм резисторға қанша кернеу беріледі? 1.6 кОм резистордың потенциалдар айырымышкала ауытқуы 250 В және сезімталдығы $100\text{ Ом} / \text{В}$ вольтметрмен өлшенеді. Вольтметрдің көрсеткіші қандай шаманы көрсетеді?

$$[160\text{ В}; 156.7\text{ В}]$$

4. Жүктеменің R кедергісі арқылы кернеуі 240 В қоректендіру көзі жалғанған. Сонымен қатар осы R арқылы ауытқу шкаласы 300 В және төзімділігі (сезімталдығы) $8\text{ кОм} / \text{В}$ вольтметр жалғанған. Есептеңіздер: вольтметрмен жүктеменің кедергісі арқылы бөлінген қуатын, егер (а) $R = 100\text{ Ом}$, (b) $R = 1\text{ Мом}$ болса. Алынған нәтижені түсіндіріңіз.

Осциллограф

Осциллограф (лат. *occillo* – тербелетін және гр. *grapho* – жазамын)

Электронды осциллограф дегеніміз зерттеліп отырған электрлік сигналдардың формасын сырттай бақылауға арналған өлшеу аспабы. Осциллограф төменде келтірілген электрлік сигналдардың қасиеттерін жазуға:

1. Қандайда бір мерзімдік процестерді жазуға;
2. Екі электрлік шаманың арасындағы тәуелділікті білдіретін кисықты бақылауға және жазуға;
3. Электрлік немесе жарықтық сигналға айналған, уақыт сайын өзгермелі күштік және кинематикалық айқындауыштарын (шамаларын) бақылауға және жазуға арналған электр өлшеуіш құрал.
4. Уақытқа байланысты электр тогының немесе кернеуінің өзгерісін көзбен бақылауға немесе жазуға.

Сонымен қатар әртүрлі электрлік шамаларды: кернеуді, ток күшін, ток жиілігін, фазалар ығысу бұрышын, импульстардың ұзақтылығын, қайталау жиіліктерін және т.б. өлшеуге арналған аспаптар. Электрлік емес шамаларды электрлік шамаларға түрлендіре отырып, тез өзгеріп отыратын физикалық үдерістерді: қысымды, температураны, үдеуді, жылдамдықты, айналу жиілігін және т.б. осциллограф көмегімен тіркеуге және бақылауға болады. Жұмыс істеу принципі бойынша осциллограф жарық сәулелі және электронды сәулелі болып бөлінеді.

10.12. Осциллограф

Электронды осциллографтың негізгі элементі – электронды сәулелі түтікше. **Осциллографты түтік** – көрінетін электрлік сигналдарды графиктік көріністерге түрлендіретін электрон сәулелі түтік. Қабылдайтын сигналдардың сипатына, оларды экранда көрсету ерекшеліктеріне қарай осциллографты түтіктер төменгі

жиілікті, кең жолақты (жоғары және аса жоғары жиілікті) жоғары вольтті, жадқа сақтаушы, көп сәулелі, сәулесі радиалды ауытқитын аспап болып бөлінеді. Осциллограф экранда электр сигналдарды график түрінде бейнелейді. Көбінесе, график электр сигналдарының уақытқа байланысты өзгерісін көрсетеді. Графиктен келесі деректерді алуға болады:

Сигналдың түскен уақыты мен кернеудің мәнін;

Тербелмелі сигналдың жиілігін есептеу;

Берілген тізбектің қозғалмалы бөліктерін, сигнал арқылы көру;

Нағыз компоненттердің жоғында сигналдар түрінің бұзылуын;

Сигналдың қандай жағдайда артық болатынын: тұрақты ток немесе айнымалы ток үшін бе;

Шу шығаратын сигналдар қандай және шу уақытқа тәуелді ме деген сұрақтарға жауап алуға болады.

Теледидар техниктерінен бастап физиктерге дейін бәрі осциллографты қолдана алады. Электр жабдықтау құралдарын жобалау мен жөндеу барысында осциллографтан артық аспапты табу қиын. Осциллографтың пайдалылығы электроникамен ғана шектелмейді. Егер түрлендігіш дұрыс пайдаланылса (физикалық стимулға, яғни шуға, механикалық күшке, қысымға, жарыққа немесе жылуға электр сигналы түрінде жауап беретін жабдық), осциллограф кез келген құбылысты өлшей алады. Автокөлік инженері осциллографты қозғалтқыштың дірілін зерттеу үшін, ал медицина маманы осциллографты ми толқындарын өлшеу үшін қолдана алады, тура сол сияқты мысалдарды көп келтіруге болады. Аналогты және цифрлы болып бөлінетін осциллографтардың екі түрі де пайдалы.

Аналогты және цифрлы осциллографтар көптеген мақсаттар үшін қолданыла алынады. Алайда, осциллографтың әрбір түрі өзінің жеке өте тиімді қасиеттерімен сипатталып, белгілі бір мақсаттар үшін ғана жарамды бола алады.

Аналогты осциллографтарды «нақты уақыт» аралығында шапшаң құбылмалы сигналдардың бейнесі үшін маңызды

болғандықтан (олар қалай пайда болады), жиі оларды артығырақ пайдаланады.

Цифрлы осциллографтар бір–ақ рет болатын оқиғаларды қарап шығуға мүмкіндік береді. Олар мәліметтерді өңдеуді компьютерге бере отырып, сигналдың сандық мәліметтерін өңдей алады.

Сонымен осциллографтар цифрлы сигналдар мәліметтерін сақтай отырып, соңынан кез келген уақытта сол сигналдың бейнесін қарап шығып, сигналдан сандық мәліметті басып шығару үшін оны есте сақтай алады. 10.14-тарауда цифрлы есте сақтайтын осциллографтар ұғындырылады.

Аналогты осциллографтар

Зонд тізбегіне осциллографты жалғаса, сигналдың кернеуі зонд арқылы осциллографтың тіке вертикал жүйесімен өтеді. Өлшенетін сигналды осциллографтың қалай бейнелейтіні *10.14-суреттегі* сызбада шағын блокпен көрсетілген.

Тік шкаланың орналасуына байланысты (вольт/бөлік бағасы) **аттенюатор** (әлсіреткіш) сигналдың кернеуін төмендетеді немесе **күшейткіш** сигналдың кернеуін ұлғайтады. Сонан кейін сигнал электрон–сәулелі түтікшенің тік ауытқу пластинасынан тікелей өтеді. Түсірілетін кернеу осы ауытқу пластинасында жылжымалы сәулелер нүктелерін тудырады (фосфордың электрон шоғы жарық беріп тұратын нүктелерді құрайды). Оң кернеу осы нүктелердің жоғары қарай, ал теріс кернеу осы нүктелердің төмен қарай жылжуына әсер етеді.

Экрандағы сәуленің жылжуын немесе экранда графиктің суретін салу жылдамдығын **жазба** деп аталады. Жазбаның өлшем бірлігі ретінде секунд/бөлік бағасы алынады. Экрандағы сәулені «горизонталь жылжыту» үшін осциллографтың іске қосу жүйесі арқылы сигнал енеді. Экрандағы **сәуленің жазбасы** дегеніміз горизонталь жүйеге сай экран бетінде сәулелік нүктелердің горизонталь бағытта жылжуы. Горизонталь жүйені іске қосу арқылы

экрандағы сәулені белгілі—бір уақыт аралығында солдан оңға қарай горизонталь жылжытуға болады. Экрандағы көптеген сәулелердің жылжу құбылысы өте жылдам ілгерілемелі сәулелі нүктелердің қозғалысын тудырады, соның салдарынан олар тұтас сызыққа қосылып кетеді. Өте үлкен жылдамдықтарда нүкте экран арқылы секундына 500000 рет жылжып өтуі мүмкін. Сәуленің горизонтал бағытында жылжуы (X өсі бағытында) мен ауытқудың вертикал бағыттағы әрекеттері (Y өсі) бірігіп, экранда сигналдар графигін береді. Іске қосу сызбасы қайталанатын сигналдарды тұрақтандырып отырады. Экрандағы сәуленің жылжуы, яғни жайылуы сигналдың қайталанатын бір нүктесінен басталып, бейнелеудің айқын шығуына кепіл бола алады. Қорытындылай келе аналогты осцилляторды қолданғанда, ішке енетін сигналдарды орналастыру үшін үш негізгі баптау түрлерін дәлдеп, түзетіп алу керек.

Сигналдың әлсіреуі немесе күшеюі – тік ауытқитын пластиналарды қолданғанға дейін сигналдың амплитудасын реттеуі үшін вольт/бөлік бағасын қолдану; уақытша база – уақыт мөлшерін белгілеу үшін уақыт/бөлік бағасын қолдану; экранда уақыт көлденең горизонталь бойынша бөлінген осциллографты іске қосу – сигналдың қайталану деңгейін тұрақтандыру үшін триггерді (іске қосу сызбасын) пайдалану; сонымен қатар бір–ақ реттік оқиғаны іске қосу амалдарын дайындап алған жөн. Фокуспен басқаруды дұрыс реттеу дисплейдегі бейнелердің анық болуына мүмкіндік береді.

Тұрақты кернеуді осциллограф арқылы өлшеу үшін Y күшейткішінің «В/см» ажыратқышы ғана керек. Y пластиналарына кернеу берілмегенде дақтың ізі экран бетінің ортасында көрінеді. Ал Y пластинасына тұрақты ток кернеуі берілсе, онда дақтың жаңа орнының ізі кернеудің шамасын көрсетеді. Мысалы, *10.15 (а)-суретте* егер Y пластинасына кернеу берілмесе (бастапқы орны), онда іздің орны экранның тура ортасында орналасады, ал осыдан кейін тұрақты ток кернеуін қолдану арқасында

дақтың ізі 2.5 см жылжып, өзінің ең соңғы орнына дейін жетеді. Тұрақты кернеу шамасы 10 В / см , дақтың ұзындығына 2.5 см , олай болса,

$$2.5 \text{ см} \times 10 \text{ В / см} = 25 \text{ В}$$

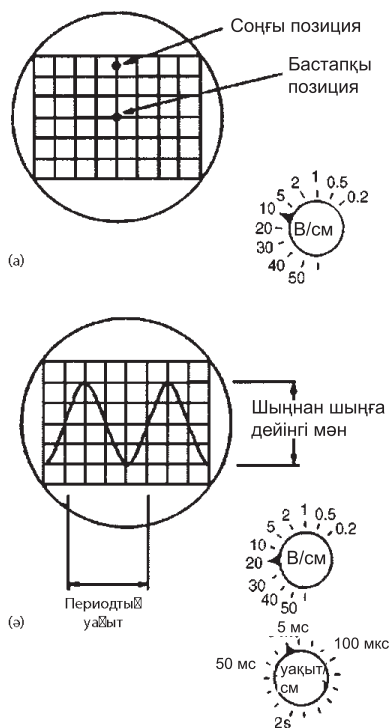
Айнымалы кернеуді осциллограф арқылы өлшеу. 10.15 (b)-суретте көрсетілгендей экранда синусоида бейнеленсін делік.

Егер ажыратқышты «уақыт/см» көрсеткіші арқылы 5 мс / см шамасына белгілесе, онда синусоиданың периодтық уақытты T – тең

$$5 \text{ мс / см} \times 4 \text{ см} = 20 \text{ мс} = 0.02 \text{ с.}$$

Сондықтан жиілік:

$$f = \frac{1}{T}, \text{ жиілік, } f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.02} = 50 \text{ Гц}$$



10.15-сурет

Егер « $V / см$ » көрсеткіші $20 V / см$ шамасында белгіленсе, онда синусоидалды толқын **шыңының** немесе **амплитудасының** мәні 20 вольт/см $\times 2$ см немесе $40 V$ тең болады.

$$\text{Орташа квадраттық кернеу} = \frac{\text{кернеу пик}}{\sqrt{2}} \quad (14\text{-тараудан})$$

Орташа квадраттық кернеу

Қос сәулелі осциллограф әрқашан екі сигналды бір мезгілде салыстырған кезде қажет. Электронды-сәулелі осциллографтар (э.с.о.) – жұмыс істемес бұрын алдын ала дұрыс күйге келтіретін, біраз икемдеуді талап ететін көп дайындық жұмыстарымен байланысты болады (қолайлы параметрлерді таңдауға байланысты). Дегенмен, басқа өлшегіш аспаптармен салыстырғанда оның үлкен артықшылығы мен ерекшелігі бар. Осциллографтардың сигналдар пішінін бақылаудағы мүмкіншілігі өте үлкен.

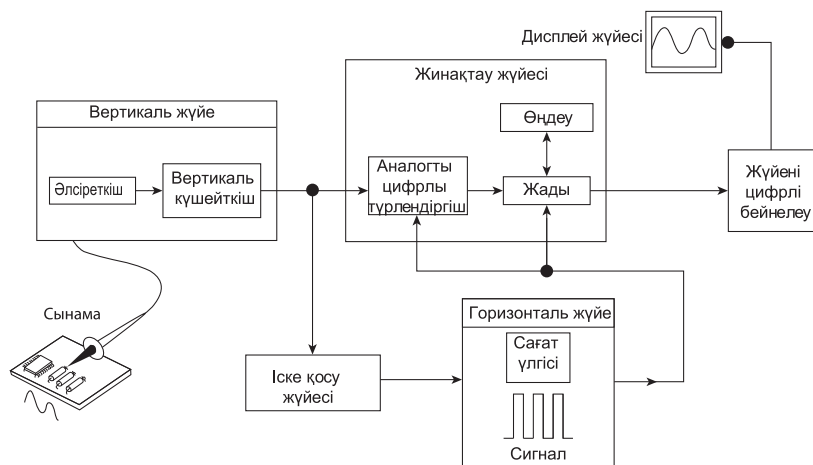
Цифрлы осциллограф

Цифрлы осциллографтар мен аналогты осциллографтардың құрамындағы кейбір жүйелері бірдей, дегенмен *10.16-суретте* көрсетілгендей цифрлы осциллографтар қосымша мәліметтермен, деректермен және өңдеу жүйелерімен, блок-сызбалармен жабдықталған.

Цифрлы осциллографтар қосымша жүйелерден мәліметтерді жинап, содан соң кез келген сигналдарды бейнелей алады.

Зондтың цифрлы осциллографы аналогты осциллограф тәрізді тізбекке жалғанғанда горизонталь жүйе сигналының амплитудасын реттейді.

Аналогты-цифрлы түрлендіргіш (АЦТ) сигналдар үлгілерін жинау жүйесінде уақыттың дискретті нүктелерінде сигналдардың кернеуін цифрлық мәндерге түрлендіреді және бұл нүктелер *іріктелген нүктелер* деп аталады.



10.16-сурет

Горизонталь жүйенің таңдамалы уақыты деп аталатын блок АЦТ–тің сынақ үлгіні қаншалықты жиі алынатындығын анықтайды.

Кіріс сигналдарын цифрға айналдыру жылдамдығын дискретизация жиілігі деп атайды және ол сәмпл/секунд, мегасәмпл/секунд, гигасәмпл/секундпен өлшенеді.

АЦТ–гі таңдамалы нүктелер оның жадында нүктелер сигналы түрінде сақталады.

Бірден артық іріктелген нүктелер сигналдың бір нүкте сигналын құрай алады.

Нүктелердің сигналдары бірігіп, сигналдың бір түрін жазады.

Сигналдың жазбасын түсіру үшін сигналдың нүкте саны пайдаланылады және оны жазбаның ұзындығы деп атайды. Синхронизацияның жүйесі нүктелер жазбасының басы мен тоқтауын анықтайды. Жадта сақталғаннан кейін жазбаның бұл нүктелері дисплейге келіп бейнеленеді. Осциллографтың мүмкіндігіне байланысты іріктелген нүктелерін қосымша өңдеудің арқасында дисплей жақсартылып, оңдалады.

Өлшеуді өткізу алдында аналогты осциллографтар сияқты цифрлы осциллографтардың да вертикал, көлденең сигналда-

рын және электронды ауыстырып–қосқыш күйлерін түзетуді қажет етеді.

7-есеп. Осциллографтағы тік бұрышты толқынды кернеудің графигі *10.17-суретте* көрсетілген. «Уақыт/см» (немесе база–уақытын бақылау) бұрамасы $100 \text{ мкс} / \text{см}$ көрсеткішіне, ал " $V / \text{см}$ " бұрамасы $20 \text{ В} / \text{см}$ көрсеткішіне сай болғанда (немесе амплитуда сигналын бақылау) келесі шамаларды анықтаңыздар: (а) циклдің ұзақтылығын; (б) жиілікті, (с) бір шыңнан екінші шыңға дейінгі кернеуді.

(*10.17-сурет* бойынша квадраттарды $1 \text{ см} \times 1 \text{ см}$ тең деп алайық).

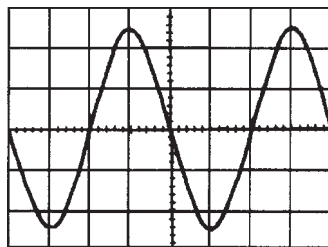
(а) Бір толық циклдің ені – 5.2 см . Олай болса, уақыт интервалы:

$$T = 5.2 \text{ см} \times 100 \times 10^{-6} \text{ с/см} = 0.52 \text{ мс}.$$

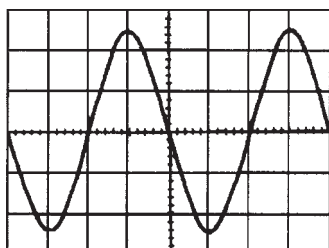
(б) Жиілік: $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.52 \times 10^{-3}} = 1.92 \text{ кГц}$

(с) Дисплейдегі шыңдардың биіктігі 3.6 см , олай болса, кернеу шыңдарының биіктігі $= 3.6 \text{ см} \times 20 \text{ В/см} = 72 \text{ В}$.

8-есеп. *10.18-суретте* осциллографтағы импульс сигналдарының бейнесі көрсетілген. «Уақыт/см» бұрамасы 50 мс/см көрсеткішінде, ал «Вольт/см» бұрамасы 0.2 В/см көрсеткішіне



10.17-сурет



10.18-сурет

сай. Анықтау керек: (а) периодтық уақытты, (б) жиілікті, (с) импульс кернеуінің шамасын.

(а) Бір толық циклдің ені 3.5 см . Олай болса, уақыт интервалы:

$$T = 3.5 \text{ см} \times 50 \text{ мс/см} = 175 \text{ мс}$$

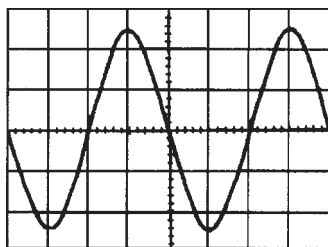
(б) Жиілік $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.52 \times 10^{-3}} = 5.71 \text{ Гц}$

(с) Импульстің биіктігі 3.4 см , демек, импульс кернеуінің шамасы:

$$= 3.4 \text{ см} \times 0.2 \text{ В/см} = 0.68 \text{ В}.$$

9-есеп. 10.19-суретте осциллографта синусоидалы кернеудің ізі бейнеленген. Егер «уақыт/см» бұрамасын $500 \text{ мкс} / \text{см}$ – ге, ал « $V / \text{см}$ » бұрамасын $5 \text{ В} / \text{см}$ көрсеткішіне қойса, сонда пайда болған сигналдың параметрлерін табу керек:

(а) жиілікті, (б) шыңнан шыңға дейінгі кернеуді, (с) амплитуданы, (д) сигналдың орташа квадраттық шамасын.



10.19-сурет

(а) Бір толық циклдің ені -4 см , Олай болса, T – уақыт интервалы,

$$T = 4 \times 500 \text{ мкс} / \text{см} = 2 \text{ мс}$$

(b) Жиілігі: $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2 \times 10^{-3}} = 500 \text{ Гц}$

(с) Шыңнан шыңға дейінгі сигналдың биіктігі 5 см – ге тең. Олай болса, Шыңнан шыңға дейінгі кернеуі $= 5 \text{ см} \times 5 \text{ В/см} = 25 \text{ В}$

(d) Амплитуда $= \frac{1}{2} \times 5 \text{ В} = 12.5 \text{ В}$

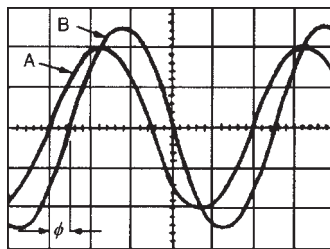
(е) Кернеудің шыңының мағынасы амплитуда болып табылады, олай болса, ол 12.5 В , ал сигналдың орташа квадраты шамасы:

$$= \frac{\text{кернеу пик}}{\sqrt{2}} = \frac{12.5}{\sqrt{2}} = 8.84 \text{ В}$$

Кернеу

10-есеп. Қос сәулелі осциллограф үшін *10.20-суретте* бейне көрсетілен. Анықтаңыздар: (а) жиілігін, (b) орташа квадрат шамаларын, (с) фаза айырымын. «Уақыт/см» бұрамасы $100 \text{ мкс} / \text{см}$ және " $\text{В} / \text{см}$ " бұрамасы $2 \text{ В} / \text{см}$ –ге келтірілген.

(а) Екі сигнал үшін бір толық циклдің ені 5 см . Олай болса, уақыт интервалы, T әрбір сигнал үшін $5 \text{ см} \times 100 \text{ мкс} / \text{см}$ тең, яғни 0.5 мс . Әрбір сигналдың жиілігі:



10.20-сурет

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.5 \times 10^{-3}} = 2 \text{ кГц}$$

(b) А сигналы шыңдық мәні, $2 \text{ см} \times 2 \text{ В/см} = 4 \text{ В}$ олай болса, А сигналдың орташа квадраттық шамасы. $=4/(\sqrt{2}) = 2.83 \text{ В}$

В сигналының шыңдық мәні: $2.5 \text{ см} \times 2 \text{ В/см} = 5 \text{ В}$, осыдан В сигналының орташа квадраттық шамасы $=5/(\sqrt{2}) = 3.54 \text{ В}$

(c) Бірінші цикл 5 см құрайды, сонан кейін 5 см 360° құрайды. Олай болса, 1 см дегеніміз $360/5 = 72^\circ$ Фазалық бұрыш $2 \varnothing = 0.5 \text{ см} = 0.5 \text{ см} \times 72^\circ/\text{см} = 36^\circ$

Олай болса А сигналы В сигналымен салыстырғанда 36° озып отырады.

Келесі жаттығуларды орындаңыздар.

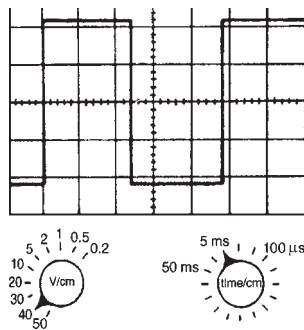
53-жаттығу. Электрон-сәулелі осциллографқа арналған қосымша есептер

1. Кернеудің тікбұрышты толқыны осциллографта 10.21-суретте бейнеленген. Табу керек (a) жиілікті (b) шыңнан шыңға дейінгі кернеуді.

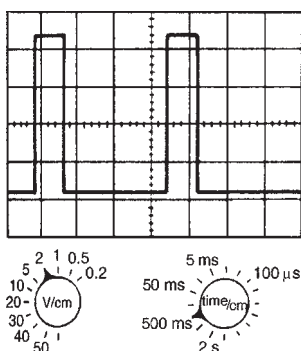
$$[(a) 41.7 \text{ Гц}, (b) 176 \text{ В}]$$

2. 10.22 -суретте келтірілген импульс пішіні үшін табу керек: (a) жиілікті, (b) импульс кернеуінің шамасын.

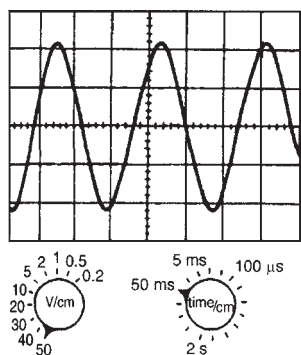
$$[(a) 0.56 \text{ Гц}, (b) 8.4 \text{ В}]$$



10.21-сурет



10.22-сурет



10.23-сурет

3. 10.23-суретте келтірілген синусоидалды сигнал үшін анықтау керек: (а) жиілікті; (б) шыңнан шыңға дейінгі кернеуді.

[(а) 7.14 Гц, (б) 220 В]

10.13 Виртуалды тест пен өлшеуіш аспаптар

Компьютер аспаптары бүгінгі күндері тесттеу мен сынау жабдықтарында және қосымша өлшеулерде көп пайдалынады. Цифрды есте сақтайтын осциллограф (ЦЕО) сынақтың кең қолданатын виртуалды аспабы.

Жеке компьютердың есептеуіш қуаты өте үлкен болғандықтан, виртуалды ЦЕО-ты компьютер әр түрлі қосымша функциялар-

ды қамтамасыз ете алады, мысалы, спектрді талдайды, түстерді түзетеді және жиілік пен кернеу үшін цифрлық индикациялау қызметін атқарады.

Осциллографтардың сигналдар мен өлшеулердің мәліметтерін сақтай алатын өте маңызды қабілеттері бар. Сонымен қатар әсіресе, стандарттарға немесе техникалық шарттарға сәйкестікті дәлелдеуді талап етпейтін жағдайларда осы сигналдарды салыстыра отырып, талдауда өте бағалы.

Кәдімгі осциллографтан (бірінші кезекте сигналдың бейнесін көрсету) виртуалды осциллографтың негізгі айырмашылығы: өз бойында бір пакет ішінде бірнеше бақылау–өлшеу құралдарын тиімді түрде тіркестіріп құрастыра алатын компьютерға негізделген аспап. Мұндай аспаптардың функциясы мен қол жеткізетін әдеттегі өлшеулері төменде келтірілген:

- Реалды уақыт пен сигналдың бейнесін сақтап қалу;
- Дәл уақыт пен кернеуді өлшеу (меңзер арқылы реттеу);
- Кернеуді цифрлық индикациялау;
- Жиілікті немесе периодты, уақытты цифрлық индикациялау;
- Фазалық бұрышты дәл өлшеу;
- Талдау мен спектр жиілігін бейнелеу.

Деректерді тіркеу (есте сақталған сигналдарды форматтарға шығару мүмкіндігі және әдеттегі электронды кестелерді сәйкес файлдар түрінде келтіру);

Графикалық форматта сигналдарды және басқа да ақпараттарды сақтау/басу мүмкіншіліктері: мысалы, JPG файлды кеңейту, (JPeG) форматындағы жарық торлы графикалық файл немесе биттік бейнелеу, графикалық файлдардың стандартты форматы, бір нүкте үшін 4, 8 және 24 битті қарастыратын файлдар, битті карта кескіндерінің графикалық форматы, карталарды базалық жағынан қолдау, жарық торлы графикалық редакторлардың мәліметтерін пакеттік өңдеу.

Виртуалды аспаптар әр түрлі пішіндер түрінде кездеседі:

Кәдімгі ішкі құрылғыны PCI – (Peripheral Component Interconnect–шеттік компоненттерді қосу – компьютер мен олардың шеткі құрылғыларын қосудың стандарттары) кеңейту картасы түрінде өңдеу.

Сыртқы блокпен қамтамасыз ету аппараты компьютерге кәдімгі 25-контактілі ажыратуы параллель порт арқылы немесе (Universal Serial Bus) USB-универсалды тізбекті каналмен жалғанған.

Ықшам-тегеріктен (компакт-диск) және басқа драйверлерден өндірушінің сайты арқылы қажетті бағдарламаларды жүктеуді орындау.

Пайдаланушының виртуалды аспаппен жұмыс істей алуы үшін өндірушілер бағдарламалық драйверлерді жолдама құжаттармен дайындап береді. Мұндай құжаттар жалпыға түсінікті, әйгілі тілмен құрастырылған бағдарламалармен қамтамасыздандырылады, мысалы, Visual BASIC немесе C++ сияқты.

10.14 Виртуалды цифрды есте сақтағыш (жадылық) осциллографтар

Бүгінгі күні виртуалды цифрды есте сақтағыш осциллографтың (ЦЕО) бірнеше түрі белгілі. Оларды қолдану тәсіліне байланысты:

- Арзан ЦЕО;
- Жылдамдығы өте жоғары ЦЕО;
- Рұқсат ету шегі өте жоғары ЦЕО, үш санатқа орналастыру ыңғайлы сияқты.

Өкінішке орай соңғы екі санаттардың арасындағы кейбір шаптастырулар болып тұрады. Өте жоғары жылдамдықты ЦЕО-тар өте тез өзгертін құбылмалы сигналдар алу үшін арналған.

Мұндай аспаптың рұқсат ету мүмкіндігі жоғары бола алмайды. Ал керісінше, егер ЦЕО-ның рұқсат ету мүмкіндігі, яғни айыру қабілеттілігі мен дәлділік дәрежесі жоғары болса, онда ол

өте жылдам құбылмалы сигналдарды ұстап, бейнелей алмайды. Осындай екі түрлі осциллографтардың айырмашылығын кейінірек айқынырақ түсінеміз.

Қымбат емес ЦЕО көбінесе, төмен жиіліктер үшін арналған (әдеттегідей, сигналдар 20 кГц -ке дейін) және сигналдарды 10 К және 100 К жиіліктер аралығында сәмпл/секундпен ұстай алады. Рұқсат алу немесе ажырату әдетте 8 битпен немесе 12 битпен шектеледі (кернеудің дискретті деңгейлері 256 немесе 4096 сәйкес).

Олар міндетті түрде қос каналды аспаптар болып табылады, ол кәдімгі «диапазонда» өзгеріссіз жұмыс істей отырып, барлық функцияларды орындай алады, оған қоса тағы да триггерді, жазбаны, кернеулер диапазондарын таңдау мен «X-Y» режимде жұмыс істеу қабілеттілігі қосылады.

Аспаптың негізінде компьютердің көмегімен алынатын қосымша функциялар өтпелі үдерістерді басып алумен қатар (көру аймағындағы кәдімгі цифрді жадтау) келесі талдаулар үшін сигналды сақтап қалу мүмкіндігін тудырады. Жиілік спектрін талдау арқылы сигналды талдау мүмкіндігі тек ЦЕО-ың ғана тағы бір ерекшелігі болып табылады (төменде қараңыз).

Жиіліктің жоғарғы шегі

ЦЕО-ның сигнал жиілігінің жоғарғы шегі бірінші кезекте кіріс сигналдың жылдамдығымен анықталады. Әр түрлі виртуалды аспаптар үшін типті дискретизация жиіліктері кестеде келтірілген:

ЦЕО түрі	Типті дискретизация жиіліктері
Арзан ЦЕО	Секундына 20 К -дан
Жоғары жылдамдықты ЦЕО	Секундына 100 М -дан 1000 М дейін
Жоғары айыру қабілеттілікті ЦЕО	Секундына 20 М – дан 100 М дейін

Сигналдарды бейнелеу үшін жеткілікті дәлдік дәрежесі қажет. Жеткілікті дәлдік дәрежесімен сигналдарды бейнелеу үшін ЦЕО-ың әдеттегі талабы бойынша дискретизация жиілігі екі есе артық, ал жоғары жиілікті сигналдары бес есе артық болуы керек.

Сонымен, 10 МГц сигналды белгілі-бір дәлділікпен бейнелеу үшін 50 М секундына сэмпл жиіліктің дискретизациясы қажет.

ЦЕО-ның бес артықшылықтарына тоқтала кетуге болады. Цифрлы аналогты түрлендіргіштер үшін сигналдарды сұраптағанда әдетте, Найквист критерийі қолданылылады: дискретизация жиілігі аналогты сигналдың жиіліктерінен минимум дегенде екі есе жоғары болуы керек. Бұдан былай ЦЕО-ға мұндай ереже қолданылмайды, себебі мұндай жағдайда сигналды дәл бейнелеу үшін үлгі әлдеқайда шапшаң жылдамдылықпен сұрыпталуы тиісті. Тәжірибе жүзінде жуық шамамен дәлдікті жаңғырту сигналды іріктеудің бір цикл шегінде минимум бес нүктені жинауды талап етеді.

Қорыта келгенде сигналды дұрыс дәлділікпен бейнелеу үшін дискретизация жиілігі жоғары жиілікті сигналдардан кем дегенде бес есе артық болуы керек.

Екі каналды ЦЕО-ның ерекше жағдайына тоқталайық. Бұл жағдайда дискретизация жиілігі екі канал арқылы екі жаққа бөлініп кетеді. Қорыта келгенде, $20 \text{ Мсэмпл / секундты}$ дискретизацияның әсерлі эффективті жиілігі екі каналдың әрқайсысы үшін $10 \text{ Мсэмпл / секунд}$ -пен теңеледі. Олай болса мұндай жағдайда жиіліктің жоғарғы шегі 4 МГц болмай, тек 2 МГц шамасына тең бола алады.

Әр түрлі қажетті сигналдардың түрлерін жеткілікті дәлділікпен бейнелеу үшін жуықтап алғандағы өткізу қабілеті төмендегі кестеде келтірілген:

Ортақ ереженің мәнін келесі түрде келтіруге болады: идеалды түрде алғанда синусоидалды сигналдар үшін өткізу қабілеті кем дегенде жоғары жиілікті сигналдармен (меандр) салыстырғанда екі есе артық болуы керек және импульсты сигналдардың өткізу

қабілеті кем дегенде ең жоғары жиілікті сигналдарға қарағанда, он есе жоғары болуы керек.

Айта кету керек, көпшілік өндірушілер аспаптардың өткізу қабілетін жиілікпен анықтайды, яғни бұл жиілікте кіріс синусоидаларының сигналы 0.707 шынайы амплитудасынан (нүкте – 3 дБ -ге дейін) төмендейді.

Сигнал	Қажетті өткізу қабілететі (жуық)
Төмен жиіліктер мен энергия	тұрақты ток көзі 10 кГц
Аудио жиілік	тұрақты ток көзі 20 кГц
Аудио жиілік (жоғары сапалы)	тұрақты ток көзі 50 кГц
Тікбұрышты және импульсты сигналдар	тұрақты ток көзі 100 кГц
Жылдам импульстар уақыты аз өзгеруімен	тұрақты ток көзі 1 МГц
Көру	тұрақты ток көзі 10 МГц
Радио (ТЖ, ОЖ және ЖЖ)	тұрақты ток көзі 50 МГц

Ажырату

Ажырату және сигнал дәлдігінің (өткізбеу қабілеті) арасындағы қатынас қарапайым болып келеді. Түрлендіру үдерістері барысында бит неғұрлым үлкен болса, солғұрлым кернеудің әлдеқайда дискретті деңгейлерін ЦЕО шеше алатын болады. Қатынас төмендегіше келтіріледі:

$$x = 2^n,$$

мұндағы, x – кернеудің дискретті деңгейі мен n – биттер саны. Олай болса, түрлендіру үдерісі кезінде қосымша әр рет битті пайдаланғанда ЦЕО–ның ажырату қабілеті екі есе артатын болады, осы байланысты төменде келтірілген кестеден көруге болады.

Биттер саны, n	Дискретті кернеу деңгейлері немесе олардың саны – x
8-бит	256

10-бит	1024
12-бит	4096
16-бит	65536

Есте сақтау буферінің мөлшері

ЦЕО өзінің есте сақтау буферіне түсіріп алған сигналдар үлгілерін сақтай алады.

Қорыта келгенде, дискретизацияның осы жиілігі үшін есте сақтау буферінің мөлшерін анықтау арқылы ЦЕО буферлік жады толғанша ол қанша сигналды түсіріп ала алатын ұзақтылығын анықтайды. Дискретизация жиілігі мен жадтың буферлік сыйымдылығының арасындағы қатынасты білу өте маңызды.

Жоғары жиілікті дискретизациясы бар, бірақ жедел жадының көлемі шағын ЦЕО-тар дискретизацияның өзінің барлық жиілігін тек уақытша базаның жоғарғы бірнеше диапазондарында ғана пайдалана алатын мүмкіндігі бар.

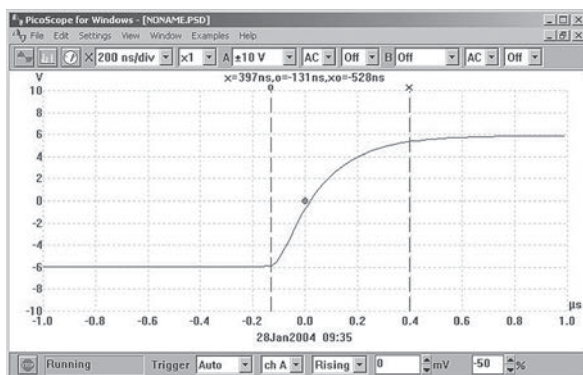
Мұндай тұжырымды түсіну үшін қарапайым мысал келтірейік. Айталық, 10 МГц меандрға (мыс орамы) сәйкес $10\,000$ циклді көрсетейік. Мұндай сигнал 1 мс ішінде алынады. Егер бес рет қатар мәлімдеме жасасаңыз, бұл сигналдың дәл бейнесін түсіру үшін 50 МГц -тен кем емес өткізу жолағы қажет.

Меандрын қалпына келтіру үшін бір циклға минимум 5 үлгі талап етіледі, сонда дискретизацияның минималды жиілігі $5 \times 10 \text{ МГц} = 50 \text{ М}$ сэмпл секунд болады.

Мәліметтерді жинау үшін 1 мс уақыт интервалында секундына 50 М сэмпл жылдамдықпен $50\,000$ үлгілерді сақтай алатын жад қажет. Егер әр үлгі 16 -битті пайдаланса, онда бізге 100 кбайт өте шапшаң жад қажет болады.

Дәлділік

ЦЕО-ның өлшеу дәлдігі, ажыратуы немесе өлшеуі (өлшене алынатын кернеудің ең кіші өзгеруін қайта есептеу) таңдаған нақты диапазонға бағынышты болады. Мысалы, 8 -битті ЦЕО

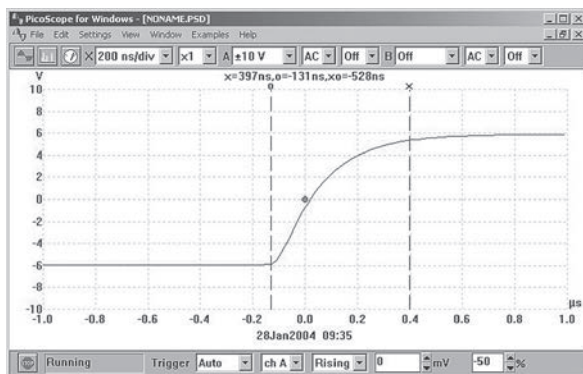


10.24-сурет

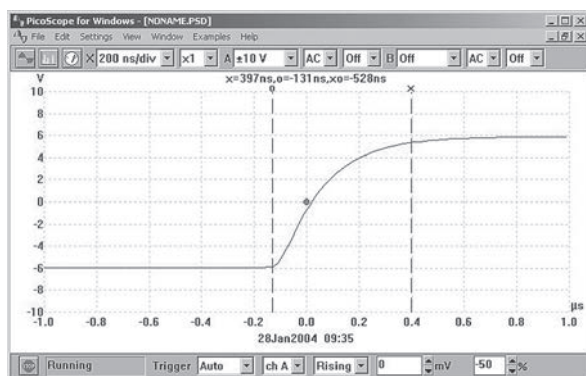
1 В диапазонында бір вольттің екі жүз елу алтыдан бір бөлігінің өзгеруін таба алуға қабілетті, яғни $1/256$ немесе 0.04 мВ . Өлшеудің көпшілігі үшін толық шкала бойынша 0.4% дәлділік жеткілікті.

10.24-суретте PicoScope (электронды-сәулелі осциллятор) бағдарламамен қамтамасыз етілген дисплей көрсетілген; оның бетінде осциллографтың: спектрді талдау дисплейі, жиілікті индикациялау дисплейі, вольтметрді бейнелейтін дисплей.

Реттеле алатын мезгеліштер өте дәл өлшеулер өткізуге мүмкіндік бере алады. 10.25-суретте сигналдың (номиналды



10.25-сурет



10.26-сурет

шыңы 10 В) ең жоғары мәні 9625 мВ (9.625 В) тура өлшенеді. 0 вольттен бастап, шыңдық мәніне жететін уақыт 246.7 мкс (0.2467 мс).

Екінші уақыттық мезгелішті қосу екі оқиғалардың аралығындағы уақытты дәлірек өлшеуге мүмкіндік береді. 10.26-суретте іске қосу нүктесіне дейінгі «А» оқиғасы 131 нс ішінде, ал «Х» оқиғасы іске қосу нүктесінен кейін 397 нс өтеді. Бұл екі оқиғалардың арасындағы өткен уақыт 528 нс .

Екі мезгелішті тінтуір арқылы (немесе басқа құрылғымен) реттеуге болады немесе әлдеқайда дәлірек жеке компьютердің пернелер мезгелішін пайдалана отырып, орындауға да болады.

Диапазонды автоматты таңдау

Тағы да бір виртуалды ЦЖО-ның жиі жүзеге асыратын өте пайдалы функциясы ол диапазонды автоматты түрде таңдай алу қабілеті. Егер жүйелі түрде әдеттегі диапазонды әр түрлі өлшеулер үшін қолданатын болса, онда қанша рет тік аспаптың сезгіштігіне түзету кіргізу керек екендігі белгілі болады.

ЦЕО-ның жоғары ажырату мүмкіншілігі

ЦЕО-ның жоғары ажырату мүмкіншілігі оны өте дәл өлшеулер жасауға, сигналды дәл жаңғыртуға, сонымен бірге тиісті жер-

де шумен гармоникалық құраушыларды талдауға дәл орындау мүмкіншілігін береді.

Сигналдармен шағын жұмыс істеу және жоғары сапалы дыбысты алу ЦЕО-ның негізгі қолдану орындары болып табылады. Әдетте, 8-битті арзан, дәлдігі нашар ЦЕО-мен салыстырғанда бұл осциллографтардың дәлдігі 1%–дан кем емес 12-битті немесе 16-битті ажырату мүмкіншілігі мен сипатталады. Міне, осындай қасиеттер аудио, шу және дірілдеу өлшеулерді жасауда оны мінсіз етеді.

Осы осциллографтардың ажырату мүмкіншілігінің жоғары болу себебімен динамикалық диапазоны өте кең спектрлерді талдау үшін де қолдануға мүмкіндік береді (100 дБ-ге дейін). Бұл функция төменгі деңгейдегі аналогты сызбалардағы бұрмалаулар мен шуды өлшеген кезде мінсіз болып табылады.

Ажырату қабілеті тек ЦЕО-ның өзін таза түрде алса ғана жоғары жиілікті сигнал дәл тұтқындалады деген кепілдікті беру жеткіліксіз.

Жазық жиілікті сипаттаманы жасай алу өндірушілердің негізгі мақсатына жатады. Бұл жауапты барынша жазық топтық кідіртулердің мультифиді (максималды жазық топтық кідірту – MFED) деп те атайды.

Осы түрдің жеке сипаттамасы импульстерді беру кезінде өте жақсы дәлдікті қамтамасыз етеді және импульстардың қатесі минималды келеді.

Айта кету керек, егер жиіліктің кіру сигналы таза синусоидалды болмаса да, оның құрамында жоғарғы гармоникалық жиіліктердің болуы мүмкін. Мысалы, тікбұрышты толқындардың құрамында тақ гармоникалар кездеседі, олар жиіліктің ұлғаюымен байланысты біртіндеп қысқара бастайды. Олай болса, 1 МГц квадратты толқынды дәл бейнелеу үшін (еске сақтау керек) осы сигналдан басқа тағы да 3 МГц, 5 МГц, 7 МГц, 9 МГц, 11 МГц, т.б. сигналдарының болатынын ескеру қажет.

Спектралды анализ

Жылдам Фурье түрлендіру әдістемесі (ЖФӨ) бағдарламалық алгоритмдерді, виртуалды ЦЕО-тан алынған нәтижелерді қолдану арқылы есептеледі, сөйтіп жиіліктік спектрлердің бейнелерін келтіруге мүмкіндік береді. Мұндай дисплейлер сигналдардың гармоникалық құрамдарын зерттеуге үшін арналған, олар құрамдас сигнал шегінде бірнеше сигналдардың өзара қарым-қатынасын анықтай алады.

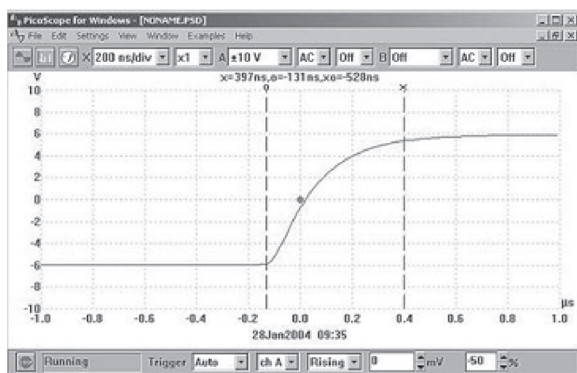
Генератор сигналдары төмен деңгейде бұрмаланған 1 кГц синусоидалды сигналдың жиіліктік спектрі *10.27-суретте* көрсетілген. Өткізгіштік қабілеттілік жылдамдығы секундына 4096 виртуалды ЦЕО тұрақты ток көзінен шыққан жиілігі 12.2 кГц диапазонында жатқан сигналды қабылдауға дайын.

Дисплей (негізгі деңгейлермен салыстырғанда -50 дБ ден -70 дБ деңгейлерінде) екінші гармониканы және сонымен қатар келесі 3 кГц , 5 кГц , 7 кГц гармоникаларды да (негізгі деңгейлермен салыстырғанда, 75 дБ -ден төмен деңгейлер) анық бейнелей алады.

11-есеп. *10.28-суретте* жоғары жылдамдықты виртуалды ЦЕО-да 1184 кГц сигналдың жиіліктік спектрі бейнеленген.



10.27-сурет



10.28-сурет

Анықтау керек: (а) "x" және "o" арқылы белгіленген сигналдардың арасындағы гармониялық қатынасты, (б) "x" және "o" арқылы белгіленген сигналдарының амплитудаларының децибелмен алынғандағы айырмашылығын және негізгі сигналына "o" қатысты екінші гармониканың амплитудасын.

а) "x" сигналы 3553 кГц жиілігінде белгіленген. Ал мұның өзі 1184 кГц жиілігіндегі "o" сигналымен салыстырғанда, "x" сигналының үш есе артық екенін көрсетеді. Олай болса "o" сигналымен салыстырғанда "x" үшінші гармоника болып табылады.

ә) "o" сигналдың амплитудасы $+17.46 \text{ дБ}$, ал "x" сигналының амплитудасы -4.08 дБ . Қорыта келгенде, деңгей айырмашылығы $= (+17.46) - (-4.08) = 21.54 \text{ дБ}$.

б) екінші гармониканың амплитудасы (жуықтағанда 2270 кГц) $= -5 \text{ дБ}$.

10.15 Толқынның гармоникаларының пішіндері

Лездік кернеу $v = V_m \sin 2\pi ft$ вольт теңдеуімен берілсін делік. Бұл синусоидалды сигнал t – уақытта f – жиілікпен V_m максималды мәніне ие. Айнымалы кернеу тек бір ғана жиілігі бар синусоидалды толқындарды бере алады. Егер сигнал синусоидал-

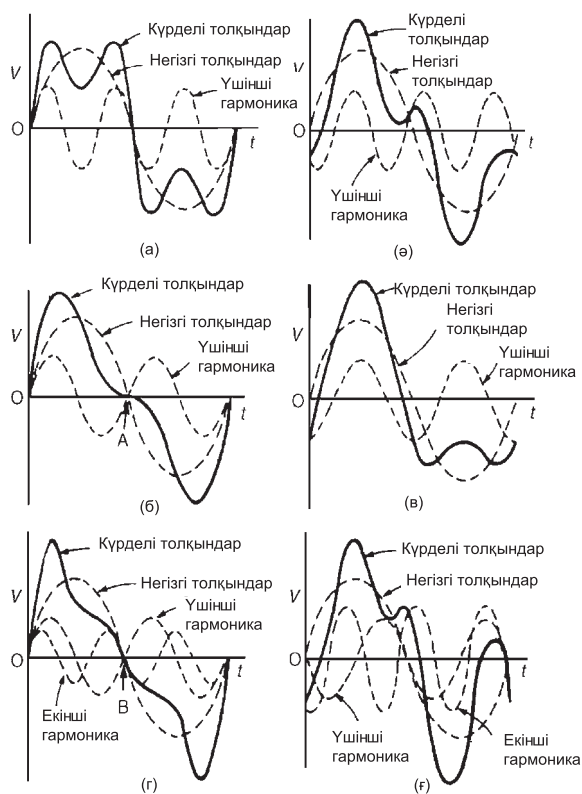
ды болмаса, онда оны күрделі толқын деп атайды және ол өзінің пішініне тәуелсіз компоненттерге бөліне алады, мұндай процесті математикалық түрде **іргелі** және гармоникалардың саны деп аталады. Бұл процесс гармоникалық анализ деп аталады. Іргелі (немесе бірінші гармоника) сигнал синусоида болып келеді және жиілігі тұрақты ток көзінің f – жиілігіне тең; басқа гармоникаларының пішіндері синусоидты толқындармен сипатталған және жиіліктері f – жиілігіне еселі. Қорыта келгенде, егер қоректендіру көзінің жиілігі 50 Гц болса, онда үшінші гармониканың жиілігі 150 Гц , бесінші гармониканың жиілігі 250 Гц және әрі қарай т.с.с. болып жалғаса береді.

Күрделі сигнал негізгі сигналдан және үшінші гармоникадан тұратыны *10.29 (a)-суретте* көрсетілген; суретте негізгі, яғни іргелі сигналдың амплитудасының жартысы келтірілген, басында осы екі сигналдардың өзара бір фазада болғаны көрініп тұр. Егер одан әрі амплитудалары сәйкес тақ гармоникалық сигналдарды қосса, онда жақсы жуықтаумен алғанда тік бұрышты толқындар (сигналдар) шығады. *10.29-суретте* көрсеткендей, негізгі жиілікпен салыстырғанда үшінші гармониканың бастапқы фазасы ығысқан. *10.29-суреттегі* әрбір күрделі сигналдардың циклдарының оң және теріс жартысының пішіндері бірдей, міне тура осы қасиеттер тек қана **негізгі және тақ сигналдарының гармоника** қосындысынан тұратын күрделі сигналдардың **ерекшелігі** болып табылады.

Құрамында негізгі жиіліктен басқа екінші гармоникасы бар күрделі сигналдың негізгі амплитудасының жартысы *10.29-суретте* көрсетілген, әрбір сигнал басында бір фазалы болған. Сәйкес амплитудалардың жұп гармоникаларын әрі қарай жақсы жуықтау нәтижелерінде үшбұрыштық толқындарды алуға болады. *10.29 (b)-суретте* көрсеткендей, егер A нүктесінен айнадан қарағанда теріс цикл төңкерілсе, оң цикл шағылған бейне сияқты болып көрінеді. *10.29 (c)-суретте* көрсетілген негізгі жиілікпен салыстырғанда екінші гармоника бастапқы фаза ауытқуымен си-

патталып, оң және теріс жартылай периодтары біркелкі болып табылады.

Құрамында негізгі, екінші мен үшінші гармоникалары бар күрделі сигнал *10.29-суретте* көрсетілген. Әрбір сигнал басында бір «фазада» болған. Егер теріс жартылай период кері болса, онда ол В нүктесінде айнадан шағылған тәрізді оң период болып көрінеді. *10.29 (d)-суретте* құрамында негізгі сигналдан басқа екінші, үшінші гармоникалары бар күрделі сигналдарда фазаның алғашқы ығысуы көрінеді. Оң және теріс жарты периодтар әртүрлі деп қарастырылады.



10.29-сурет

10.29-суретте (а) -дан (f) -ге дейінгі келтірілген күрделі сигналдардың түрлері арқылы белгісіз күрделі гармоникалардың құрамын электр сәулелі осциллографтың экранындағы бейнелер арқылы айырып, тануға мүмкіншілік туады.

10.16 Логарифімдік қатынас

Электронды жүйелерде оның әртүрлі нүктелерінде өлшенген екі бірдей шамалардың қатынасы жиі логарифімдік өлшем бірлігімен беріледі. Анықтама бойынша, егер екі күштің энергиясының P_1 және P_2 қатынасы дБ – децибел өлшем бірлігімен берілсе, онда X –децибел саны келесі формуламен анықталады:

$$X = 10 \lg \left(\frac{P_2}{P_1} \right) \text{ дБ} \quad (1)$$

Екі күштің қуатының қатынасы $P_2 / P_1 = 1$ тең болса, онда децибел қуаттың қатынасы $= 10 \lg 1 = 0$, ал қатынасы $P_2 / P_1 = 100$ тең болса, онда қуаттың децибелмен алғандағы қатынасы $= 10 \lg 100 = +20$ (қуат күшееді), егер қатынас $P_2 / P_1 = 1 / 100$ тең болса, онда децибелл қуаттың қатынасы $= 10 \lg 1 / 100 = -20$ (қуат шығындалып, сөнеді).

Логарифімдік өлшем бірліктерін, сонымен қатар кернеу мен ток үшін де осындай қатынастарды келтіруге болады. P қуат үшін $P_2 / P_1 = 1$ немесе $P = V^2 / R$. (1) теңдеудің орнына қоямыз:

$$X = 10 \lg \left(\frac{I_2^2 / R_2}{I_1^2 / R_1} \right) \text{ дБ}$$

$$\text{Немесе } X = 10 \lg \left(\frac{V_2^2 / R_2}{V_1^2 / R_1} \right) \text{ дБ}$$

$$R_1 = R_2$$

$$X = 10 \lg \left(\frac{I_2^2}{I_1^2} \right) \text{ дБ}$$

немесе

$$X = 10 \lg \left(\frac{V_2^2}{V_1^2} \right) \text{ дБ} -$$

$$X = 20 \lg \left(\frac{I_2}{I_1} \right) \text{ дБ}$$

немесе

$$X = 20 \lg \left(\frac{V_2}{V_1} \right) \text{ дБ}$$

(логарифм заңынан алынған).

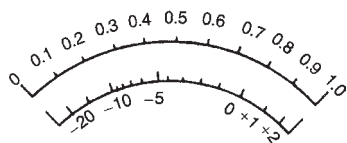
Теңдеуде X децибел екі бірдей шаманың логарифмдік қатынасы болып табылады, ол абсолютті бірлік болып табылмайды. Олай болса осы эталон үлгімен салыстырғанда жоғары ма, төмен бе децибелдің мөлшерін өлшеу үшін тіректі деңгейді көрсету керек.

Қоректендіру көзі әдетте, пайданылатын бастапқы деңгей 1 MBm , ал қуаттың деңгейі децибелмен сипатталғанда онда осы тірек 1 мВт деңгейден жоғары не төмен болуы мүмкін, әдетте, қоректендіру көзі үшін пайданылатын бастапқы деңгей 1 мВт , ол қуаттың деңгейін децибелмен сипаттағанда біртекті деңгейдің жоғары не төмен болуы мүмкін, әдетте, бірлік қуаттың жаңа деңгейін децибелмен бере алады.

Децибелмен қуаттың деңгейін көрсету үшін вольтметрдің масштабын қайта өзгертуге болады. Масштабтар әрине, мөлшерленген, тіректі деңгейді 0 дБ -ден белгілеген, 1 мВт қуат шамасының кедергісі 600 Ом резисторда қарапайым тарату желісіндегі кедергі болып табылады, олай болса: тіректік кернеуді

$$V \text{ табуға болады: } P = \frac{V^2}{R}, \text{ яғни. } 1 \times 10^{-3} = \frac{V^2}{600}$$

Осыдан $V = 0.775$ Вольт. Жалпы децибелмен алғанда:



10.30-сурет

$$X = 20 \lg \left(\frac{V}{0.775} \right)$$

Сондықтан: $V = 0.20$ В сәйкес $20 \lg = \left(\frac{0.2}{0.775} \right) = -11.77$ дБ

Және $20 \lg \left(\frac{0.90}{0.775} \right) = +1.320$ дБ т.с. с. жалғаса береді.

Әдеттегі децибелметр немесе дБ өлшеуіш аспабының масштабы 10.30-суретте көрсетілген. Тізбектегі толық кедергі 600 Ом болмаса, онда децибел өлшеуіштерінде қателер туады.

12-есеп. Екі қуаттың қатынасы (a) 3; (b) 20; (c) 4; (d) 1/20. Әрбір нақты жағдай үшін қуаттың децибелмен алғандағы қатынасын анықтаңыздар.

Шкаланың үстіңгі жағындағы саналымда қуаттардың қатынасы децибелмен берілген: оның формуласы: $X = 10 \lg(P_2/P_1)$

$$(a) \text{ егер } \frac{P_2}{P_1} = 3$$

$$X = 10 \lg(3) = 10(0.477) = 4.77 \text{ дБ}$$

$$(b) \frac{P_2}{P_1} = 20$$

$$X = 10 \lg(20) = 10(1.30) = 13.0 \text{ дБ}$$

$$(c) \frac{P_2}{P_1} = 3$$

$$X = 10 \lg(400) = 10(2.60) = 26.0 \text{ дБ}$$

$$(d) \frac{P_2}{P_1} = \frac{1}{20} = 0.05$$

$$X = 10 \lg(0.05) = 10(-1.30) = -13.0 \text{ дБ}$$

(a), (b) және (c) қуаттың ұлғаюы мен күшеюін, (d) қуаттың шығынымен әлсіреуін көрсетеді.

13-есеп. Жүйеге кіріс тоғы 5 мА , шығыс тоғы 20 мА . Егер жүйенің кіріс және шығыс кедергілерін эквивалентті деп алынатын болсақ, онда децибелмен алғандағы токтың қатынасын анықтау керек.

Жоғарыдан, децибелмен алғандағы токтардың қатынасы:

$$20 \lg \left(\frac{I_2}{I_1} \right) = 20 \lg \left(\frac{20}{5} \right) = 20 \lg 4 = 20(0.60) = 12 \text{ дБ күшейеді}$$

14-есеп. Кабельге берілген токтың шығыс клеммаларында қуат 6% шығындалады. Децибелмен алғанда қуаттың шығынын табыңыз:

Егер кіріс қуаты P_1 ; ал шығыс қуаты P_2 болса, онда:

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{6}{100} = 0.06.$$

Қуаттың децибелмен алғандағы қатынасы:

$$= 10 \lg \left(\frac{P_2}{P_1} \right) = 10 \lg(0.06) = 10(-1.222) = -12.22 \text{ дБ}$$

ойлай болса, қуат шығындалған, оның әлсіреуі -12.22 дБ –гетец.

15-есеп. Күшейткіштің күшеюі 14 дБ және оның кіріс қуаты 8 мВт . Шығыс қуатын табу керек.

Қуаттардың қатынасы децибелмен алғанда $= 10 \lg(P_2 / P_1)$, мұндағы, P_1 – кірістегі қуат, P_2 – шығыстағы қуат. Олай болса, $14 = 10 \lg(P_2 / P_1)$.

$$\text{Осыдан: } 1.4 = \lg(P_2 / P_1) \text{ осыдан: } 10^{1.4} = \frac{P_2}{P_1} \text{ және } 10^{1.4} \text{ —}$$

$$\text{Сондықтан: } 25.12 = \frac{P_2}{P_1}$$

шығыстағы қуат: $P_2 = 25.12 P_1 = (25.12)(8) = 201 \text{ мВт}$ немесе **0.201 Вт**.

16-есеп. Байланыс жүйесінің үш этапы үшін шығыс қуатының кіріс қуатына қатынасын децибелмен алып есептеңіз. Әрбір этап күшеюінің децибелдері: 12 дБ , 15 дБ , 8 дБ . Сонымен қатар децибелмен алғанда қуаттың жалпы коэффициентін анықтаңыздар.

Тізбек қуатының жалпы коэффициентін анықтау үшін децибелл қатынастары қолданылады. Децибелл қуаттарды жай бірге қосу арқылы децибелл қуаттың коэффициентін табуға болады.

Олай болса қуаттың жалпы коэффициенті: $= 12 + 12 + 8 = 19 \text{ дБ}$

$$\text{Ендеше, } 19 = 10 \lg \left(\frac{P_2}{P_1} \right),$$

$$\text{Осыдан: } 1.9 = \lg \left(\frac{P_2}{P_1} \right) \quad 10^{1.9} = \frac{P_2}{P_1} = 79.4.$$

$$\text{Қуаттың жалпы коэффициенті: } \frac{P_2}{P_1} = 79.4.$$

$$\text{Бірінші этап үшін: } 12 = 10 \lg \left(\frac{P_2}{P_1} \right).$$

$$\text{Осыдан: } \frac{P_2}{P_1} = 10^{1.2} = 15.85.$$

$$\text{Екінші этап үшін: } \frac{P_2}{P_1} = 31.62$$

$$\text{Үшінші этап үшін: } \frac{P_2}{P_1} = 0.1585$$

$$\text{Жалпы қуаттың қатынасы: } 15.85 \times 31.62 \times 0.1585 = 79.4$$

17-есеп. Күшейткіштің шығыс кернеуі 4В. Егер кернеу бойынша күшейту коэффициент 27 дБ болса, онда кірістегі кернеуді есепте, күшейткіштің кірістегі кедергісі мен жүктеменің кедергілері тең.

Децибелмен алғанда кернеудің коэффициенті:

$$= 27 = 20 \lg(V_2 / V_1)$$

$$\text{Олай болса } \frac{27}{20} = \lg\left(\frac{4}{V_1}\right)$$

$$\text{сондықтан } 1.35 = \lg\left(\frac{4}{V_1}\right)$$

$$\text{олай болса } 10^{1.35} = \frac{4}{V_1}$$

$$\text{ендеше } V_1 = \frac{4}{10^{1.35}}$$

$$\text{сондықтан } V_1 = \frac{4}{10^{1.35}} = \frac{4}{22.39} = 0.179 \text{ В}$$

Олай болса, кірістегі V_1 кернеудің шамасы 0.179 В.

Келесі жаттығуларды орындаңыздар.

54-жаттығу. Логарифмдік қатынасқа есептер

1. Екі қуаттың қатынастары келесі түрде берілген (а) 3 (b) 10 (c) 20 (d) 10000. Әрқайсысы үшін қуаттың децибел қатынасын анықтаңыз.

Б [(a) 4.77 дБ (b) 10 дБ (c) 13 дБ (d) 40 дБ]

2. Екі қуаттардың қатынастары (a) 1/10, (b) 1/3, (c) 1/40, (d) 1/100. Әрбір қатынас үшін қуаттың децибел шамасын анықтаңыз.

Б [(a) -10 дБ (b) -4.77

B (с) -16.02 дБ (d) -20 дБ]

3. Жүйенің кіретін және шығатын ток ағымдарының мәні 2 мА және 10 мА сәйкесінше. Децибел токтың қатынасын есептеңіз, егер кіріс және шығыс кедергілері тең болса.

[13.98 дБ]

4. Кабельдегі клеммалардың шығысында қуат өзінің 5% –ын жұмсайды. Децибелмен алғандағы қуаттың шығынын анықтаңыз.

[13 дБ]

5. Күшейткіштің күшеюі 24 дБ, оның кіріс қуаты 10 мВт. Қуаттың шығынын табыңыз.

[2.51 Вт]

6. Кіріс қуаттың шығыс қуатқа қатынасын жүйенің төрт кезеңі арқылы децибелмен анықтаңыз, егер әрбір кезеңнің күшейтуі 10 дБ, 8 дБ, -5 дБ, 7 дБ болса. Сонымен қатар қуаттың жалпы күшеюін есептеңіз.

[20 дБ, 100]

7. Күшейткіштің шығу кернеуі 7 мВ. Егер күшеюдің кернеуі 25 дБ болса, кіру кернеуін есептеңіз, күшейткіштің кедергісі мен жүктеменің кедергісін тең деп алыңыз.

[0.39 мВ]

8. 23 дБ каскадты күшейткіштерді қатардың кернеуі бойымен күшейту коэффициенті 3.8 дБ және 12.5 дБ, 5.8 дБ. Децибелдеріндегі ортақ күшейту коэффициентін есептеңіз. Егер 15 мВ кернеу жүйенің кіре берісіне келтірілсе, шығыстық кернеудің мәні қандай?

[8.5 дБ 39.91 мВ]

9. Вольтметр шкаласында децибел саналымының масштабы берілген. Егер 1 мВт қуат кедергісі 600 Ом резисторда жұмсалатын болса, осы шкала тірек деңгейін 0 дБ деп қабылдап, үлгілеген. Анықтау керек кернеуді: (a) 1.5 дБ (b) 0 дБ (с) -15 дБ. (d) 0.5 В сәйкес қандай дБ-ің мәні сәйкес келеді?

$$\begin{aligned} & [(a) 0.775 \text{ В} \quad (b) 0.921 \text{ В} \\ & (c) 0.138 \text{ В} \quad (d) -3.807 \text{ В} \end{aligned}$$

10.17 Өлшеудің нөл тәсілі

Өлшеудің теңгеруші әдісі өте қолайлы, қарапайым, дәл және кең қолданылатын әдіске жатады. Бұл әдіс тек аспаптың көрсеткішіне тәуелді, осы көрсеткіш 0-токпен дәлдеп түзетіледі. Әдіс келесі сұрақтарды бағалай алады:

Егер қандай да болмасын бір ауытқу орын алса, онда біршама ток өте бастағаны;

Егер ешқандай ауытқу болмаса, онда ток (нөлдік күй) жүрмейді.

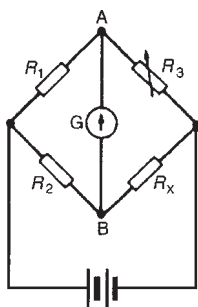
Демек, олай болса сезгіш аспапты таңдау қажет. Және осы шарттар үшін аспаптар алдын ала мөлшерленген болуы керек. Нөлдік күйі тура ортасында орналасқан сезгіш миллиамперметр немесе микроамперметр гальванометр деп аталады. Осы әдісті қолданған мысалдарды қараңыздар: Уитстон көпірі (10.18-тарауда), тұрақты ток потенциометрі (10.19-тарауда), айнымалы ток көпірлері (10.20-тарауда).

10.18 Уитстон көпірі

10.31-суретте Уитстон көпірінің схемасы келтірілген. Кедергінің R_x белгісіз шамасын басқа белгілі тұрақты шамалары бар R_1 мен R_2 кедергілермен R_3 айнымалы кедергіні салыстыра отырып, табуға болады. G гальванометр нөлдік күйіне дейін ауытқығанша R_3 өзгере алады.

Аспап арқылы ток жүрмейді, $V_A = V_B$ және көпір «баланс жасалған,» яғни теңелген деп аталмайды. Егер теңерген болса:

$$R_1 R_x = R_2 R_3, \text{ яғни } R_x = \frac{R_2 R_3}{R_1} \text{ Ом}$$



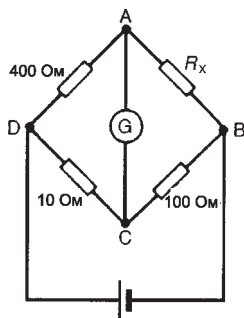
10.31-сурет

18-есеп. ABCD Уитстон көпірінде гальванометр А мен С ортасында, В мен D аралығында батарея, кедергісі белгісіз резистор А мен В ортасында жалғанған. Көпір теңелген кезде В мен С ортасындағы кедергі 100 Ом , С мен D ортасындағы кедергі 10 Ом , D мен А ортасындағы кедергі 400 Ом шамаларымен сипатталады. Белгісіз кедергінің мәнін есептеп шығару керек.

10.32-суретте Уитстон көпірінің сызбалары келтірілген. Мұнда белгісіз кедергі R_x деп белгіленген. Көпірдің қарама-қарсы жақта жатқан кедергілерінің көбейтіндісі бір-біріне теңелген болуы керек.

$$(R_x)(10) = (100)(400) \text{ және } R_x = \frac{(100)(400)}{10} = 4000\text{ Ом}$$

Олай болса, белгісіз кедергі: $1.710 - 8\text{ Ом} \cdot \text{м}$



10.32-сурет

10.19 Тұрақты ток потенциометрі

Тұрақты ток потенциометрі нөлдік фунт стерлинг теңгерім аспабы. Ол белгісіз э.қ.к. пен потенциалдар айырымын белгілі э.қ.к. пен потенциалдар айырымымен салыстыру арқылы анықтауға арналған.

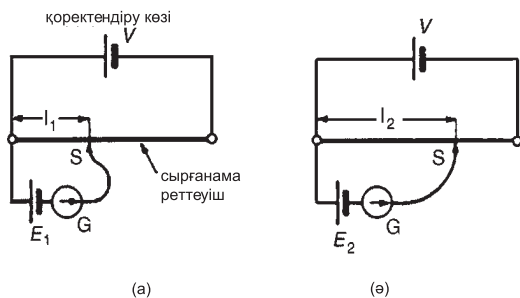
10.33-суретте сырғанама реттеуіш сым бойымен каретка теңелгенше жылжытылады (яғни гальванометрден ауытқу нөл бойынша, ал ол l_1 - ұзындығына сәйкес). Енді стандартты элементтің орнына э.қ.к.-сі белгісіз E_1 элементті қоямыз (10.33-сурет) тағы да қайтадан теңестіруді жасаймыз, ол

$$l_2 - \text{ұзындығына сәйкес. } E_1 \propto l_1 \text{ және } E_2 \propto l_2 \text{ сонда: } \frac{E_1}{E_2} = \frac{l_1}{l_2}$$

$$\text{және } E_2 = E_1 \left(\frac{l_2}{l_1} \right) B$$

Потенциал кернеуді екі резистор элементтері арқылы құрастыруы мүмкін және ол роторлы басқарумен немесе сызықтық қозғалыспен қол арқылы бұраумен реттелді. Мұндай құрылғылар тасушы сырғамалы контактының резистивті элементі түрінде құрастырыла алады және ол роторлы немесе басқару тұтқасының сызықты жылжу көмегімен реттелетін болады.

19-есеп. Тұрақты ток потенциометрінде кернеуі 1.0186 В стандартты элементті пайдаланғанда теңелу 400 мм ұзын-



10.33-сурет

дыққа сәйкес. Құрғақ элементтің э.қ.к. – сін анықтаңыз, егер теңелу ұзындығы 650 мм болса,

$$E_1 = 1.0186 \text{ В}, l_1 = 400 \text{ мм және } l_2 = 650 \text{ мм}$$

$$10.33\text{-суреттен, } \frac{E_1}{E_2} = \frac{l_1}{l_2}, \text{ осыдан}$$

$$E_2 = E_1 \left(\frac{l_2}{l_1} \right) = (1.0186) \left(\frac{650}{400} \right) = 1.655 \text{ В}$$

Келесі жатыңуларды орындаңыздар.

55-жаттығу. Уитстон көпірімен тұрақты ток

потенциометріне арналған қосымша есептер

1. *PQRC* Уитстон көпірінде гальванометр *Q* мен *C* ортасында, ал кернеу көзі *P* мен *R* –дің ортасында орналасқан. R_x белгісіз резистор *P* мен *Q* арасында жалғанған. Көпірді теңестіргенде *Q* мен *R*–ден арасындағы кедергі 200 Ом, ал R_{xc} мен *C* арасындағы кедергі 10 Ом, *C* мен *P* арасындағы кедергі 150 Ом болған. Белгісіз R_x резистордың кедергісін есептеу керек.

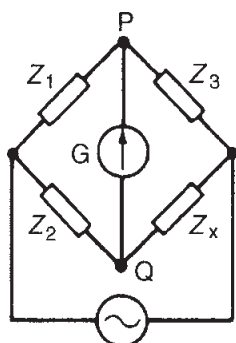
[3 кОм]

2. Стандартты элементтің тұрақты ток потенциометрінің кернеуі 1.0186 В теңгерім ұзындығы 31.2 см орынды алады. Құрғақ элементтің э.қ.к. есептеңіз, егер теңгерім 46.7 см ұзындықпен алынса.

[1.525 В]

10.20 Айнымалы ток көпірлері

10. 34-суретте Уитстон көпірінің сызбасы келтірілген, оны айнымалы ток көзімен қоректегенде индуктивтілік пен



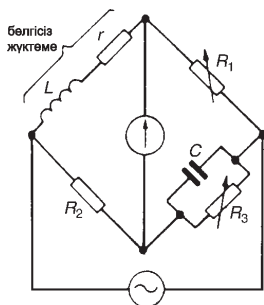
10.34-сурет

сыйымдылықты және кедергілердің белгісіз мәндерін анықтау үшін қолдануға болады.

Z_3 пен (немесе Z_1 мен Z_2 - ден кейін) Z_x потенциалдар айырымы өзінің мәні мен фазасына сай теңессе, онда G гальванометр арқылы ағатын ток нөлге тең болады. $Z_1 Z_x = Z_2 Z_3$ теңелуінен шығады:

$$Z_x = \frac{Z_2 Z_3}{Z_1} \text{ Ом}$$

Айнымалы ток көпірлерінің түрлері көп: Максвелл, Хэй, Оуэн, Хэвисайд көпірлері индуктивтілікті өлшейді, Де Соти, Шеринг және Виен көпірлері сыйымдылықты өлшей алады. Коммерциялық және универсалды көпірлер – индуктивтілікті де, сыйымдылықты да, кедергіні де өлшей алады. Айнымалы ток көзі арқылы жұмыс істейтін көпір үшін комплексті сандар тура-



10.35-сурет

лы түсініктерді білу қажет (комплектті сан белгісі $-j$, $j = \sqrt{-1}$). Максвелл–Виен көпірі *10.35-суретте* көрсеткендей индуктивті орамның L индуктивтілігін және r кедергіні өлшей алады.

Диагоналды қарама қарсы орналасқан кедергілердің көбейтіндісі бір-біріне эквивалентті. Осыдан:

$$Z_1 Z_2 = Z_3 Z_4$$

Комплектті шамаларды қолдана отырып, $Z_1 = R_1$ $Z_2 = R_2$

Сонда: $Z_3 = \frac{R_3(-jX_C)}{R_3 - jX_C}$, (яғни көбейтіндісі/қосындысы)

$$Z_4 = r + jX_L$$

$$R_1 R_2 = \frac{R_3(-jX_C)}{R_3 - jX_C} (r + jX_L)$$

Ендеше $R_1 R_2 (R_3 - jX_C) = (-jR_3 X_C)(r + jX_L)$

$$R_1 R_2 R_3 - jR_1 R_2 X_C = -jrR_3 X_C - j^2 R_3 X_C X_L$$

$$R_1 R_2 R_3 - jR_1 R_2 X_C = -jrR_3 X_C + R_3 X_C X_L$$

$$j^2 = -1$$

Реалды бөлігін теңестіре отырып аламыз:

$$R_1 R_2 R_3 = R_3 X_C X_L$$

$$\text{Осыдан } X_L = \frac{R_1 R_2}{X_C}$$

$$2\pi fL = \frac{R_1 R_2}{\frac{1}{2\pi fC}} = R_1 R_2 (2\pi fC)$$

Индуктивтілік $L = R_1 R_2 C$ Гн (2)

Жорамал бөлігін теңестіре отырып, аламыз: $-R_1 R_2 X_C = -r R_3 X_C$

$$\text{Осыдан кедергі } r = \frac{R_1 R_2}{R_3} \text{ Ом}$$

20-есеп. 10.35-суретте көрсетілген айнымалы ток көпірі үшін орамның индуктивтілігі мен кедергісін анықтау керек, егер $R_1 = R_2 = 400 \text{ Ом}$, $R_3 = 5 \text{ кОм}$, ал сыйымдылық $C = 7.5 \text{ мкФ}$ болса.

2-теңдеуден индуктивтілік тең

$$L = R_1 R_2 C = (400)(400)(7.5 \times 10^{-6}) = 1.2 \text{ Гн}$$

$$\text{теңдеуден } r = \frac{R_1 R_2}{R_3} = \frac{(400)(400)}{5000} = 32 \text{ Ом}$$

$$(2) \text{ теңдеуден } R_2 = \frac{L}{R_1 C}$$

$$(3) \text{ теңдеуден } R_3 = \frac{R_1}{r} R_2$$

$$\text{олай болса, } R_3 = \frac{R_1}{r} \frac{L}{R_1 C} = \frac{L}{Cr}$$

Егер жиілік тұрақты болса, онда $R_3 \propto L / r \propto \omega L / r \propto Q$ – фактор (15 пен 16-тарауда). Қорыта келгенде, оның сапалылығын (Q – факторын) көрсете алатын көпірді түзетуге болады. 10.21-тарауда Q – метр өлшем бірліктері келтірілген.

Келесі жаттығуларды орындаңыздар

56-жаттығу. Айнымалы ток көпірлеріне арналған қосымша есептер

1. $ABCD$ Максвелл көпірінің сызбада келесі кедергінің иықтары келтірген: AB , 250 Ом BC , кедергісі 10 Ом резистормен

15 мкФ сыйымдылығы параллель, CD – кедргісі 400 Ом, DA белгісіз орам L индуктивтілігі және R кедергісі бар. Көпірді теңелді деп қарастырып, осы орамның индуктивтілігін, кедергісін анықтаңыз.

[1.5 Гн 10]

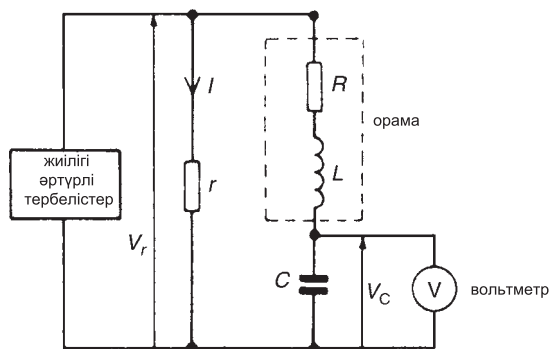
10.21 Q–метр

$L - C - R$ тізбегі үшін сапалылық (төзімділік) бұл резонансты

кернеудің ұлғаюы: $Q - \text{фактор} = \frac{V_{\kappa}}{V}$ (V_{κ} – конденсатордағы кернеу, V – қоректендіру көзінің кернеуі).

Сапалылықты өлшейтін Q-өлшеуіш аппаратының жеңілденген сызбасы 10.36-суретте келтірілген. Айнымалы жиілікті төмен r кедергісі бар генератордан ток өтеді, кернеудің жиілігі өсіп, $L - C - R$ тізбегіне беріледі. Жиілік өзгеріп, резонансқа дейін V_{κ} кернеудің өзінің ең жоғары мәніне жетеді. V_{κ} мен V_r резонансқа жеткенде:

$$Q - \text{фактор} = \frac{V_{\kappa}}{V_r} = \frac{V_{\kappa}}{Ir}$$



10.36-сурет

Іс жүзінде Q -метр, яғни сапалылық өлшеуіш аппаратында V_r тұрақты қалпында ұсталынады, сапалылықты тікелей көрсету үшін электронды вольтметр мөлшерленген болып табылады. Егер C айнымалы конденсатор қолданылса, ал генератор берілген жиілікте орнатылса, онда резонансты алу үшін C -ны реттеуге болады. Олай болса, L индуктивтілікті келесі өрнектен табуға болады:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Сонда R есептеп табуға болады: $Q = \frac{2\pi fL}{R}$

Сапалылықты анықтайтын Q -метр әртүрлі жиіліктерде жұмыс істей алады және 1 кГц -тен 50 мГц - ке дейін өлшеулер жүргізіле алатын аспаптар белгілі. Мұндай өлшеуіштерде орамның өзінің параллель эффективтілік сийымдылығы болатындықтан, орамдағы шумақтардың арасындағы сийымдылықтардың әсерінен қателердің болуы мүмкін.

Q -метрдің дәлдігі жуықтап алғанда: $\pm 5\%$.

21-есеп. Q -метрді индуктивтілік орамға қосқанда резонанс 440 кГц туады. Тізбектің сапалылығы 100 . Q -метр конденсатордың сийымдылығы 400 пФ . Анықтау керек:

(а) индуктивтілікті, (б) индуктивті орамның кедергісін.

Резонанстық жиілік, $f_r = 400 \text{ кГц} = 400 \times 10^3 \text{ Гц}$

Q – фактор = 100

Сыйымдылық, $C = 400 \text{ пФ} = 400 \times 10^{-12} \text{ Ф}$

Q -метрдің сызбасы *10.36-суретте* келтірілген

(а) Резонанста: $f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$

$L - C - R$ тізбегі үшін, сонда: $2\pi f_r = \frac{1}{\sqrt{LC}}$

Осыдан: $(2\pi f_r)^2 = \frac{1}{LC}$

Индуктивтілік,

$$L = \frac{1}{(2\pi f_r)^2 C} = \frac{1}{(2\pi \times 400 \times 10^3)^2 (400 \times 10^{-12})} \text{ Гн}$$

$$= 396 \text{ мкГн немесе } 0.396 \text{ мГн}$$

(b) резонанстағы Q-фактор $= 2\pi f_r L / R$, осыдан кедергі:

$$R = \frac{2\pi f_r L}{Q} = \frac{2\pi(400 \times 10^3)(0.396 \times 10^{-3})}{100} = 9.95 \text{ Ом}$$

Келесі жаттығуларды орындаңыздар.

57-жаттығу Q-метрге арналған қосымша есеп

1. $L - C - R$ – тізбегінің сапалылығын Q-метр өлшегенде ол 200-ге тең болды. Резонанстың жиілігі 250 кГц . Егер Q-метр конденсатордың сыйымдылығы 300 нФ болса, анықтау керек: (a) L индуктивтілікті; (b) индуктивті орамның кедергісін $-R$.

$$[(a) 1.351 \text{ мГн } (b) 10.61]$$

10.22 Өлшеу қателері

Электрлік шамаларды аспаптармен өлшегенде әруақытта қателер еске алынады. Өлшеу кезіндегі әрдайым кездесетін қателердің түрлеріне:

- Аспаптардың шектеуліктерімен;
- Оператор (басқару құрылысы);
- Аспаптың тізбегінің бұзылуы.жатады

Аспаптардың шектеуліктерімен байланысты қателер

Құралдардың дәлділігіне сай оны мөлшерлеу дәлділігі тәуелді. Әрбір құрал немесе аспаптың өзіне тән қателіктері болады,

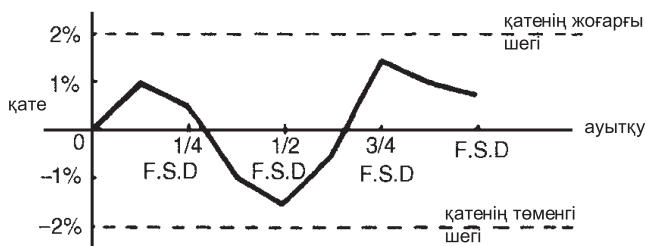
мұндай қателіктер аспаптың бүкіл масштабты ауытқуының (б. м. а) пайызы ретінде алынады. Мысалы, ірі өндірістерде пайдалынатын құралдардың дәлділік кластары бүкіл шкаламен салыстырғанда $\pm 2\%$ береді. Олай болса, егер вольтметрдің бүкіл масштабты ауытқуы $100 В$ болса, ал ол $40 В$ көрсетіп тұрса, онда іс жүзіндегі кернеу $40 \pm (100\text{-ін } 2\% \text{-ы})$ немесе 40 ± 2 , яғни $38 В$ пен $42 В$ арасында болады деген сөз.

Құрал стандартты құралмен салыстыра отырылып, мөлшерленгеннен соң (үлгіленгеннен кейін), «санауыш ауытқуы» мен «қате» арасындағы тәуелділік графигі салынады. Осындай типтес график *10.37-суретте* келтірілген. Ұзындық масштабында аспаптың дәлділігі өзгертіні көрінеді. Сонымен, диапазонның үлкен бөлігіндегі $\pm 2\%$ ауытқумен салыстырғанда аспаптың бүкіл масштабты $\pm 2\%$ ауытқуы әлдеқайда дәл болады.

Оператор (басқару құрылысы)

Егер шкаладағы шамалар сызықтық түрде бөлінсе, онда қателерді есептеу қиындықтар тудырмайды, ал егер шкала сызықтық емес болып дараланса, онда мұндай шкаланы бағалау қиынға соғады. Өлшеуіш құралдың шкаласының бетіндегі көрсеткішке бұрышпен емес, тік бұрышпен қараған дұрыс. Операторлардың қателерін цифрлы аспаптар арқылы жоюға болады.

Аспап тізбегінің бұзылуы нәтижесіндегі қателер



10.37-сурет

Тізбекке қосылған кез келген аспап өзінің әсерін осы тізбекке белгілі бір дәрежеде келтіреді. Аспаптарға жұмыс істеу үшін қандай да болмасын энергия, қуат қажет, алайда, мұндай күш жалпы тізбектің күшімен салыстырғанда өте аз, кішкентай, сондықтан аспаптың тудыратын қатесі де азғантай. Тізбекке дұрыс қосылмаған аспаптар да қателер тудыра алады, мысалы, *10.38-суретте* вольтметр-амперметр әдісімен өлшенген кедергіні қарастырайық. Айталық аспап мүлтіксіз болсын, вольтметрдің шамасының көрсеткішін амперметрдің көрсеткішіне бөле отырып, кедергісін табамыз. ($R = V / I$). Алайда *10.38(a)-суретте* $V / I = R + r_a$ және *10.39(b)-суретте* ток амперметрмен вольтметрмен резистор арқылы өтеді. Сондықтан вольтметрдің көрсеткішін жай ғана амперметр көрсеткішіне бөле салу R кедергінің нақты мәнін бере алмайды, тізбекті қалай жалғаса да.

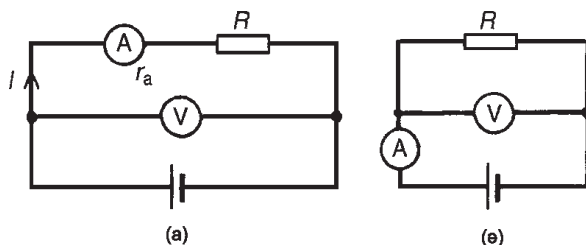
22-есеп. $5 \text{ кОм} \pm 0.4\%$ резистор арқылы ток өткен, оның шамасы 2.5 мА болып өлшенеді. Өлшеудің дәлділігі $+0.5\%$ деп алайық. Резистордағы кернеудің номиналды шамасы және дәлділігін табыңыз.

$$\text{Кернеу } V = IR = (2.5 \times 10^{-3}) (5 \times 10^3) = 12.5 \text{ В}$$

$$\text{Ең жоғарғы мәнді қатесі } 0.4\% + 0.5\% = 0.9\%$$

Сонымен кернеудің шамасы тағы да келесі мүмкін түрде өрнектеуге болады:

$$V = 12.5 \text{ В} \pm 0.9\% \quad 12.5 \text{ В} \quad 0.9\%$$



10.38-сурет

$$12.5 = 0.9 / 100 \times 12.5 = 0.1125 \text{ В} = 0.11 \text{ В}$$

V кернеудің өзгеру диапазоны:

$$12.5 \pm 0.11 \text{ В} . (12.39 \text{ В пен } 12.61 \text{ В})$$

23-есеп. R резистор арқылы ағып жатқан I ток $0 - 10 \text{ А}$ диапазонында амперметрмен өлшенеді. Көрсеткіште 6.25 А көрсетілді. Резистордағы кернеу $0 - 50 \text{ В}$ диапазонындағы вольтметрмен өлшеніп, 36.5 В шамасын көрсетті. Резистордың кедергісін, оны өлшеу дәлдігін есептеңіз, егер екі аспабында бүкіл масштабты шкала бойынша қателіктері $\pm 2\%$ құрайтын болса. Аспаптағы жүктемелердің әсерін ескермеуге болады.

$$\text{Кедергі: } R = \frac{V}{I} = \frac{36.5}{6.25} = 5.84 \text{ Ом}$$

$50 \text{ В} = \pm 1.0 \text{ В}$ -ан кернеудің қатесі $\pm 2\%$. Вольтметрмен салыстырғанда пайыздық сипаттама:

$$\frac{\pm 1}{36.5} \times 100\% = \pm 2.74\%$$

ток күшінің қатесі: $\pm 2\%$ деп алғанда: $10 \text{ А} = \pm 0.2 \text{ А}$

$$\frac{\pm 2}{6.25} \times 100\% = \pm 3.2\%$$

Максималды салыстырмалы қателік: $= 2.74\% + 3.2\% = \pm 5.94\%$
қателер қосындысы: $5.84 \text{ Ом} = 0.347 \text{ Ом}$

Олай болса резистордың кедергісі келесі өрнекпен:

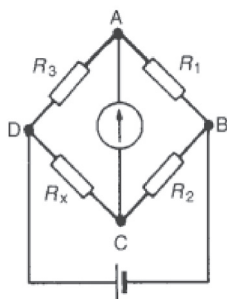
$$5.84 \text{ Ом} \pm 5.94\% \text{ немесе } 5.84 \pm 0.35 \text{ Ом}$$

(жуықтағанда)

24-есеп. ABCD Уитстон көпірі келесі кедергілерге ие: АВ:

$$R_1 = 1000 \text{ Ом} \pm 1.0\%, 0\%, \text{ ке дейін: } R_2 = 100 \text{ Ом} \pm 0.5\%,$$

$$R_x \text{ CD: белгісіз кедергінің мәнін, оны өлшеу дәлділігін}$$



10.39-сурет

анықтау DA: $R_3 = 432.5 \text{ Ом} \pm 0.2\%$. Белгісіз кедергі және өлшеу дәлдігінің мәнін анықтайды.

Уитстонның Көпірінің желісі 10.39-суретте көрсетілген және теңесу өрнегі көрсетілген:

$$R_1 R_X = R_2 R_3$$

R_X ең жоғары салыстырмалы қатесі үш жеке қателіктердің сомасымен анықталады:

$$R_X = \frac{R_2 R_3}{R_1} = \frac{(100)(432.5)}{1000} = 43.25 \text{ Ом}$$

43.25 Ом кедергінің шамасын 1.7% жуықтағанд R_X келесі түрде өрнектеуге болады:

$$1.0\% + 0.5\% + 0.2\% = 1.7\% \quad R_X = 43.25 \text{ Ом} \pm 1.7\%$$

R_X -нің қатесін 1.7% сандық шамамен алғанда, R_X келесі түрде өрнектеуге болады:

$$43.25 \text{ Ом} = 0.74 \text{ Ом} \quad R_X = 43.25 \pm 0.74 \text{ Ом}$$

Келесі жаттығуларды орындаңыз.

58-жаттығу. Өлшеу қателіктері

1. Резистордың потенциалдар айырымы 37.5 В және 0.5% дәлдікпен анықталады. Кедергінің мәні 6 кОм 0.8%.

Резистор арқылы өтіп жатқан токты және оның дәлділігін анықтаңыз.

$$[6.25 \text{ mA} \pm 1.3\% \text{ немесе } 6.25 \pm 0.08 \text{ mA}]$$

2. Резистордағы кернеу ауытқуы бүкіл масштабты 75 В вольтметрмен өлшенген және оның мәні көрсеткіштегі 52 В . Резистор арқылы ағатын ток бүкіл масштабты ауытқуы 20 А бастап амперметрмен өлшенген және ол 12.5 А - ге тең. Резистордың кедергісі мен дәлділігін табыңыз және егер екі аспаптың да дәлділігі бүкіл шкаланың ауытқуымен салыстырғанда $\pm 2\%$ болса.

$$[4.16 \text{ Ом} \pm 6.08\% \text{ немесе } 4.16 \pm 0.25 \text{ Ом}]$$

3. PQRC Уитстон көпірінің кедергілерінің келесі иықтары бар: $PQ, 1 \text{ кОм} \pm 2\%$; $QR, 100 \text{ Ом} \pm 0.5\%$; RC , белгісіз кедергілер; $CP, 273.6 \text{ Ом} \pm 0.1\%$. Өлшеу белгісіз кедергінің сандық мәнін, және оны өлшеудің дәлдігін есептеңіз.

$$[27.36 \text{ Ом} \pm 2.6\% \text{ немесе } 27.36 \text{ Ом} \pm 0.71 \text{ Ом}]$$

59-жаттығу. Электр өлшеуіш аспаптар және өлшеулерді сұрақтарға қысқа жауап

- Аналогты және цифрлы аспаптардың өлшеулерінде қандай негізгі басты айырмашылық бар?
- Аналогты электр көрсетуші аспаптардың үш негізгі құрылғыларын атаңыз.
- Үш жылжымалы орамы бар аспаптардың екі артықшылығы мен екі кемшілігін атаңыздар.
- Келесі сөйлемдерді толықтырыңыз:
 - амперметрдің... кедергісі бар және ол сызбада қосылған
 - вольтметрдің... кедергісі және сызбада... қосылған
- Миллиамперметрге
 - шунтты,
 - қосымша кедергіні қосқанда қандай әсер туады?
- Жылжымалы орамы бар аспаптың екі артықшылығымен екі кемшілігін сипаттаңыз.

7. Электрмагнитті өлшеуіш аспап пен магнит электрлік аспаптарды салыстырғанда электрондық өлшеуіш аспаптардың екі артықшылықтарын атаңыз.
8. Омметрдің жұмыс істеу принципін түсіндіріңіз.
9. Кедергінің төменгі мәндерін және биік мәндерін өлшейтін омметрдің түрін атаңыз.
10. Мультиметр деген не?
11. Түзеткіші бар аспаптарды мына екі аспаптардың қайсысында пайдалану қолайлы: электрмагнитті өлшеуіш аспаптарда ма әлде магнитэлектрлік аспаптарда ма?
12. Электронды сәулелі осциллографтар арқылы өлшеуді қолданудың бес түрін атаңыз.
13. Гармоникалық талдау деген не?
14. Егер сигналдың құрамында негізгі толқындармен қатар тақ гармоникалар болса, онда сигналдың ерекшелігі қандай?
15. Децибелмен берілген екі қуаттың P_1 және P_2 қатынасы нені білдіреді?
16. Децибелмен берілген бірлік қуаттың қандай деңгейін білдіреді?
17. Өлшеудің нөл әдісі деген не?
18. Тұрақты ток көзінің белгісіз кедергінің өлшеуі үшін Уитстон көпірінің сызбасын салыңыз және теңестіру шарттарын келтіріңіз.
19. Тұрақты ток потенциометрі потенциал айырымын қалай өлшей алады?
20. Универсалды көпір деген не?
21. Индуктивтілікті өлшейтін айнымалы ток көпірін атаңыздар.
22. Белгісіз индуктивтілікті, сиымдылықты және кедергіні өлшеуге арналған айнымалы ток көпірінің бес түрлерін атаңыз.
23. Q – факторын өлшеуді қысқаша түсіндіріңіз.
24. Неліктен күрделі сигналдарды өлшеген кезде аспаптық қателер кездеседі?

25. Өлшеуіш аспаптармен өлшегенде «мөлшерлеудің дәлділігі» деген түсінік нені білдіреді?
26. Аспаптарымен өлшеу кезіндегі үш негізгі қателерді атаңыздар.

60-жаттығу. Электр өлшеуіш аспаптар және өлшеулер үшін арналған тест сұрақтары (жауаптары кітаптың соңында)

- Орамы қозғалмалы аспапты қандай жағдайда пайдаланады?*
 - тұрақты ток көзінде, шкала біртекті емес
 - айнымалы ток көзінде, шкала біртекті
 - шкала біртекті емес, айнымалы ток көзінде
 - шкала біртекті, тұрақты ток көзінде
- Электрмагнитті аспапты қандай жағдайда пайдаланады?*
 - тұрақты ток көзінде, шкала біртекті емес
 - айнымалы ток көзінде, шкала біртекті
 - шкала біртекті емес, айнымалы ток көзінде
 - шкала біртекті, тұрақты ток көзінде
- Орамы қозғалмалы және тұзеткіші бар өлшеуіш аспап қандай жағдайда пайдаланылады?*
 - тұрақты ток көзінде, шкала біртекті емес
 - айнымалы ток көзінде, шкала біртекті
 - шкала біртекті емес, айнымалы ток көзінде
 - шкала біртекті, тұрақты ток көзінде
- Миллиамперметрдің диапазонын кеңейту мен кернеуді 100 В-қа дейін анықтай алу үшін келесі жағдайдың қайсысы дұрыс, атаңыз:*
 - кедергінің жоғары мәндері параллельді
 - кедергінің жоғары мәндері тізбекті
 - кедергінің төменгі мәндері параллельді
 - кедергінің төменгі мәндері тізбектей
- 10.40-суретте кең көп диапазонды амперметр келтірілген. 25 А шкаланың көрсеткішінде қалай көрсетіледі?*
 - 84 А
 - 5.6 А
 - 14 А
 - 8.4 А

6. 6.40-суретте келтірілген. Шың мен шыңның арасындағы қашықтық 5 см және период арасындағы қашықтық 4 см. «Айнымалы» ажыратқыш бұрамасы 100 мкс / см және «В / см» ажыратқышы 10 В / см –ге қосылған. 6-дан 10 сұрақтар үшін төменгі жауаптардың ішінен дұрысын таңдап алыңыздар:

- (a) 25 В (b) 5 В (c) 0.4 мс
 (d) 35.4 В (e) 4 мс (f) 50 В
 (g) 250 Гц (h) 2.5 В (i) 2.5 кГц
 (j) 17.7 В

7. Шыңнан шыңға дейінгі кернеуді анықтаңыз.

8. Сигналдың периодты тербелмелі уақытының анықтаңыз.

9. Кернеудің максимал мәнін анықтаңыз.

10. Сигналдың жиілігін анықтау үшін 10.41-суретте екі сәулелі сигнал ізінің орташа квадраты келтірілген. Сигналдың квадраттық орташа мәнін анықтау керек. 11-ден 17-ге дейін сұрақтардан дұрыс жауаптарды таңдаңыздар:

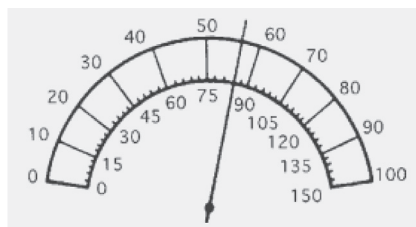
- (a) 30 В (b) 0.2 с (c) 50 В (d) $15\sqrt{2}$ (e) 54^0
 озады (f) $250\sqrt{2}$ В

- (g) 15 В (h) 100 мкс (i) $50\sqrt{2}$ В (j) 250 В

- (k) 10 кГц (l) 75 В

- (m) 40 мкс (n) $3\pi 10$ рад / с кешігеді (o) $25/\sqrt{2}$ В

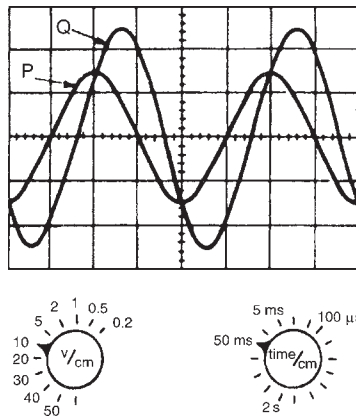
- (p) 5 Гц (q) $30\sqrt{2}$ В



10.40-сурет

(r) 25 кГц (s) 75 $\sqrt{2}$ В (t) $3\pi 10$ рад созады

11. P сигналдың амплитудасын табыңыз.
12. Q – сигналының шыңынан шыңына дейінгі мәнін табыңыз.
13. Қос сигналдың периодтық уақытын табыңыз.
14. Қос сигналдың жиілігін табыңыз.
15. P сигналдың орташа квадрат шамасын табыңыз.
16. Q – сигналының орташа квадратының мәнін табыңыз.
17. Q – сигналымен салыстырғанда P –сигналының Q – фазаларығысуын табыңыз.
18. Жүйенің 2 мВт және 18 мВт сәйкесінше қуаттарының кіріс және шығу қуаттары қатынасының децибелі қандай?
(a) 9, (b) 9.54, (c) 1.9, (d) 19.08.
19. Жүйенің кіріс және шығыс кернеулері 500 мкВ және 500 мВ сәйкесінше. Шығыс кернеудің кіріс кернеуге қатынасының децибелі қандай (егер кіріс кедергісі мен жүктеменің кедергісі бірдей болса)?
(a) 1000 (b) 30 (c) 0 (d) 60
20. Жүйенің кіріс және шығыс токтары 3 мА және 18 мА сәйкесінше. Шығыс тогының кіру тогына қатынасының децибелі қандай (егер кіріс және жүктеме кедергілері тең болса):



10.41-сурет

(a) 15.56 (b) 6 (c) 1.6 (d) 7.78

21. Қандай тұжырым дұрыс емес:

(a) Шеринг көпірі белгісіз сыйымдылықты өлшеу үшін қажет

(b) Айнымалы электрондық өлшеуіш аспаптар орамы қозғалмалы аспаптармен салыстырғанда өте кең диапазон жиілігін өңдеуге арналған

(c) Күрделі толқын сигналдар синусоидалды толқын емес болып табылады

(d) Меандр әдетте, негізгі толқындар мен жұп гармоникалардан құралған

22. Вольтметрдің бүкіл масштабты ауытқуы 100 В , сезімталдылығы $1\text{ КОм} / \text{В}$, дәлділігі $\pm 2\%$ бүкіл шкаланың масштабымен салыстырғанда. Вольтметрді тізбекке жалғағанда оның көтергіші 50 В көрсетті.

Төмендегі жауаптардың қайсысы дұрыс емес:

(a) Кернеудің көрсеткіші $50 \pm 2\text{ В}$

(b) Вольтметрдегі кедергі 100 КОм

(c) Кернеудің көрсеткіші $50\text{ В} \pm 2\%$

(d) Кернеудің көрсеткіші $50\text{ В} \pm 4$

23. Потенциометр қай жерде қолданылады:

(a) Кернеуді салыстыру үшін

(b) Қуаттың коэффициентін өлшеу үшін

(c) Токты салыстыру үшін

(d) Фазалардың ауысуын өлшеу

11–тарау

Жартылай өткізгіш диодтары

Тараудың соңында меңгерілетін сұрақтардың тізімі:

- Материалдарды жартылай өткізгішке, өткізгішке және диэлектриктерге бөлу
- Кремний мен германий материалдарының маңызын бағалау
- n – типті және p типті материалдарды түсіну
- $p - n$ ауысуын түсіну
- n ауысулары арқылы тіке және кері ығысуды бағалау
- Сызбаларда қолданған диодтардың символдарын белгілеу
- Диодтардың сипаттамасы мен максималды мәндерін түсіну
- Өртүрлі диодтардың сипаттамалары мен олардың қолдану салаларын меңгеру
- Сигналдық диодтар, түзеткіштер, стабилизаторлар, басқарылатын түзеткіштер, жарық сәулелендіру диодтары, Зеннер диодтар мен Шоттки диодтары.

11.1. Материалдардың түрі

Электр тоғын өткізу қабілетіне немесе меншікті кедергілердің шамаларына байланысты барлық материалдар өткізгіштер, жартылай өткізгіштер және диэлектриктер (изоляциярлар) болып үш топқа бөлінеді: электр тоғын жақсы өткізетін материалдар – өткізгіштер, яғни металдар [$\rho = 10^{-7} - 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$], электр тоғын нашар өткізетін материалдар – диэлектриктер [$\rho = (10^4 - 10^{14}) \text{ Ом} \cdot \text{м}$] және өткізгіштігі металдар мен диэлектрик арасында жататын материалдар – жартылай өткізгіштер [$\rho = (10^{-3} \text{ тен } 3 \times 10^3) \text{ Ом} \cdot \text{м}$].

Бөлме температурасындағы бірнеше өткізгіштер, жартылай өткізгіштер және диэлектриктердің сипаттамалары:

Өткізгіштер:

Алюминий $2.7 \times 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$

Жез $8 \times 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$

Мыс (күйдірілген) $1.7 \times 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$

Жұмсақ болат $15 \times 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$

Жартылай өткізгіш: (27°C)

Кремний $2.3 \times 10^3 \text{ Ом} \cdot \text{м}$

Германий $0.45 \text{ Ом} \cdot \text{м}$

Диэлектриктер

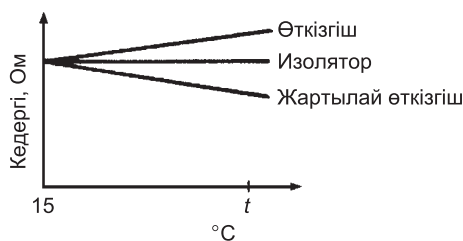
Шыны $\geq 10^{10}$

Слюда $\geq 10^{11}$

Поливинилхлорид $\geq 10^{13}$

Резеңке $10^{12} - 10^{14}$

Жалпы алғанда температурамен шектелген диапазонында температураның көтерілуіне байланысты өткізгіштердің кедергісі ұлғаяды, диэлектриктердің кедергілері өзгеріссіз қалады, ал жартылай өткізгіштердің кедергілері керісінше төмендейді.



11.1-сурет

Осы үш материалдардың әрқайсысын кедергілері бірдей болатындай етіп алса, онда олардың зат мөлшерлері әртүрлі болатыны сөзсіз, *11.1-суретте* көрсеткендей температураны 15°C -тан t° дейін өзгертсе, сонда үшеуінің де температураға байланысты меншікті кедергілерінің өзгеруі үш түрлі екені көрінеді. Жартылай өткізгіштердің температурасы бөлме температурасынан жоғары, онда олардың меншікті кедергілері төмендейді, сөйтіп, белгілі бір температурада олар күшті өткізгішке айнала алады.

Сондықтан кремний және германиймен жұмыс істегенде құрамының тазалық дәрежесіне байланысты температуралары нақты диапазондардан көп ауытқымай, дәлірек айтқанда, кремний үшін $150^{\circ}\text{C} - 200^{\circ}\text{C}$, германий үшін $75^{\circ}\text{C} - 90^{\circ}\text{C}$ аралықтарында жатуы керек.

Температурасы қалыпты бөлме температурасынан төмендеген кезде жартылай өткізгіштердің кедергісі арта бастайды да, тым төмен температураларда өткізгіш изоляторға айналады.

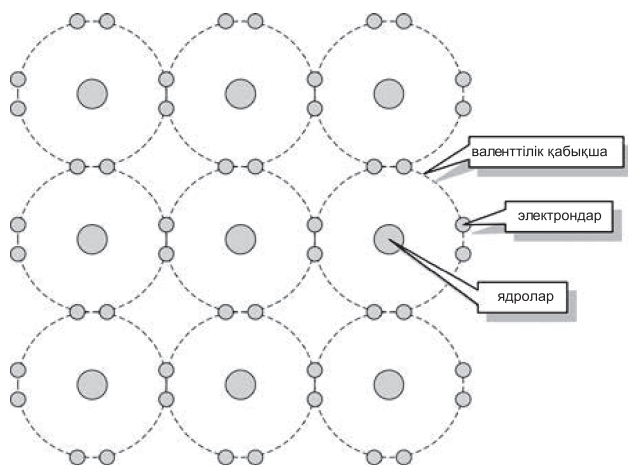
Металдар мен жартылай өткізгіштер электр өткізгіштік қабілеттерімен қатар электр өткізгіштік қабілеттерінің температураға тәуелділігімен де ерекшеленеді. Металдарда электр өткізгіштік, әдетте, температураға байланысты сызықтық заңмен төмендейді.

11.2 Жартылай өткізгіштер

Атомдар мен молекулалардың оң зарядтары олардың ядроларында, ал теріс зарядтары **электрон** қабықшаларында

шоғырланғаны *2-тараудан* белгілі. Әрбір электрон бір теріс зарядтың, ал әрбір **протон** бір оң зарядтың тасымалдаушысы. Молекулалар мен атомдардағы оң заряд пен теріс зарядтардың сандары бірдей, сондықтан олар электрлік бейтарап болып саналады. Мысалы, егер атом құрамында 11 электрон болса, онда оның құрамында 11 протонның болғаны, сонда атом бейтарап. Электрондар атом ядросын үнемі айнала қозғала отырып, белгілі бір электрон орбиталарын түзеп, электрон **қабатын** құрайды. Бірінші электронды қабатта максималды электронның саны – екі, екінші электрондық қабаттағы электрондар саны – сегіз, үшінші электрондық қабатта электрондардың саны – 18, ал төртінші қабатта 32-ге тең. Кристалдық торда атомдар арасында қозғалыста болатын еркін электрондар **валенттілік электрондар** деп, ал атомның ішкі қабатындағы электрондар **байланысқан электрондар** деп аталады. Егер валентті қабатта электрондар саны өзінің максимал шамасына, яғни 8-ге жететін болса, онда олар бір-бірімен қатаң байланыста болып, қарастырылатын материал диэлектрлік қасиеттерге ие болады.

Алайда егер валентті электрондық қабықшадағы электрондардың саны толық болмаса, электрондар өзінің орбиталары-

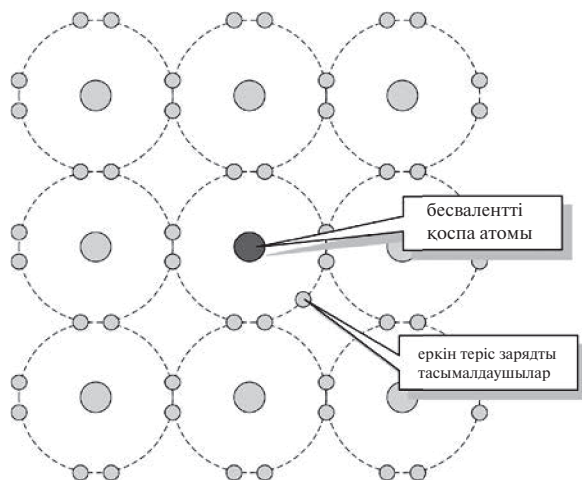


11.2-сурет

нан еркін босап кете алады, мұндай жағдайда материал электр өткізгіштік қасиетті иеленеді.

Өртүрлі элементтердің атомдық құрылысын қарастыратын болсақ, онда электрондармен толықтырылған (ішкі) және толықтырылмаған қабықшаларды (сыртқы) ажыратуға болады. Сыртқы электрондардың ядромен байланыстары әлсіз болғандықтан олар басқа атомдармен оңай әсерлеседі. Сондықтан сыртқы толықтырылмаған қабаттағы электрондарды **валентті электрондар** деп атайды. Молекула жеке атомдардан құралғанда олардың арасында өртүрлі типтегі байланыстар туады. Жартылай өткізгіштер үшін ең көп тарағаны ковалентті байланыс. Мұның себебі сыртқы валенттілік қабатындағы валенттілік электрондар төрт электронды құрылым төрт валентті мықты ковалентті байланысты түзе алады, нәтижесінде төртжақты тетраэдрлы құрылым түзіледі, ал мұндай құрылымда электрондар өздерінің орнында өте мықты орналасады.

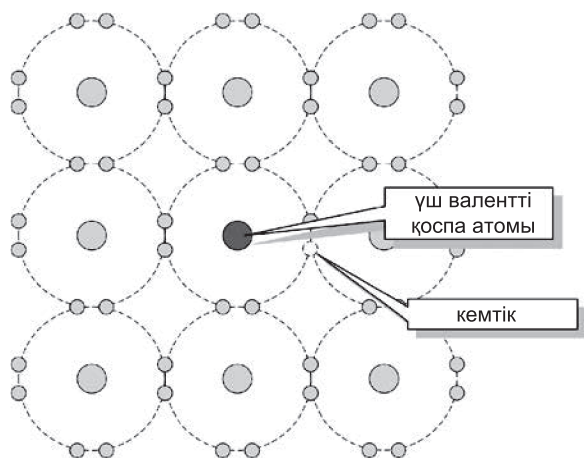
Таза күйінде (Si) кремний диэлектрик, оның атомы төрт валенттік электронға ие, молекулаларындағы көршілес төрт атом арасында ковалентті байланыс орын алады. Нөлден өзгеше тем-



11.3-сурет

пературада абсолютті таза және біртекті жартылай өткізгіштер бос электрондар мен кемтіктер жұбын құрайды, сөйтіп оларда электрондар мен кемтіктердің саны теңеседі. Мұндай жартылай өткізгіштің электр өткізгіштігі **меншікті электр өткізгіштік** деп аталады. Таза күйінде (Si) және Ge диэлектриктер, бірақ аз мөлшерде (шамада) кристалл торларына қоспалар енгізілсе, олардың өткізгіштігі мүлдем өзгереді. Ge - дің кристалл торындағы бір атомының орнын As (күшән) атомымен алмастырса, онда осы As атомын қоспа деп атайды. Күшәннің (As -тің) сыртқы электрондық қабатында 5 электрон болғандықтан Ge - кристалында «тұрғанда» оның бір электроны артық болып қалады.

Бұл артық электрон өте қозғалғыш, еркін, сондықтан потенциалдар айырымы пайда болып, ол ток тасымалдаушыға айналады. Жартылай өткізгіш ішіне енгізілетін еркін электрондар санын (мөлшерін), яғни қоспа атомдар санын өзгертіп, бақылауға болады. Қоспаларды жартылай өткізгіштерге енгізгенде еркін электрондар пайда болса – бұл **жартылай өткізгіш енгізілген қоспа** деп, ал жартылай өткізгіштің өзі **қоспалы жартылай өткізгіш** деп аталады. Өткізгіштерде еркін заряд тасымалдаушылардың көп болуы олардың күшті өткізгіштік қасиетін түсіндіреді. Бірақ өткізгіштің құрамындағы қоспа оның кедергісін арттырады. Себебі еркін заряд тасымалдаушылардың концентрациясы өзгермесе де, қоспа олардың қозғалысына кедергі жасайды. Диэлектриктерде еркін заряд болмағандықтан, олар электр тоғын нашар өткізеді. Диэлектриктер құрамындағы қоспа электрондары өзінің атомдарымен нашар байланысады. Сондықтан олар атомдарды оңай тастап кетеді де, еркін күйге өтіп диэлектриктің кедергісін азайтады. Егер жартылай өткізгіш кристаллының торына сыртқы қабаттарында үш электроны бар, мысалы, бор, индий атомдары енгізілетін болса, онда кристалл ішінде бір электрон орны бос қалып отыратындықтан кемтіктер пайда болады.



11.4-сурет

Сырттан түсірілген кернеу мұндай жартылай өткізгіштерде электрондарды оң таңбалы түйіспеге, ал кемтіктерді теріс таңбалы түйіспе жағына қарай ығыстырады. Кемтіктердің қозғалысын тоқ ағыны ретінде қарастыруға болады. Жоғарыда қарастырылған негізгі заряд тасмалдаушылармен қатар (бұлар жартылай өткізгіш ішіне қоспаларды қосқанда пайда болады) кәдімгі қыздыру әрекетінен пайда болатын еркін электрондар (оларды негізгі емес заряд тасымалдаушылар деп атайды) да тоқ ағынына өз үлесін қосады. Енді қарастыратын **диэлектрикті жартылай өткізгіш** деп атауға болады, себебі өткізгіштер мен диэлектриктердің ортасында орналасқанына қарамастан оны металдарға тән қасиеттермен сипаттауға болады. Алайда, ол электрлік қасиеттері екі түрлі материалдардың арасында орналасқан.

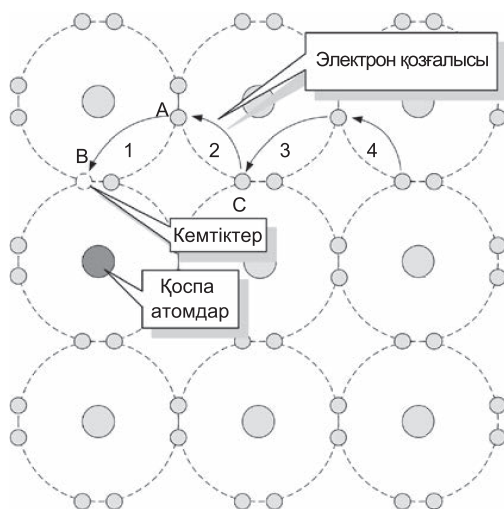
Мысалы, жартылай өткізгіш материалдарына *Si*, *Ge*, галий арсениді (*GaAs*), *n* индий арсениді (2nAs) жатады. Мұндай қоспасы бар *Si*, *As*, *P* сияқты жартылай өткізгіштер еркін электрондарымен сипатталады да, ***n* типті (negative) жартылай өткізгіштер** деп аталады. Осы аталған қоспалар диэлектрик кристалдар торына өте аз мөлшерде енгізіледі. Жартылай өткізгішке енгізілетін қоспаның мөлшері кедергіге байланысты, қоспа мен

жартылай өткізгіштің қатынасы $1 : 10^5$ немесе $1 : 10^8$ бөліктеріне сәйкестендіріліп алынады. *In* (индий), *Al* (алюминий), *B* (бор) бәрі де *p*-типті қоспалар және оларды жартылай өткізгішке қосқаннан кейін олар ***p*-типті материалдар** түзеді. Таза материалдың кристалдық торына басқа элементтердің атомдарын еңгізу үдерісін **қоспалау (легирлеу)** деп атайды. Таза материалды 5 валентті электроны бар атомдық элемент арқылы (қоспаланса) легирленсе, оны **бес валентті қоспа** деп атайды және осыдан шыққан материал ***n*-типті (теріс) жартылай өткізгіш** деп аталады. Ал егер, таза жартылай өткізгіш материалы үш валентті электроны бар атомдық элементтер арқылы қоспаланса, онда олар ***p*-типті материалдар** түзеді және оларды **оң типті жартылай өткізгіштер** деп атайды. Айта кету керек, ***n*-типті (теріс) жартылай өткізгіштердің** құрамында теріс зарядты тасымалдаушылардың мөлшері артық, ал ***p*-типті материалдарда** оң зарядты тасымалдаушылардың мөлшері артық болады.

11.3 Жартылай өткізгіштік материалдардағы өткізу қабілеті

As, *Sb*, *P* өздерінің валентті қабаттарында бес электрондарға ие, егер осы элементтердің біреуін жартылай өткізгіш үшін қоспа түрінде пайдалансақ, кейбір атомдар тетраэдр құрылымын түзе алады. Бесінші валентті электрон осы тетраэдрмен мықты байланыспайды, сондықтан ол еркін қозғалады да, ал қоспа атомдары теріс заряд тасымалдаушыларын түзе алады.

Үш валентті электроны бар *In* (индий), *Al* (алюминий), *B* (бор) сияқты элементтерді таза жартылай өткізгіштің кристалдық торына енгізсек, онда жартылай өткізгіштердің кейбір атомы осы қоспа атомдарының кейбіреулерімен алмасуы мүмкін. Төрт валентті байланыстың біреуіне электрон жетіспейді де, ол орын бос болып қалады, міне осындай орындар ойық немесе **көмтік** деп аталады. Индий атомдарын енгізетін болсақ, бір электронның



11.5-сурет

жетіспеу салдарынан кристалл ішінде **кемтік** пайда болады. Кемтіктердің қозғалысын да тоқ ағыны ретінде қарастыруға болады. Жартылай өткізгіштерді p -типті (positive) деп, ал қоспаларды **акцепторлар** деп атау келісілген.

Қоспа атом, кемтіктер, электрондар қозғалысының траекториясы.

Осы кемтіктер өткізгіштік қасиетке әкеледі. Сырттан түсірілген кернеу әсерінен электрондар бір кемтіктен екінші кемтікке секіріп қозғалғандықтан электр тоғы жүре бастайды

Көрсетілген диапазонда электрондар A - дан B - ға қарай қозғалады, сонда кемтік B - дан A - ға қарай қозғалған тәрізді болып көрінеді C - электроны A - ға қарай өткенде, кемтік C - ға қарай қозғалған тәрізді болып көрінеді, сонымен осыған ұқсас қозғалыстар жалғаса береді.

11.4 Электронды-кемтіктік p - n ауысу

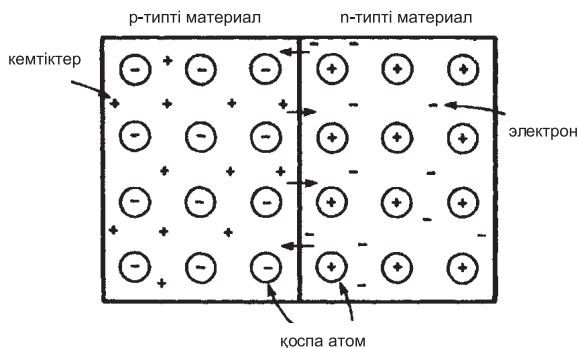
Электронды-кемтіктік p - n - өтулер дегеніміз жартылай өткізгіштің бір бөлігінде p - өтулер, басқа бөлігінде n - өтулер

жүріп жатыр деген сөз. Осындай материалда зарядтың күйін түсіндіру үшін p - типті және n - типті блоктарды бірге алдын ала шығарып аламыз. Айталық, кемтік оң зарядталған болсын, сонда ол оң зарядты тасымалдаушы, ал электрон теріс зарядты тасымалдаушы болып табылады.

Кемтіктер (қозғалмалы тасымалдаушылар), қоспа атомдар (бекітілген), электрондар (қозғалмалы тасымалдаушылар) n -типті материал, p -типті материал.

n -типті материалдағы негізгі тасымалдаушы деп аталатын электрондар p -типті материалдың ішіне қарай диффузияланады (тығыздығы жоғары аймақтан тығыздығы төмен аймаққа қарай қозғалу), p -типті материалдағы кемтік акцепторлары n -типті материалға диффузияланады, мұндай құбылыс *11.6-суретте* келтірілген. Сонымен **диффузия** дегеніміз – концентрациясы көп аймақтан, концентрациясы аз аймаққа қарай бөлшектердің бағытталған қозғалысы (заттардың концентрациясының өз бетімен теңелуі).

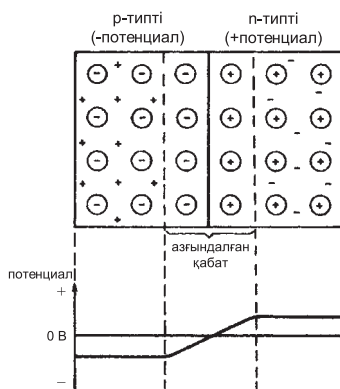
11.6-сурет нұсқауларында келтіргендей n -типті материал электронды жоғалтқандықтан, енді p -типті материалмен салыстырғанда ол оң потенциалға ие бола алады, олай болса, оның электрондар қозғалысын тежей алатын тенденциясының бар болғаны.



11.6-сурет

p -типті материал электронға ие болғандықтан, n -типті материалмен салыстырғанда теріс зарядталған болып саналады, олай болса, кемтіктерді сақтап қалу тенденциясының болғаны. Сонымен белгілі бір уақыт өткеннен кейін электрондар мен кемтіктердің қозғалысы контакт аймағында **контактылық потенциалдар айырымының** әсерінен тоқталады. Сөйтіп, пайда болған **контактылық потенциалдар айырымының** салдарынан контакт аймағында кемтіктер мен электрондар саны азая бастайды, электрондар мен кемтіктердің рекомбинациясының нәтижесі *11.7-суретте* көрсетілген, мұндай қабатты **азғындалған (кедейленген) қабат** деп атайды.

Сөйтіп, электрондық және кемтіктік жартылай өткізгіштерді бір бірімен түйістіргенде, олардың арасында қарқынды түрде екі жақты заряд тасмалдануы жүре бастайды. p -типті жартылай өткізгіштермен салыстырғанда n -типті жартылай өткізгіштерде электрондар концентрациясы көбірек болады да, ал кемтіктер концентрациясы p -типтегі жартылай өткізгіште көп болады. Концентрацияларының бірдей болмауына байланысты диффузия нәтижесінде электрондар p -типті жартылай өткізгішке қарай, ал кемтіктер n -типті жартылай өткізгішке өтеді. Осыған байланысты n -типті жартылай өткізгіштің контактыға жақын



11.7-сурет

қабаттарында теңеспеген зарядты донорлық қоспа иондары, ал n - типтегі жартылай өткізгіш қабаттарында теріс зарядты акцепторлық қоспа иондары пайда болады. Оң зарядталған n – типтегі жартылай өткізгіштің барлық энергетикалық деңгейлері төмендейді де, теріс деңгейлері жоғарлайды.

Контакт аймағында негізгі заряд тасымалдаушылар азайып, тек қозғалмайтын қоспа иондары ғана қалады. Сондықтан енінің аз болуына қарамастан (10^{-6} дан 10^{-8} м) $p - n$ ауысуы, кедергісі жартылай өткізгіштердің басқа бөліктеріндегі кедергіден әлдеқайда артық.

1-есеп. Төменде келтірілген терминдерге $p - n$ өтулермен байланысты түсініктеме келтіріңіз:

- (a) нағыз жартылай өткізгіштің өткізгіштілігі;
- (b) негізгі тасымалдаушылар мен негізгі емес тасымалдаушылар;
- (c) диффузия құбылысы.

(a) Қоспа атомдары қосылмағанша кремний мен германий **өзіндік жартылай өткізгіш** деп аталады. Кейбір электрондар бөлме температурасының өзінде де атомдар арасындағы ковалентті байланысты түзу үшін жеткілікті энергияны ала алады, сол себептен еркін қосылу мүмкіндігіне ие болады. Міне осындай құбылыс электронды-кемтіктік жұбының **жылулық генерациясы** деп аталады. Температураның жылулық энергиясының әсерінен электронды-кемтіктік жұптардың пайда болу процесі – **термогенерация** деп аталады. **Рекомбинация** – термогенерацияға кері процесс, яғни өткізгіштік зонадан электрондардың бос валенттілік деңгейлеріне ауысуы.

Жылу негізінде пайда болған электрондар кристалдық торлардан үзіліп шығып, кемтіктерді құрайды, енді электронды жоғалтып алған атом оң зарядталады. Осы оң зарядталған атом басқа электронды тартып алады, сонда басқа атомда тағы да кемтік пайда болады. **Жартылай өткізгіштер материалында**

потенциал айырымы пайда болған кезде кемтік теріс клеммаға қарай (таңбалары әртүрлі зарядтар тартылады), ал электрондар оң клеммаға қарай жылжиды, сол себептен шамалы ток өте бастайды.

(b) Енді 5 валентті атомдар арқылы жартылай өткізгішті қоспалау нәтижесінде пайда болған қосымша қозғалмалы еркін электрондар шамалы ток бере алатындықтан, осындай қозғалмалы электрондарды негізгі тасымалдаушылар деп атайды. Салыстырмалы түрде p -типті материалдардағы атомның ішкі әрекеттерінен туған аз мөлшерлі кемтіктер негізгі емес заряд тасымалдаушылар деп аталады. p -типті материалдарда қосымша кемтіктерді алу үшін кристалл торына 3 валентті атомдарды енгізу керек. p -типті материалдарда кемтіктер қозғалмалы негізгі заряд тасушылар болып табылады. Атомның ішкі әрекеттесулерінің салдарынан пайда болған p -типті материалдағы шамалы қозғалмалы электрондарды негізгі емес заряд тасымалдаушылар деп атайды.

(c) Қозғалмалы электрон мен кемтіктер жартылай өткізгіштердің кристалдық торының ішінде еркін түрде қозғалып жүреді. n -типті материалдарда бос электрондар кемтіктермен салыстырғанда көбірек және керісінше p -типті материалдарда кемтіктер электрондармен салыстырғанда көптеу. Сонымен n -типті материалдағы кемтіктермен p -типті материалдағы электрондар кездейсоқ бағытта еркін қозғалыста болады. Осы процесті **диффузия** деп атайды.

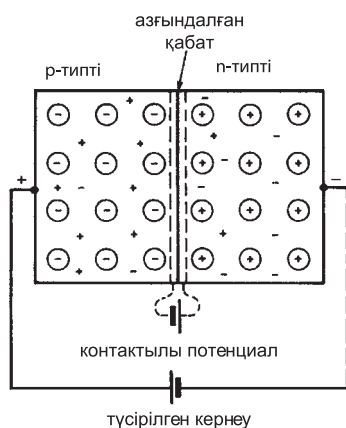
2-есеп. p -типті және n -типті материалдардың түйіскен жерінде неліктен контактылық потенциал айырымы пайда болады? Шынайы, таза өзіндік жартылай өткізгіштің резистивті қасиеті бар, материалға кернеу берілгенде, материалдың полярлығы кері таңбаға өзгереді және шамасы тура осындай ток қарама қарсы бағытта өте бастайды. $p-n$ өтуі орындалғаннан кейін резистивті қасиеттер

түзетуші қасиетпен алмасады, ал бұл дегеніміз басқа бағытпен салыстырғанда ток бағыты жеңілірек өтеді дегенді білдіреді. n - типті материалды оң зарядтардың кейбір теріс заряд тасушылармен қатар негізгі стационарлы кристалдық матрицасы деуге де болады. Оң заряд пен теріс зарядтың жалпы сандары тең. p - типті материалдар деп теріс зарядтармен бірге оң зарядты мобильді тасымалдаушылардың (кемтіктер) стационарлы санын айтуға болады. Тағы бір ескеретін жағдай, оң және теріс зарядтардың жалпы саны бірдей, яғни материал не оң, не теріс зарядталмаған болып табылады. Екі типті материалдар бірге қосылған кезде n - типтегі қозғалмалы еркін электрондар p - типті материалға еніп кіреді. Контакт аймағында негізгі заряд тасушылардың көбі коваленттік байланысты қанағаттандыру үшін, қажетті қарама-қарсы зарядтың тасымалдауымен толықтыру үшін осы аймақтың түйіскен жерінің екі жағында да заряд тасымалдаушыларының концентрациясы азаяды.

p -типтес материал электрондарынан айырылғандықтан оң зарядталады, сондықтан бұл аймақты **кедейленген (азғындалған) қабат** деп атайды. Оның бұл жерде атқаратын қызметі, ол қалыңдығы 0.5 мкм диэлектрик міндеті. Сонымен қатар p -типті материал кемтігін жоғалтады, сондықтан ол теріс зарядталады, осыған байланысты контакт аймағында потенциалдар пайда болады, оны барьер деп немесе контактылық потенциал айырымы деп те атайды.

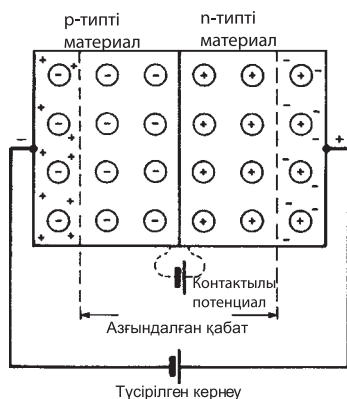
11.5 Тура және кері ығысулар

Электрон-кемтік өтулер аймағына сырттан кернеу түссе, p - типті материал n -типті материалға қатысты оң зарядталады. $p - n$ ауысу тура бағытта *11.8-суретте* көрсеткендей ығысады, Контакттылы потенциал айырымы сырттан түсірілген кернеуге қарсы



11.8-сурет

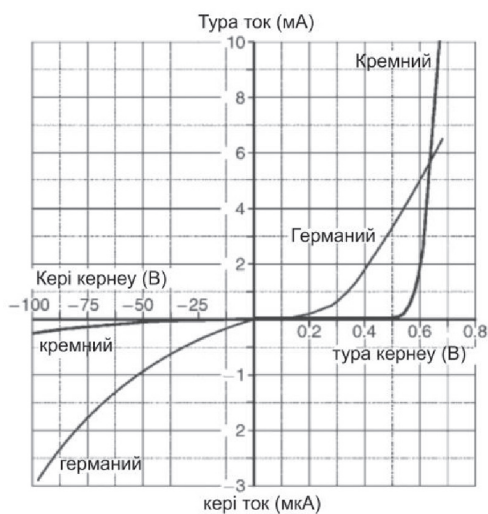
тұрып, кедейленген (азғындалған) қабатты жабады. Енді кемтіктермен электрондар түйіскен жерден өтіп шыға алады, сондықтан ток өте бастайды. Сырттан түсетін кернеуді қажетті шамадан артық ұлғайтқанда, кедейленген қабаттың енін кішірейту үшін (0.2 В – германий үшін, 0.6 В кремний үшін), ток тез өсе бастайды. Электрон-кемтікті ауысуға сырттан кернеу түсіргенде n -типті материалға қатысты p -типті материал *11.9-суретте* көрсеткендей теріс зарядталады, сөйтіп $p-n$ ауысуы кері бағытқа ығысады.



11.9-сурет

Сырттан түсірілген кернеу мен контактылы потенциал айырымы бірдей. Электрондар мен кемтіктердің қозғалысына қарама-қарсы әсер кедейленген қабатты ашу арқылы жасалады. Олай болса, теорияға сәйкес ток жүрмейді. Алайда бөлме температурасында ковалентті байланыстағы кристалл торларында бөлме жылуынан жеткілікті энергияны ала отырып, мобильді электрондар мен кемтіктер түзіле алады. Осы үдерісті жылу жолымен орындалған **электрон-кемтікті генерация** түзілуі деп атайды.

Жылу нәтижесінде пайда болған p -типті материалдардағы электрондар мен n -типті материалдар электрон-кемтіктер негізгі емес (қосымша) тасымалдаушылар деп аталады. Оларға сырттан түсетін кернеу әсерін тигізеді. Олай болса, практика жүзінде бөлме температурасында, бірнеше мкА кішкентай ток германий үшін және 1 мкА кіші ток кремний үшін кері ығысу шартымен жүріп жатады.



11.10-сурет

Тура және кері бағыттағы $p - n$ ауысуының екі жағдайы үшін де, яғни кремний мен германий үшін, вольт-амперлік қатынастары *11.10-суретте* келтірілген.

3-есеп. Кремний диодының $p - n$ ауысуларының тура және кері бағыттарының сипаттамасын график түрінде салыңыздар. Кремний диодының $p - n$ ауысуы үшін қолданылатын сипаттама *11.10-суретте* келтірілген. Аккумулятордың оң қысқышы p -типті материалмен жалғанған ал теріс қысқышы p типті материалмен жалғанған болса, диод тура бағытта ығысады. Біртектес зарядтардың бір-бірінен тебіну қасиеттеріне байланысты p -типті материалдағы кемтіктер контакт аймағына қарай жылжиды. Тура солай p типті материалда электрондар теріс кернеуден тебініп, контакт аймағына қарай жылжиды. Кедейленген қабаттың ені мен контактылы потенциал айырымының мөлшерлері кішірееді. Сырттан түсірілген кернеудің 0-ден 0.6 В дейінгі шамасына сәйкес жүретін ток өте аз. Ал 0.6 В кернеу шамасынан бастап заряд тасымалдаушының көбі өте үлкен мөлшерде контакт аймағынан өтіп, нәтижесінде ток аға бастайды.

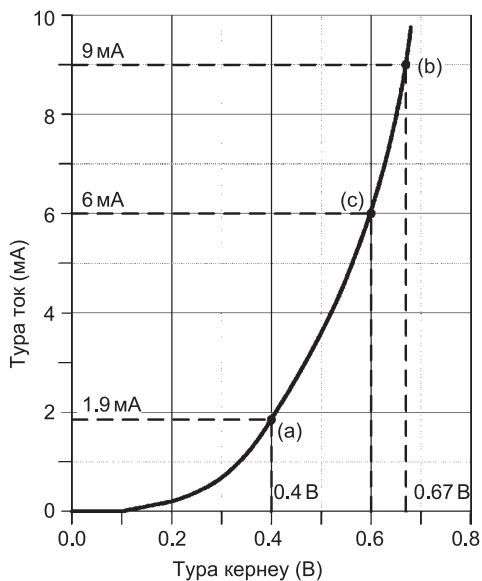
Аккумулятор батареясының теріс қысқышына p типті материалдарды және оң қысқышына p типті диодты жалғаса ығысу кері жаққа бағытталады. p типті материалдағы кемтіктер теріс полюсті өзіне тартады, электрондар n -типті материалдағы теріс қысқышты өзіне тартады (әртектес зарядтар тартылады). Мұндай ығысу контактылы потенциалды және кедейленген қабаттың өлшемдерін ұлғайтады, міне сондықтан контакт аймағынан секіріп өтуге кез келген негізгі тасымалдаушының әлі келмейді, яғни энергия жетіспейді деген сөз.

Жылу әсерімен қоздырылған негізгі емес тасымалдаушылар осы контактылы аймақтан өтіп, ығысу жасай алады. Сонымен негізгі емес тасымалдаушылардың қозғалысы шамалы болса да тұрақты токтың ағуына әкеледі. Кері кернеу шамасы

ұлғаятындықтан белгілі бір нүктеде кенеттен үлкен ток ағатын жағдай туады. Осындай нүктеге сәйкес кернеуді тесілу кернеуідеп атайды. Мұндай токтың пайда болуының екі себебі бар:

- Стабилитрон эффектісі, кернеудің әсері нәтижесінде кейбір ковалентті байланыстардың үзілуі.
- Көшкінді эффектi – үлкен жылдамдықпен зарядты тасымалдаушылардың ығысуынан бір-бірімен соқтығысу нәтижесінде кейбір ковалентті байланыстардың үзілуі.

4-есеп. Диодтың тура бағыттағы сипаттамасы *11.11-суретте* көрсетілген. Диодтың сипаттамаларын пайдалана отырып, келесі шамаларды анықтаңыздар: (а) сырттан әсер еткен кернеудің шамасы 0.4 В болғанда, диод арқылы қанша ток өтеді, (b) диодтан 9 mA ток тура бағытта өткенде кернеудің төмендеуін, (c) 0.6 В кернеу тура бағытталғанда диодтың кедергісін, (d) диод түрі (*Ge*) германий немесе (*Si*) кремний ме?



11.11-сурет

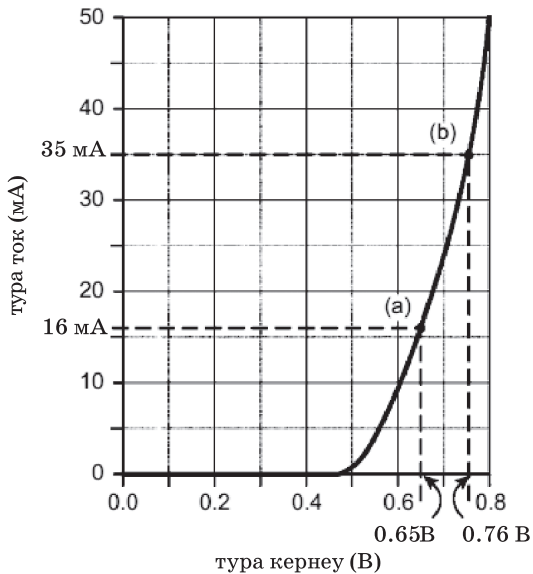
- (a) 11.11-суреттен, $V = 0.4 \text{ В}$ болғанда, **тоқтың шамасы**
 (b) $I = 1.9 \text{ mA}$ болғанда, **диодтағы кернеудің түсуі: $V = 0.67 \text{ В}$**
 (c) $V = 0.6 \text{ В}$ болғанда, $I = 6 \text{ mA}$ болатыны графиктен көрініп тұр.

Олай болса, **диодтың кедергісі:** $R = \frac{V}{I} = \frac{0.6}{6 \times 10^{-3}} = 100 \text{ Ом}.$

(d) 0.2 В кернеудің шамасында өткізгіштік пайда бола бастайды. Олай болса, бұл диод **германий типтес** болғаны.

5-есеп. Жартылай өткізгіштік құрылғысындағы I ток пен V кернеудің көрсеткіштері төменгі кестеде келтірілген:

$V_f = (\text{В})$	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
$I_f = (\text{mA})$	0	0	0	0	0	1	9	24	50



11.12-сурет

$1/V$ осы құрылғы үшін сипаттама белгісі болып табылады. Олай болса, осы құрылғының типін анықтаңыз. **11.12-суретте** $1/V$ сипаттамасы келтірілген. Құрылғы $V = 0.6 В$ кернеудің шамасында тоқты өткізе бастағандықтан, **жартылай өткізгіштік материал** германий емес, **кремний** екені көрініп тұр.

6-есеп. *11.12-суретте* келтірілген сипаттаманы қолданып, құрылғының түрін анықтау керек: (а) тура кернеудің $V = 0.65 В$ шамасындағы тура тоқты, (b) тура ток $35 мА$ болғандағы тура кернеуді.

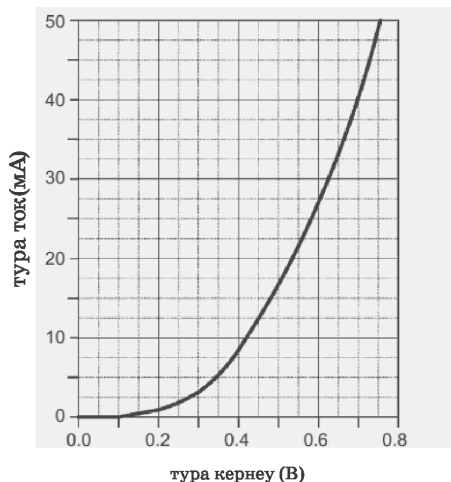
(а) *11.12-суретте* тура кернеу $V = 0.65 В$ болғанда тура ток $16 мА$;

(b) тура ток $35 мА$, тура кернеу $0.76 В$ болған.

Келесі жаттығуларды орындаңыздар.

61-жаттығу Жартылай өткізгіштер мен $p-n$ типтес ауысуға қосымша есептер

- Өзіндік жартылай өткізгіш деген не және осындай өзіндік жартылай өткізгіш n -типті материалдан p -типті жартылай өткізгішке қалай айналады
- n -типті материалдардағы негізгі және негізгі емес тасымалдаушылар туралы түсінікті келтіріңіз, әрбір тасымалдаушының мөлшері температураға тәуелді бола ма?
- Таза кремнийдің кесегі қоспаланған: (а) 5 валентті элементпен, (b) 3 валентті элементпен. Осы қоспалардың кремнийдің өткізгіштігіне әсерін түсіндіріңіздер.
- Суреттердің көмегі арқылы таза германийдің өткізгіштігі көбіне (а) электрондар немесе (b) кемтіктер арқылы пайда болуын түсіндіріңіз.
- Төмендегі терминдерге жартылай өткізгіштер үшін пайдалы түсініктеме: (а) ковалентті байланыс, (b) 3 валентті байланыс, (c) 5 валентті байланыс, (d) электрон-кемтік жұбы негізінде.



11.13-сурет

- n - типті және p - типті материалдар резисторлық қасиетпен сипатталса да, бөлек жағдайда олар бірге қосылып, түзеткіштік қасиетпен де сипатталады.
- Дiodтардағы әсер етуші сыртқы кернеудің түсуі кемтіктер мен электрондарды жылжыта бастайды. Диаграмма арқылы осы заңдылықты, сонымен қатар сырттан түсірілген кернеудің шамасы мен бағыты қалай әсер ететінін түсіндіріңіз.
- Келесі терминдерге түсініктеме беру: (а) кері ығысу, (b) тура ығысу, (с) контактылы потенциал айырымы, (d) диффузия, (г) өткізгіштің негізгі емес заряд тасымалдаушылары.
- Дiod үшін $p - n$ ауысуын қысқа түрде түсіндіру: (а) тізбек үзілгенде, (b) тура ығысуда, (с) кері ығысуда. Тура және кері ығысу удерісін түсіндіру.
- $p - n$ ауысу процесін суреттен сызбамен келтіріп, түсіндіру. Зарядтың өзгеру ситуациясын $p - n$ типті материалдағы ауысумен салыстыра отырып, түсіндіру. Диаграммада кедейлену қабаты мен негізгі заряд тасымалдаушыларды келтіру.

Диод пен тәжірибе жасау барысында *11.13-суретте* график түрінде тәуелділік келтірілген.

- (a) Бұл диод қандай типке жатады?
- (b) Тура кернеу 0.5 В болғанда сәйкес тура токтың шамасы қандай?
- (c) Тура ток 30 мА оған сәйкес тура кернеу қандай?
- (d) Тура кернеу 0.4 В болғанда кедергі қандай?

11.6 Жартылай өткізгіштік диодтар

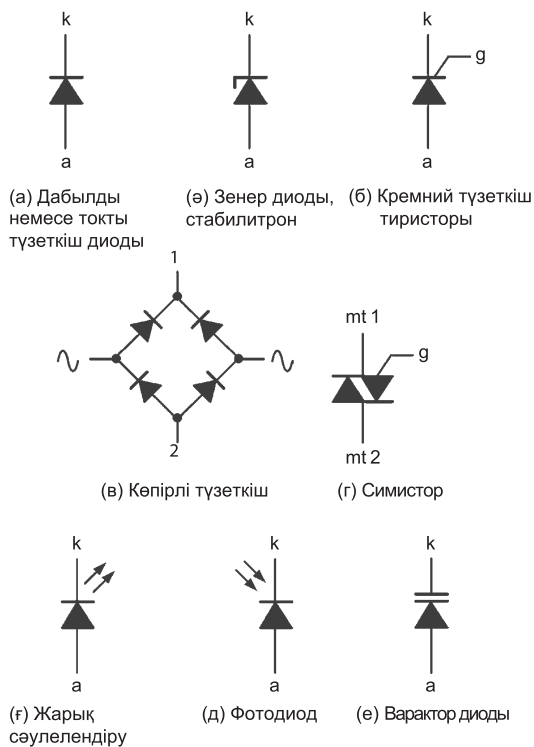
n - типті және p - типті материалдар арқылы қоспа түзілгенде, оны **жартылай өткізгіштік диод** деп атайды. Осындай компонент бір бағыттағы ток кедергісінің аса төмен болуын және екінші басқа бағыттағы ток кедергісінің аса жоғары болуын қамтамасыз ете алады. Диодтың мұндай қасиеті сызбаларда қойылатын мәселеге сай токтың ағу бағытына байланысты қолданғанда қажет. Идеалды диод шексіз токты бір бағытта жүргізе отырып, басқа бағытта токты мүлдем жүргізбейді.

Жартылай өткізгіштік диодтар $p - n$ ауысуымен қамтылған, сыртқы тізбекпен жалғану үшін сымдармен немесе тең белгілерімен жабдықталған. Токтың шамасы аз болған жағдайда (тізбектегі көптеген түзеткіш сияқты), тізбектегі түйіндердегі жылудан сақтау үшін диод металл пакетінің ішіне орналастырылады. Диодтарды p типті материалдарға қосса, анод деп, ал n -типті материалдарға қосса – **катод** деп атайды.

Диодтарды қолданудың алуан жолдары бар. Қоректендіру көздерінде пайдалану үшін **түзеткіш диодтарды** кернеу көзі ретінде, **стабилитрон**, **жарық сәулелендіру** мен **варактор** түрінде қолданады. *11.14-суретте* электрлік сызбаларда диодты белгілейтін символдардың түрі келтірілген, мұндағы « a » – анод, « k » – катод болып табылады.

11.7 Сипаттама белгілері мен максималды мәндер

Диодтардың сигналдары үшін тура ығысу кезіндегі кернеудің төмен түсуімен салыстырылған сипаттамалар қажет. Кері кернеулер мен тура тоқтың өте жоғары шамаларын түзете алатындай түзеткіш диодтардың күйлері болуы қажет және мұндай жағдайда сипаттамалардың бірреттілігінің маңызы болмайды. *11.1-кестеде* жиі қолданылатын жартылай өткізгіштердің сипаттамалары келтірілген. Диодтар өздерінің төзе алатын тура ток пен кері кернеу шамаларының шектеулерімен сипатталады. Мұндай шектеу диодтың конструкциясы мен мөлшерінен тәуелді. Жалпы әдетте қолданылатын диодтың табалдырықтық кернеуінің мәні 0.6 В және тесілуге сәйкес келетін кері



11.14-сурет

кернеуінің мәні 200 В Соңғы жағдай үшін шамадан асу диодқа қайтымсыз зақым келтіруі мүмкін. Максималды қайталанатын импульсті кері кернеу шамасы немесе кері кернеу шыңдарының мәндері 50 В пен 500 В диапазондарының аралығын қамтиды. Кері кернеу өзінің ең жоғары диодтың жете алмайтын мәніне дейін ұлғайтылуы мүмкін. Егер түйіскен жерде кернеу шамадан тыс ұлғайса, түйін бұзылып қалатындықтан диод жұмыстан шығып жарамсыз болып қалады.

11.8 Түзету

Қоректендіру көзінің көмегімен бір бағытта таралатын айнымалы тоқ пен кернеуді алу тәсілін **түзету** деп атайды. Жартылай өткізгіштік диодтар айнымалы токты тұрақты тоққа айналдыру үшін пайдаланады. Мұндай жағдайда диодтарды **түзеткіш** деп атайды. Ең қарпайым түзеткіш ретінде бір диод пайдаланады, ол тек қоректендіру көзінің не оң, не теріс жартысында ғана жұмыс істей алатындықтан оны **жартылай периодты түзеткіш** деп атайды. 4 диодтан қосылған түзеткіш көпірдің сызбасы *11.14(d)-суретте* келтірілген және осы түзеткіш көпір **қос жартылай периодты (толық периодты)** түзеткіш түрінде қолданылады. Токты автоматты түрде өшіру осы келтірілген екі жол үшін де диод арқылы орындалады.

Жартылай периодты және қос жартылай периодты түзеткіш туралы әдістер *14.7-тарауда* бетте толық келтіріледі.

11.9 Стабилитрондар

Стабилитрон (лат. *stabilis* – орнықты, тұрақты) – жартылай өткізгіш стабилитрон да вольт-амперлік сипаттамасы жұмыстық ауқымы электронды-кемтіктік өткелдің электрлік ойып-тесілуіне сәйкес келетін еңсіз кері кернеулер аймағында жатыр. Қазіргі кезде кремнийлік стабилитрондар 3 В-тан 180 В-қа дейінгі но-

минал кернеуге арналып жасалған. Рұқсатты ыдырау қуаты $0.25 - 50 \text{ Вт}$.

Қайтымды тесіп өту аймағында диодқа түскен кернеу тоқ күшіне тәуелді болмайды. Диодтың мұндай сипаттамасын бірнеше тәжірибелік мақсатта, мәселен кернеуді тұрақтандыру үшін қолдануға болады.

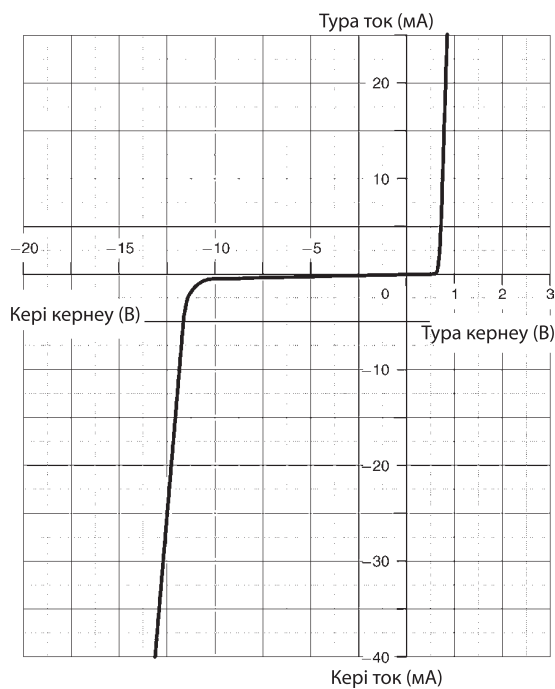
Мұндай диодты **Зенер диоды** деп атайды. Стабилитрон арқылы тұрақтандырылған кернеуді кейде кернеудің эталоны ретінде қолданады, ондай стабилитронды **тірек диоды** деп те атайды.

Күшті қоспаланған кремнийлі диодтар стабилитрондары әдеттегі диодтармен салыстырғанда салыстырмалы түрде төмен кері кернеумен өткір тесілмені жасай алады. Қоспасы шамалы диодтарда да тура осындай көшкіндік эффект орын алады. Мұндай көшкіндік диодтар көшкіндік кернеуінен төмен шамалы токтар арқылы тез зақымдана алады, сонымен қатар көшкіндік кернеуге жеткенде салыстырмалы үлкен токтың өтуін ұйымдастырады. Көшкіндік диодтар үшін, мұндай тесілме кернеуі 6 В ан жоғары мәндерде пайда болады. Алайда осы диодтардың екі түрін де практикада **стабилитрон (Зенер диоды)** деп атайды. Стабилитрондардың символдары *11.14-суретте* келтірілген.

11.1-кесте. Кейбір сигналдар мен түзеткіш диодтардың сипаттамалары

Аспап- тың коды	Материал	Макси- малды қайта- ланатын импульсті кері кернеу	Макси- малды тура ток	Макси- малды кері ток	қол- даны- луы
1N4148	кремний	100 В	75 мА	25 нА	Негізгі мақсат
1N914	кремний	100 В	75 мА	25 нА	Негізгі мақсат

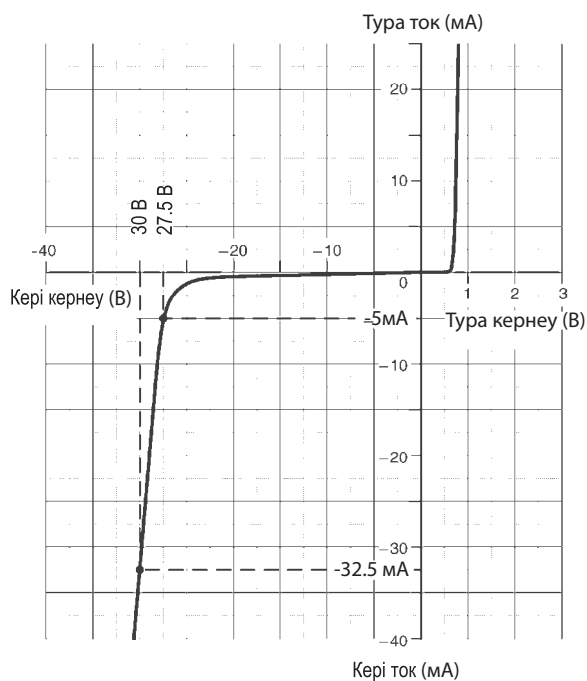
AA113	германий	60 В	10 мА	200 мкА	Радио детектор
OA47	германий	25 В	110 мА	100 мкА	Сигнал детекторы
OA91	германий	115 В	50 мА	275 мкА	Негізгі мақсат
IN4001	кремний	50 В	1 А	10 мкА	Төмен кернеу түзеткіші
IN5404	кремний	400 В	3 А	10 мкА	Жоғары кернеу түзеткіші
BY127	кремний	1250 В	1 А	10 мкА	Жоғары кернеу түзеткіші



11.15-сурет

Сызбада кездесетін қарапайым диодтар үшін кері тесілме өте ыңғайсыз эффект болып табылса, керісінше стабилитрондар үшін кері тесілме өте пайдалы. Егер диод кері тесілмемен сипатталса, максималды мәнінен артық емес жағдайда пайда болған кернеу токқа тәуелсіз тұрақты болып қала береді (стабилитронның номиналды кернеуіне тең). Стабилитронның тура осы қасиеті **кернеуді реттегіш** сапада қолдану үшін мінсіз вариант болып табылады. Стабилитрондар, яғни Зенер диоды кері тесілмелі кернеуілерінің 2.4 В пен 91 В дейінгі диапазонында әртүрлі контурда (олардың жалпы сипаттамалылық белгілеріне, инкапсуляциясы мен қуаттарына сәйкес) қолданылады.

7-есеп. Стабилитронның сипаттамалары *11.16-суретте* келтірілген. Осы сипаттамаларды келесі анықтамалар үшін пайдала-



11.16-сурет

ныңыздар: (а) кері кернеуі 30 В болғанда диодтан өтетін ток қандай? (б) диодтағы кері токтың шамасы 5 мА, сондағы кернеудің түсуі қандай? (с) стабилитронның номиналды кернеуін, (д) кері кернеу 30 В болғанда стабилитрондағы қуаттың жұмсалуды қандай?

(а) $V = -30$ В болғанда ток диодтан өте бастайды, $I = -32.5$ мА .

(б) $I = -5$ мА болғанда, диодтағы кернеудің түсуі тең болады: $V = -27.5$ В

(с) Стабилитронның іске кірісуі 27 В басталады; сондықтан стабилитронның жұмыс істеу номиналды кернеуі 27 В .

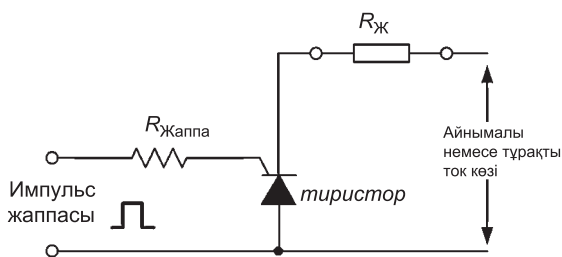
(д) Қуат, $P = V \times I$, осыдан кері кернеу 30 В болғанда жұмсалатын қуат тең болады:

$$P = V \times I = 30 \times (32.5 \times 10^{-3}) = 0.975 \text{ Вт} = 975 \text{ мВт}$$

11.10 Кремниймен басқарылатын түзеткіштер

Басқарылатын түзеткіштер (**тиристорлар**) үш полюсті: коммуникация, айнымалы ток, қуатты басқаруға арналған құрылғыдан тұрады. Басқарылатын түзеткіштерді өте тез өшіріп, қайтадан қосуға болады. Сәндірілген күйінде кремнийлі басқарылатын түзеткіште аз да болсын токтың жылыстауы байқалады, ал оны жұмысқа қосқан кезде құрылғы жалғаған тізбекте оның кедергісі өте төмен. Міне, осындай жағдайларда кремнийлі басқарылатын түзеткіш, яғни тиристор қуаттың кемуіне жол бермей тіпті өте жоғары деңгейлердегі қуаттардың өзіне де бақылай алады. Сонымен тиристорлар үш контактылы құрылғы, қуаты өте жоғары айнымалы токты тізбекке жалғау үшін пайдалынады. Тиристор өткізгіштік күйінен өткізбейтін күйіне тез ауыса алады. Өткізбейтін күйінде тиристордың жылыстау тогының шамасы болмашы, ал өткізгіштік күйінде оның кедергісі өте кішкентай.

Осы себептен қуаттың шығыны пайда болады. Тиристор өзінің өткізгіштік күйінде тіпті қосқаннан кейін де, тура ток



11.17-сурет

құрылғыдан алынып тасталғанша ток өте береді. Мұндай жағдайда тұрақты токты не сөндіріп, не үзіп тастау керек, яғни құрылғының өзі ток жүргізбейтін күйіне түскенше үзіп тастау керек немесе қоректендіру көзін ауыстырса болғаны, ал егер құрылғы айнымалы токпен қоректенсе, онда автоматты түрде құрылғы полярлығы келесі жарты периодқа ауысып қайтадан қалпына келеді, сөйтіп токты өткізуге мүмкіндік береді. Кремний диоды сияқты басқа басқарылатын диодтарда басқару қысқыштарының жапқышы арқылы ұйымдастырылған катод пен анодтары болады.

Кремнийлі басқарылатын түзеткіш символы 11.14-суретте келтірілген. Кремнийлі басқарылатын түзеткіш (КБТ) қалыпты жағдайдан ток өткізетін күйіне өту үшін, жаппаның шығару контактысына ток импульсын қолдану арқылы іске асады. (11.17-сурет) Кремнийлі басқарылатын түзеткішті эффективті іске қосу үшін импульс қажет, ал импульстің өзі қысқа уақыт арасында кедергісі аз қоректендіру көзінен алынады. Жаппа ток баяу өзгеріп немесе оның шамасы жетіспеген жағдайда тетікті іске қосу орнықсыз болуы мүмкін.

Бақылаушы жүктеме, $R_{ж}$, R_G

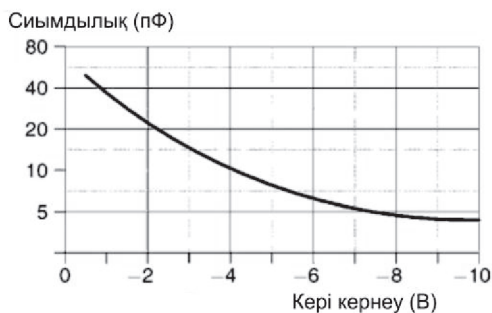
Электр желісінде шамасы 5 А-ге дейінгі токты басқару үшін қолданылатын кәдімгі кремнийлі басқару түзеткіші (КБТ) жаппа импульсін іске қосу шартын талап етеді, яғни тұрақты немесе айнымалы қоректендіру көзінен алынған 2.5 В кернеудің шамасына 10 мА ток сәйкестенуі қажет.

11.11 Жарық диодтары

Жарық диодтары кәдімгі қызу шамдарымен салыстырғанда әлдеқайда кіші ток пен кернеулердің шамаларымен жұмыс істей алады. Жарық диодтары қыздыру шамдарымен салыстырғанда әлдеқайда сенімді, жарық диодтарының көпшілігі 5 мА мен 20 мА тура ток шамаларының арасында жарық бере алады. Жарық диодтарының форматтары әртүрлі типті және кең таралған. Дөңгелек диодтардың диаметрі 3 мм және 5 мм бола алады, сонымен қатар тік бұрышты форматтары да белгілі $5 \text{ мм} \times 2 \text{ мм}$. Дөңгелек жарық диодтарының қамту бұрышы 20° тан 40° дейін, ал тік бұрышты диодтар үшін бұл бұрыш 100° дейін ұлғаяды. Сәулеленудің нақты толқын ұзындығы жарық өткізгіш типіне сәйкес және ол 630 -бен 690 нм диапазонын қамтиды. Жарық диодтарының символы *11.14(г)-суретте* келтірілген.

11.12 Варактор диодтары

Диодтар кері бағытта жұмыс істегенде кедейленген қабаттың ені сырттан түсірілген кернеудің өсуімен ұлғаяды. Кедейленген қабат енінің өзгеруі шағын конденсатордың пластина арасындағы арақашықтықтың өзгеруіне эквивалентті, олай болса өтпелі сыйымдылығымен түсірілген кері кернеудің қатынасы *11.18-сурет*



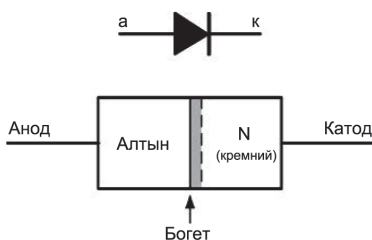
11.18-сурет

ме берілгендей болады. Варактордың сыйымдылығы 50 пФ мен 10 пФ арасында өзгереді, ал кері кернеу 2 В-тан 20 В дейін ұлғаяды. 11.14 (8)-суретте варакторлы диодтың символы келтірілген.

11.13 Шоттки диоды

$p - n$, ауысу диодтары 11.4-тарауда келтірілген. Мұндай диодтар түзеткішті және ауыстырып қосатын құрылғы түрінде төмен жиіліктерде (50 Гц – 400 Гц дейін) жұмыс істей алады, алайда әлі де болса сақталып қалған заряд тасымалдаушылардың әсерінен жоғары жиіліктерде оны түзеткіш ретінде пайдалану жарамайды. Кері кернеу түскен кезде ток кері бағытта өте бастауға мүмкіндік алады, мұны лездік эффект. Егер айнымалы қоректендіру көзінің жиілігі ұлғаятын болса бұл мәселе күрделене түседі, сонда сырттан түсірілген кернеуден периодтық уақыт азая бастайды.

Диодтар үшін осындай мәселені шешкенде металл контактысын пайдаланған жөн. $p - n$ ауыспалы жартылай өткізгіштерін және 11.19-суреттегі кремнийдің кәдімгі диодтарымен салыстырғанда Шоттки диодтары әлдеқайда төмен тура кернеумен сипатталады. Әдетте 0.35 В және кері кернеудің максималды мәні кішірееді, 50 В- 200 В ең негізгі артықшылығы импульсті қоректендіру көзімен өте жоғары эффективті нәтижелі жұмыс істеуі жатады, оның жиілігі 1 МГц. Интегралды сызбаларды құрастырғанда жоғары жылдамдықты, цифрлы, логикалық материалды дайындағанда Шоттки диодтары қажет.

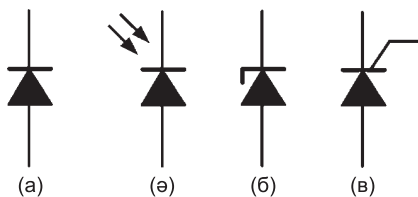


11.19-сурет

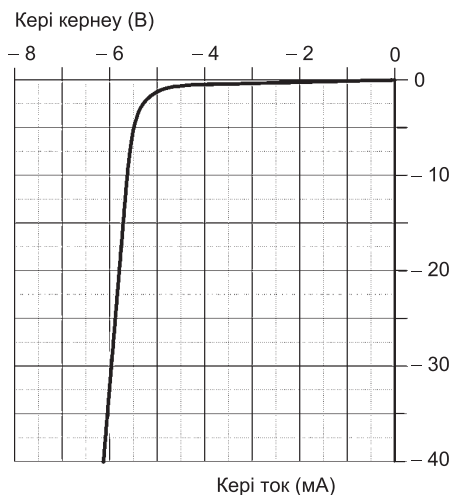
Келесі жаттығуларды орындаңыздар.

62-жаттығу Жартылай өткізгіштерге арналған қосымша есептер

1. *11.20-суретте* келтірілген символдар бойынша диодтардың түрлерін анықтау керек:
2. Тиристор басқарылатын түзеткіш ретінде пайдалынатын тізбектің сызбасын салу.
3. Варакторлы диодтың сыйымдылығы сырттан түсірілетін кері кернеудің шамасына байланысты өзгеруінің тізбектік сызбасын салыңыз.
4. Кәдімгі қыздыру шамымен салыстырғанда жарық диодының екі артықшылықтарын анықтаңыздар.
5. Шоттки диодтарын қолданатын екі жерді атаңыздар.
6. *11.21-суреттегі* график стабилитронда жасалған тәжірибеден алынған. (а) Стабилитронның кернеуін диод үшін бағалаңыз, (б) кері ток 20 мА соған сәйкес кері кернеуді анықтаңыз, (с) кері кернеудің шамасы 5.5 В соған сәйкес кері токты табыңыз, (д) егер кері кернеу 6 В болса, диодқа жұмсалған қуатты табыңыз.



11.20-сурет



11.21-сурет

63-жаттығу Қысқаша сұрақтар Жартылай өткізгіш диодтары

1. Күшті өткізгіштің меншікті кедергісінің мәні ... ден ... мәніне дейін өзгереді.
2. Жартылай өткізгіштің меншікті кедергісінің мәндері ... Ом нан ... Омға дейін өзгереді.
3. Диэлектриктердің меншікті кедергісі деген не?
4. Шектелген диапазонда жартылай өткізгіштің кедергісі ... температура-ның ұлғаюымен...
5. Шектелген диапазонда диэлектриктің кедергісі... температура-ның ұлғаюымен...
6. Шектелген диапазонда өткізгіштің кедергісі ... температура-ның ұлғаюымен...
7. Германийдің жұмысшы температурасы ... $^{\circ}C$ -тан ... $^{\circ}C$ -қа дейін артпауы қажет, оның ... тәуелділігіне ... сай.
8. Германий жұмысшы температурасы ... $^{\circ}C$ -тан ... $^{\circ}C$ -қа дейін артуы керек оның тәуелділігіне сай.
9. Электронды өндірісте қолданылатын төрт жартылай өткізгішті материалды атаңыздар.
10. Екі n - типті қоспаларды атаңыздар.
11. Екі p -типті қоспаларды атаңыздар.
12. Sb ... қоспа деп аталады.
13. As ... валенттілік электроны бар.
14. Жартылай өткізгіш материалына фосфорды енгізу нәтижесінде ... қозғалады.
15. B ... қоспа болып табылады.
16. Бор валенттілік электроны қанша?
17. In (индий) жартылай өткізгіш материалына енгізгенде нәтижесінде ... қозғалады.
18. $p - n$ ауысуы пайда болғанда n -типті материал зарядты ненің кемуінен алады?
19. $p - n$ ауысуы пайда болғанда p -типті материал зарядты ненің есебінен алады?

20. $p - n$ ауысуында контактылы потенциал айырымы деп не түсіндіріледі?
21. $p - n$ ауысуында кедейленген қабатты диаграмма арқылы қысқаша түсіндіріңіз.
22. $p - n$ ауысуындағы диффузия деген не?
23. $p - n$ ауысуында тура бағытта ығысуы аккумулятордың клеммасын $p -$ типті материалды қосады.
24. Электрондар кемтікті ауысудағы кері ығысу оң клеммасын ... типті материалға қосылған.
25. Германий $p - n$ ауысуында тура бағытта ток жүру үшін ... мВ кернеу түсу керек.
26. Кремний $p - n$ ауысуында, ток жүру үшін жуықтап алғанда қанша мВ кернеу түсіру қажет?
27. $p - n$ ауысуы кері бағытталғанда кедейленген қабаттың енімен қалыңдығы ...
28. Егер кедейленген қабаттың ені немесе қалыңдығы кемісе, онда ауысу $p - n$ қалай болады?
29. 5 типті диодтарды атаңыздар.
30. Түзету деген нені білдіреді?
31. Стабиллитрон деген не?
32. Тиристор деген не? Оның қолданылатын жері, сызбадағы белгісі.
33. Жарық диоды деген не, оның белгісі?
34. Варактор деген не, оның белгісі.
35. Шоттки диоды деген не, қандай жерде қолданылады, сызбада оның символы қандай?

64-жаттығу. Жартылай өткізгіштер диодтары бойынша тест сұрақтары (жауаптары кітаптың соңында)

1 мен 5-сұраққа дейін қандай тұжырым дұрыс екенін таңдаңыз.

1. Таза кремний

- (а) кемтіктер – негізгі тасымалдаушы
- (б) электрондар – негізгі тасымалдаушы

(с) кемтіктер мен электрондар бірдей эквивалентті

(в) электрондар есебінен өткізгіштік артықтау кемтіктермен салыстырғанда

2. Таза жартылай өткізгіштер қоспасыз материал дегеніміз:

(а) ковалентті байланыстар бар тетраэдрлік құрылым

(б) 5 валентті атомдар қосылған материалдар

(с) қоспалау арқылы алынған өткізгіштілік

(в) кедергінің температураның ұлғаюымен өсуі

3. 5 валентті қоспа

(а) 3 валентті электроны бар қоспа

(б) жартылай өткізгіштерге қосқанда кемтіктерді тудырады

(с) жартылай өткізгіштерге алюминий атомын қосу арқылы алынады

(в) жартылай өткізгіштерге қосқанда оның өткізгіштілігі ұлғаяды

3. *p* – типті материалда еркін электрон

(а) негізгі тасымалдаушы

(б) өткізгіштілікке қатыспайды

(с) негізгі емес тасымалдаушы

(в) қанша кемтік болса, сонша мөлшерде кездеседі

p – *n* ауысуы қалай түзіледі

(а) *p* – бөлігі *n* – бөлігіне қарағанда оң болғанда

(б) контактылы потенциал айырымы пайда болғанда

(с) *p* – типті материалдардан электрондар *n* типті материалға енгенде

(с) негізгі тасымалдаушылар арқылы өткізгіштік пайда болады
6–10 сұрақтар үшін дұрыс емес тұжырымдарды пайдаланыңыз

а. Диэлектриктің кедергісі температураның ұлғаюына қарамастан тұрақты болып келеді

(а) күшті өткізгіштердің меншікті кедергісінің мәні

(б) $10^7 - 10^8$ Ом диапазонында орналасқан

(с) өткізгіштің меншікті кедергісі температураның өсуімен ұлғаяды

(в) жартылай өткізгіштің меншікті кедергісі температураның ұлғаюымен төмендейді.

6. 3 валентті қоспа

(а) 3 валентті электрондармен сипатталады

(б) кемтіктерді енгізеді, жартыдай өткізгіш материалға оны қосқанда

(с) оны қосқанда жартылай өткізгіш материалға 3 валентті сурьма енгізілуімен тең

(в) оны қосқанда жартылай өткізгіш материалдың өткізгіштілігін күшейтеді

7. n - типті материалда еркін электрон:

(а) негізгі тасымалдаушылар

(б) $p - n$ ауысуы түзілгенде p типтес материалдың ішіне енеді

(с) диффузия нәтижесінде n - типті материал оң зарядтайды

(в) n - типті материалдағы кемтіктердің санымен бірдей болады

8. Германий $p - n$ ауысуы диодында ығысу тура бағытта болады:

(а) сырттан түсірілген кернеудің шамасы 600 мВ жақын болғанда, ток ағыны байқала бастайды

(б) кедейленген қабаттың қалыңдығы мен ені кішірейеді

(с) токтың өзгеруі экспоненциалды

(в) p тип материалмен батареяның оң клеммасы жалғанған

9. Кремний диодындағы $p - n$ ауысуы кері бағытта ығысқан:

(а) кернеудің кең диапазонында тұрақты токта

(б) n - типті электрондармен байланысты

(с) негізгі емес тасымалдаушылармен байланысты

(в) кері ток ағынының шамасы 1 мкА кіші болғанда

12–тарау

Транзисторлар

Тараудың соңында меңгерілетін сұрақтардың тізімі:

- Биполярлы транзистор (БТ) құрылымы және өрістік транзисторлар (ӨТ).
- (БТ) мен (ӨТ) құрылғыларының жұмысын түсіну.
- (БТ) мен (ӨТ) құрылғыларын қолданатын орындары
- (БТ) мен (ӨТ) сызбадаға символдары
- Жалпы база, қосылу сызбалары коллектордың жалпы шығарылуы
- Транзисторлардың жұмыс істеу тәртібі
- (БТ) мен (ӨТ) сипаттамалары
- Күшейткіш ретінде қолданылатын транзисторлар
- Жүктемелерді транзисторлы күшейткіштердің өнімділігін анықтау
- Транзисторлардың сипаттамасы мен олардың жұмыс істеу шарттары

12.1. Транзисторлардың классификациясы

Транзисторлар негізгі екі класқа бөлінеді – биполярлы (БТ) және өрістік – (арналық) транзисторлар. Сонымен қатар жартылай өткізгіштер қандай материалдан жасалғанына байланысты кремний немесе германий негізінде деп бөлінеді.

Транзисторлардың классификациясы *12.1-кестеде* келтірілген.

12.1-кесте. Транзисторлардың классификациясы

Төмен жиілікті (ТЖ)	ТЖ дыбыс қосымшаларына арналған транзисторлар 100 кГц (-тен төмен)
Жоғары жиілікті (ЖЖ)	Арнайы жоғары өнімді радиожиілікті өңдеу үшін арналған транзисторлар, (100 кГц -тен жоғары)
Қосқыш	Сызбаның барлық компоненттерін қосып, ажыратады
Төмен шу	Амплитудасы кішкентай сигналдарды күшейту үшін, шуы өте аз сипаттамасы бар транзистор
Жоғары кернеулі	Жоғары жиілікті арнайы әзірлеп, өңдеу үшін
Басқару бағдарламасы	Қуаты орташа кернеу деңгейлері жиі қолданылатын транзисторлар, соңғы сатыда істеуге арналған транзисторлар
Кішкентай сигналдар	Радиоқабылдағыштар мен күшейткіштердегі кішкентай кернеулерді күшейту үшін арналған транзисторлар
Қуат	Үлкен токтар мен кернеулерді әзірлеп, өңдеу үшін қажетті транзисторлар

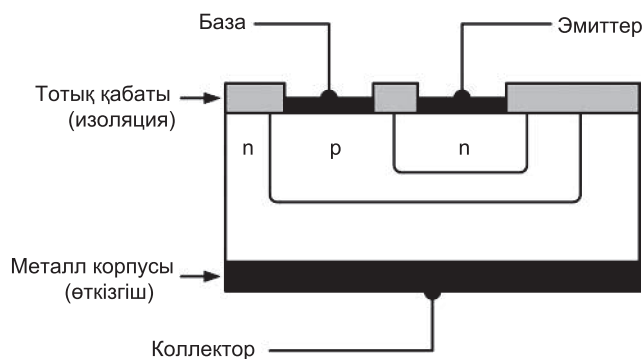
Айта кету керек бұл классификацияларды одан да әрі де құрамдастыруға болады, мысалы, төменгі жиілікті қуатты беру транзисторлары немесе төменгі деңгейде шуылдайтын (шулы) жоғары жиіліктік транзисторлар.

12.2. Биполярлы транзисторлар

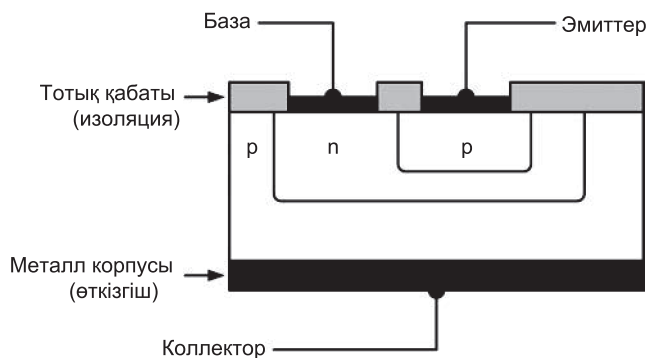
Биполярлы транзисторлар әдетте, кремний немесе германий материалдарында $n - p - n$ немесе $p - n - p$ ауысуларын қамтамасыз етеді. Қоспасы бар кремнийдің кристалл пластинасының бір бөлігі сызбада көрсетілген. Жартылай өткізгіштердің ішіне кейбір қоспаларды фотографиялық перде тәсілімен енгізу арқылы өткелдер құралады.

Кремний транзисторларының германий транзисторларымен салыстырғанда қолданатын жерлері әлдеқайда көп, әсіресе, жоғары температурада, олай болса, германий құрылғылары қазіргі кездегі электрондық құрылғыларда сирек кездеседі. Транзистор қазіргі кездегі микроэлектроника құрылғыларының негізгі элементі болып табылады. Бүгін транзисторлар өмірімізде түпкілікті орын алды. Аналогты және сандық құралдар құрамында бола отырып, олар электр құралдарының негізі болып саналады.

12.1-сурет пен 12.2-суреттерде $n - p - n$ және $p - n - p$ транзисторларының құрылымдары (конструкциясы) келтірілген. Өткелден жылуды алып тастау үшін (орта және жоғары күштік тізбекте өте маңызды) коллектор транзистордың металл корпусымен жалғанған. $n - p - n$ және $p - n - p$ ауысуларының сим-

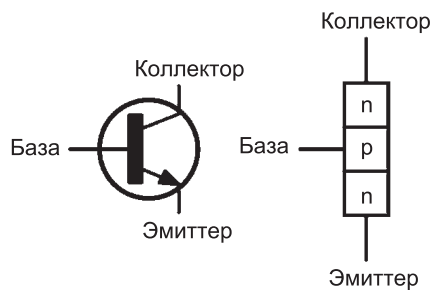
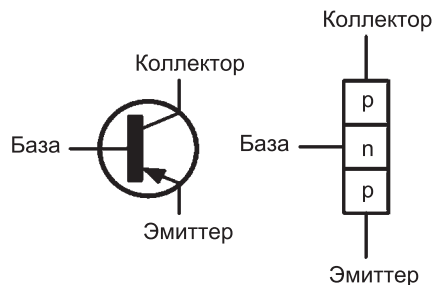


12.1-сурет



12.2-сурет

волдары мен транзистордың жеңілдетілген үлгілері 12.3-суретте келтірілген. Транзистордың құрылымында база аймағының $n-p-n$ (транзисторлары үшін p -типті материал немесе $p-n-p$ транзисторы үшін n -типті материал) өте тар екенін айта кету керек.

(а) $n-p-n$ БТ-биполярылы транзистор(ә) $p-n-p$ БТ-биполярылы транзистор

12.3-сурет

12.3. Транзистордың жұмыс атқару негіздері

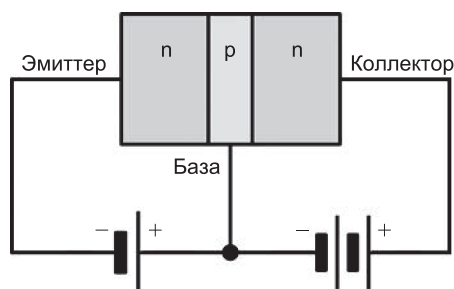
12.4 (а)-суретте $n - p - n$ транзистордына жұмыс істеу негіздері көрсетілген:

(а) n типті эмиттердегі негізгі заряд тасымалдаушыларға электрондар жатады.

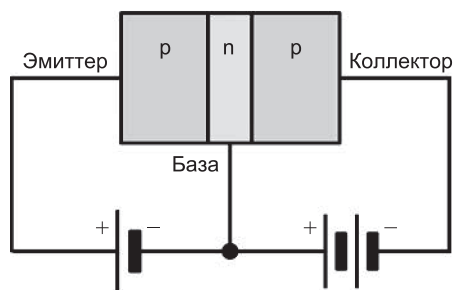
(б) База-эмиттер өтуі негізгі тасымалдаушыны тура бағытта ығыстырады, сонда электрондар өткелден өтіп, база аймағында пайда болады.

(с) Өте жіңішке база-аймағында кемтік өте төмен қоспаланған, сондықтан олар кейбір рекомбинацияларға ұшырап жатады, алайда, электрондардың көбі база аймағында қала береді.

(д) База-коллектор өткелі кері бағытқа ығысқан, сонда база аймақтарында кемтіктер ал коллектор аймағында электрондар пайда болады, содан кейін база аймағында электрондар пайда



(а) $n-p-n$ БТ



(ә) $p-n-p$ БТ

12.4-сурет

болуы үшін тура бағытқа ығысады; бұл электрондар коллектор қысқыштарының оң потенциалын тартып алады

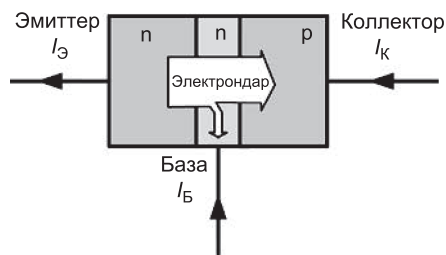
(е) База-аймағындағы электрондардың көбі коллектор аймағында база-коллектор өткелінен өтіп отырады, сөйтіп коллекторда ток түзіле бастайды.

$n - p - n$ транзисторының жұмыс істеуі негізі *12.5 (а)-суретте* келтірілген.

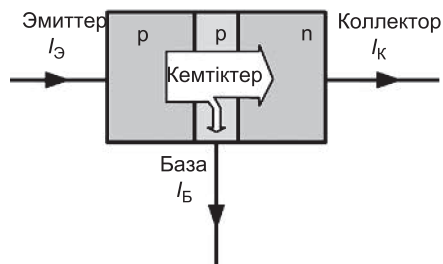
Әдетте токтың бағыты кемтіктің қозғалысымен алынады, яғни оның бағыты электрондар ағынының бағытына қарама-қарсы. Эмиттерден шығып жатқан электрондардың 99.5 % база-коллектор өткелінен өткенде, олардың тек 0.5 % ғана өте тар база аймағында кемтікке айналады.

$p - n - p$ транзистордағы жұмыс істеу принципі:

12.4 (б) -суретте көрсетілгендей транзистор жұмыс істеу үшін келесі шарттар орындалу керек:



(а) n-p-n БТ



(ә) p-n-p БТ

12.5-сурет

а) Эмиттер материалындағы негізгі тасымалдаушылар – кемтіктер.

(b) База-эмиттер негізгі тасымалдаушыларды тура бағытта ығыстырады, сөйтіп, кемтіктер өткелден өтіп, база аймағында пайда болады.

(c) База аймағы өте жұқа және электрондармен өте төмен қоспаланған кейде электрондар кемтіктермен жұптарды түзе алғанымен база аймағында сонда да кемтіктер көп.

(d) База аймағында электрондардың, ал коллектор аймағында қайтадан кемтіктер болу үшін база-коллектор өткелі кері бағытталған, бірақ кемтіктер тура бағытта ығысқан; Бұл кемтіктер коллектор қысқыштарының теріс потенциалын өзіне тартады.

(e) База аймағындағы кемтіктің біраз көп бөлігі база-коллектор өткелінен өтіп, коллектор аймағына жетеді, сөйтіп коллекторда токты түзеді, әдетте токтың бағыты кемтіктің қозғалыс бағытымен сәйкес келеді.

12 (b) -суретте $p - n - p$ транзистордың жұмыс істеу принципі келтірілген. Эмиттерден шыққан 99.5 % кемтіктер база-коллекторының өткелінен өтеді, алайда, 0.5 % кемтіктер өзгеріске ұшырап, электронмен өте жіңішке база аймағын құрайды.

12.4. Жылыстау тоғы

Негізгі тасымалдаушылар үшін $n - p - n$ транзисторында база-коллектор өткелі кері бағытқа ығысқан, бірақ негізгі емес тасымалдаушылардың (кемтіктер коллекторда және электрондар базада) беретін жылу әсерінен коллектордан базаға қарай өте аз $I_{КБЖ}$ жылыстау тоғы ағады.

База-коллектор өткелі тура бағытта осы негізгі емес тасымалдаушыларды ығыстырады. $p - n - p$ транзисторындағы негізгі база-коллектор өткелі көпшілік негізгі тасымалдаушыларды кері бағытта ығыстырады (электрондар коллекторда, ал база аймағында кемтіктер бола тұра). Тағы да база-коллектор осы негізгі емес тасымалдаушыларды тура бағытта ығыстырады.

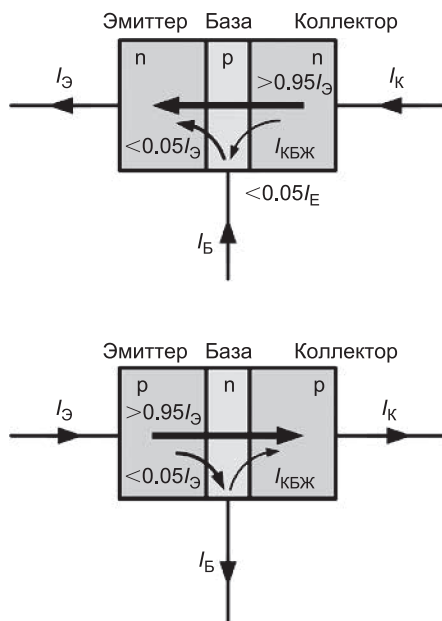
Қазіргі кездегі транзисторлардағы токтың кемүі көп емес (100 мА кіші) көптеген жағдайда токтың кемүі есепке алынбайды.

1-есеп. $p - n - p$ транзисторына сүйене отырып, транзистор жұмыс істеуі әрекеті деген не және транзисторды биполярлы деп неліктен атайтынын түсіндіріңіз.

12.4-суретте транзистордің эмитторы акцепторлық атомдармен (кемтіктермен) қоспаланған. Базаға қарағанда эмиттер әлдеқайда оң зарядталса, база-эмиттердегі негізгі тасымалдаушылар тура бағытта ығысады. Негізгі эмиттердегі тасымалдаушылар ретінде кемтіктер алынған және олар эмиттерден базаға қарай жылжып қозғалады.

Бұл база аймағы донорлы атомдармен (электронмен) төмен қоспаланған, алайда кейбір электрондар кемтіктерге рекомбинацияланған, (мүмкін электрондардың 0.5 %-ы), бірақ кемтіктің көбі электрондармен қосылмай базаға енеді.

Электрондар база аймағында болуы үшін база коллектор өтпелі кері бағытқа, ал база аймағында кемтіктер тура бағытта ығысқан. База аймағы өте тар болғандықтан, кемтіктер оралғаннан кейін бұл кемтіктер база-эмиттер өткелінен өтіп, коллектор клеммасының теріс потенциалына ығысады. Эмиттерден коллекторға қарай жүретін ток коллектор-базаның кернеуіне тәуелді және түгелдей эмиттер-база кернеуімен реттеледі. База-эмиттер кернеуімен кәдімгі транзистор бақылау жүргізеді. $p - n - p$ транзисторда кемтіктер эмиттер мен коллектор аймағында негізгі тасымалдаушы болып табылады, бірақ база аймағында негізгі емес тасымалдаушыларға айналады. Сонымен қатар эмиттер мен коллектор аймақтарында жылу арқылы өндірілген электрондар негізгі емес тасымалдаушылар ретінде және тура сол сияқты база аймағында кемтіктер де пайда болады. Алайда, негізгі және негізгі емес тасымалдаушылардың бәрі де жалпы токқа өздерінің үлесін қоса алады. (*12.6-сурет*) транзистор осы екі түрлі заряд тасушылары (кемтіктер мен электрондар) болғандықтан оларды **биполярлы** деп атайды.



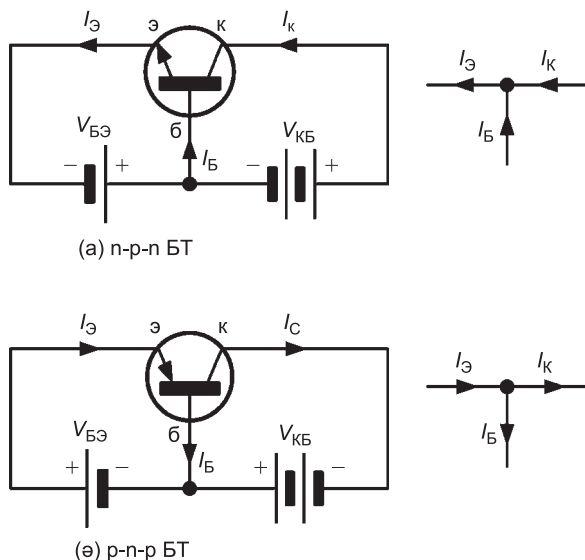
12.6-сурет

12.5. Ығысу мен ток ағыны

Транзистор екі түрлі $p-n$ ауысуды іске асыра алады, сондықтан олар ауыспалы транзисторлар болып келеді, осыдан оның аталуы биполярлы ауыспалы транзистор.

Қалыпты режимде жұмыс істегенде (мысалы, сызықтық күшейткіш рөлін атқарғанда) транзистордың база-эмитторы тура бағытқа ығысады. База аймағы өте тар, сондықтан тасымалдаушылар оны эмиттордан коллекторға қарай қамтып алғандықтан базаға қарай өте кішкентай шамалы ток өтеді. Эмиттер тізбегінде өтетін ток базада өтетін токпен салыстырғанда 100 есе артық. $p-n-p$ транзистор үшін ток коллектордан эмитторға қарай бағытталған, ол 12.7-суретте келтірілген. Коллектордағы, базадағы және эмиттордағы тоқты сызба бойынша байланыстыратын теңдеу (12.7-суретті қараңыз)

$$I_{\text{Э}} = I_{\text{Б}} + I_{\text{К}},$$



12.7-сурет

Мұндағы, $I_{Э}$ – эмиттер тогы, $I_{Б}$ – база тогы, $I_{К}$ – коллектор тогы және олардың өлшем бірліктері бірдей.

2-есеп. Транзистордың коллекторлық тогы 100 мА , эмиттерлік тогы 102 мА . База тогының мөлшерін есептеңіз.

$$\text{Эмиттер тогы: } I_{Э} = I_{Б} + I_{К}$$

$$\text{Осыдан база тогы: } I_{Б} = I_{Э} - I_{К}$$

$$\text{Олай болса база тогы: } I_{Б} = I_{Э} - I_{К} = 102 - 100 = 2 \text{ мА}$$

12.6. Транзисторлық операциялық конфигурация

Бұл үш сызбаның айырмашылығы транзистордың үш конфигурациясының жалпы кірісі мен шығысының әртүрлі жалғануында (*12.8-сурет*).

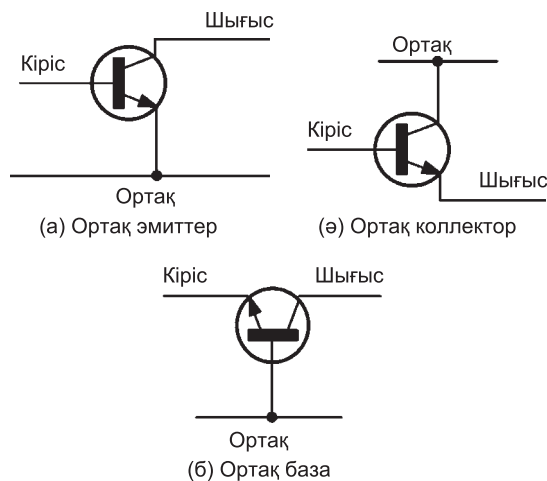
Биполярлы транзисторлардағы өткел конфигурациясына *12.8-суретте* көрсеткендей ортақ эмиттор, ортақ коллектор (немесе эмитторды қайталаушы) және ортақ базалар жатады.

12.7. Биполярлы транзистор сипаттамасы

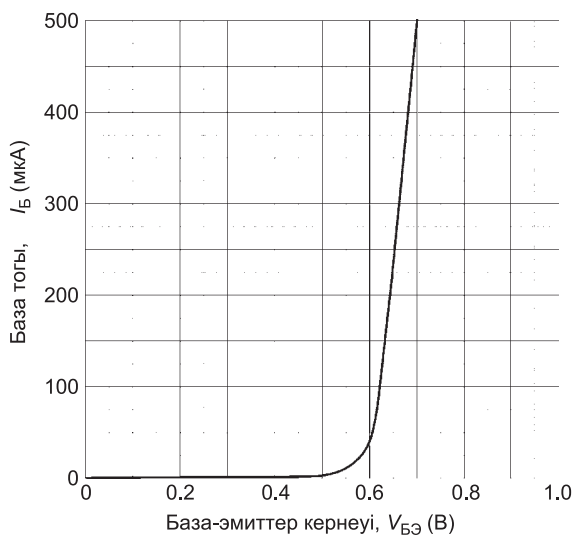
Әдетте, транзистор сипаттамалары транзистордың қысқыштары жанында кернеулер мен ток үшін сұлбалар түрінде келтірілген. *12.9-суретте* $n - p - n$ ауысуы үшін жалпы эмиттер режимінде жұмыс істейтін операциялық биполярлы транзисторға тән кіріс сипаттамасы (I_B ток $V_{БЭ}$ қарама-қарсы орналастырылған) келтірілген. Бұл режим үшін кіріс ток базаға келтіріледі, ал шығыс тогы коллекторда пайда болады. Ал эмиттерде *12.8-суретте* көрсеткендей екі тізбек үшін де шығысы мен кірісі бірдей.

Транзистордың кіріс сипаттамасы $_{БЭ}$ база-эмиттердегі кернеу 0.6 В шамасынан асқанша база тогының өте кішкентай екенін көрсетеді. Осыдан кейін база тогы тез ұлғая бастайды – осы қасиеті бойынша транзистор кремний диодының алдыңғы жағындағы бөлігімен ұқсас *12.9-суретте* көрсетілгендей.

12.10-суретте $n - p - n$ биполярлы транзисторлар үшін нағыз (коллектор) шығу жиынтығының сипаттамалары (I_K ток $V_{КЭ}$ қарама-қарсы) келтірілген. $n - p - n$ биполярлы транзисторлардың сипаттамасының әрбір қисығына база тогының басқа

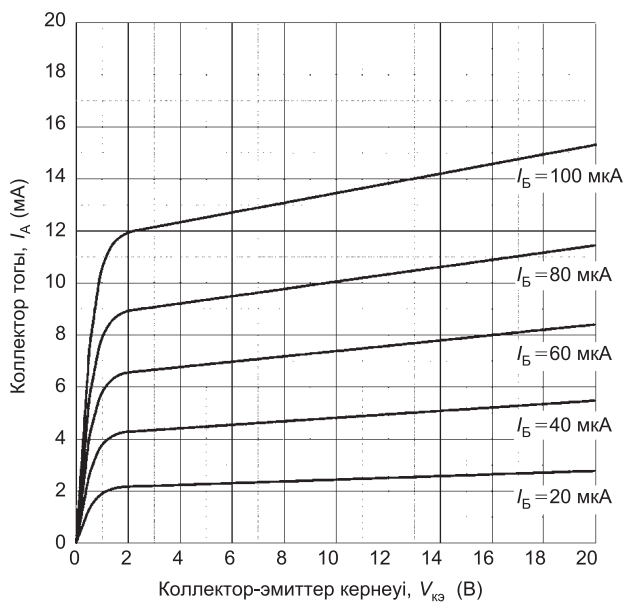


12.8-сурет



12.9-сурет

мәндері сәйкес. $V_{кэ} = 2$ В - дан төмен аймақта сипатталатын қисықтың түріне көңіл аударған жөн.

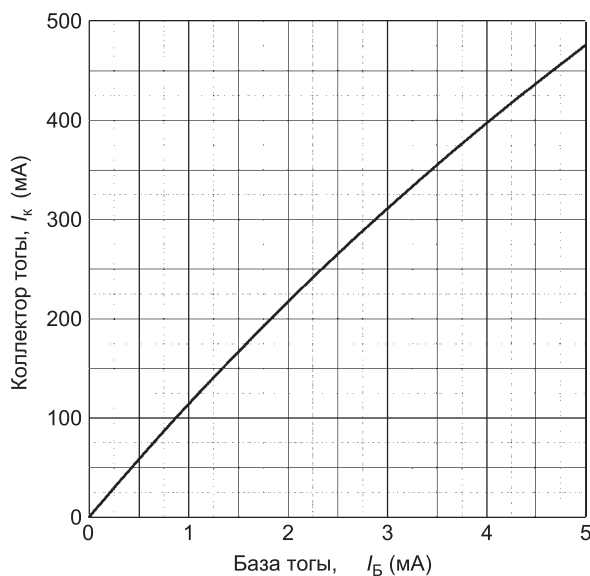


12.10-сурет

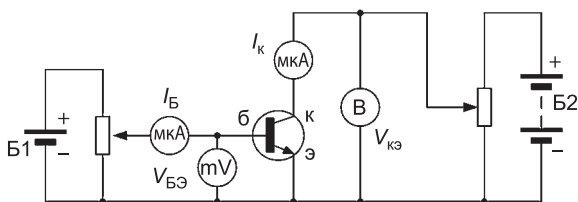
Қисықтардың түрлері тегіс. Осы себептен (коллектор тогы онша өзгермейді, коллектор – эмиттер кернеуді өзгертеді) біз осы құбылысқа тұрақты ток сипаттамасы ретінде қараймыз. *12.11-суретте* жазық биполярлы $n - p - n$ транзистор үшін оған тән транзисторлы сипаттаманы көруге болады. Әлсіз сигналдар үшін арналған жалпы транзисторға міндетті коллектор тогы I_K мен I_B база тогының байланысы берілсін.

I_K коллектор тогы мен I_B база тогының қатынасы немесе қисықтың көлбеу еңісі транзистордың ток бойынша жалпы эмиттордың күшейткіштерінің коэффициенті болып табылады. $n - p - n$ биполярлы транзисторға ортақ эмитторлық сипаттама *12.12-суреттегі* сызбада келтірілген.

Кіріс сипаттамасын алу үшін $VR1$ -ің белгілі бір мәніне сәйкес база тогы I_B мен $V_{KЭ}$ коллектор-эмиттер кернеуінің мәндері беріледі. Мұндай өлшеулерді $VR1$ -дің әртүрлі параметрлері үшін қайталау нәтижесінде пайда болған тәуелділік транзистордың кіріс сипаттамасын береді *12.9-сурет*.



12.11-сурет



12.12-сурет

Шығыс сипаттамасын алу үшін $VR1$ өзгертеді, мысалы, $I_B = 20$ мкА тең болсын. $VR2$ -нің әртүрлі мағынасына коллектор тогының I_B және $V_{KЭ}$ коллектор-эмиттер кернеуінің сәйкес мәндері белгіленген. Осы екі шаманың өзара қатынасы $V_{KЭ} / I_K$ графигінен I_B база тогы алынады. Осылай қайталай отырып, база токтарының $I_B = 40$ мкА, $I_B = 60$ мкА мәндерін алуға болады, сөйтіп, т.с.с. шамаларды түсіру арқылы тізбектің шығу сипаттамасын *12.10-суреттен* аламыз.

12.8. Транзистор параметрлері

Транзистордың сипаттамасы туралы шамалы болса да алдыңғы тараулардан пайдалы мәліметтер алынып, транзистор жұмысын үлгілеуге болатыны анықталды. Келесі параметрлерді анықтау үшін жалпы эмиттер режимінде мысалы үш графигті пайдалануға болады.

Кіріс кедергісі (кіріс сипаттамасынан, *12.9-сурет*)

Статикалық (немесе тұрақты ток) **кіріс кедергісі** $V_{BЭ} / I_B$
(графиктен алынған сәйкес нүктелерімен)

Динамикалық (айнымалы ток) **кіріс кедергісі** $\Delta V_{BЭ} / \Delta I_B$

(Қисықтың көлбеуінен алынған $\Delta V_{BЭ}$ мен ΔI_B өзгерулері $V_{BЭ}$ мен I_B сәйкесінше өзгеруіне әкеледі).

Шығу кедергісі (шығу сипаттамасынан *12.10-сурет*).

Статикалық (немесе тұрақты ток) **шығу кедергісі** $V_{KЭ} / I_K$
(графиктен алынған сәйкес нүктелерімен).

Динамикалық (айнымалы ток) **кіріс кедергісі** $\Delta V_{KЭ} / \Delta I_K$

(Қисықтың көлбеуінен алынған $\Delta V_{КЭ}$ мен ΔI_K өзгерулері $V_{КЭ}$ мен I_K сәйкесінше өзгеруіне әкеледі).

Токтың ұлғаюы (беріліс тасымалдау сипаттамасы *12.11-сурет*)

Статикалық (немесе тұрақты ток) токтың ұлғаюы I_K / I_B (графиктен алынған сәйкес нүктелерімен).

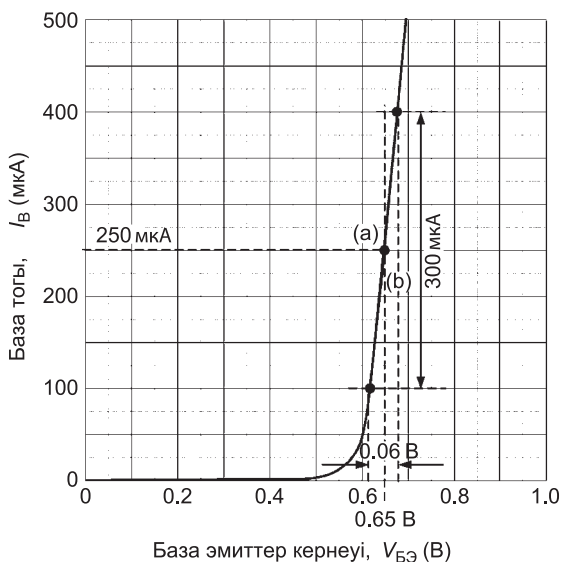
Динамикалық (айнымалы ток) токтың ұлғаюы

(Қисықтың көлбеуінен алынған ΔI_K мен ΔI_B өзгерулері I_K мен I_B сәйкесінше өзгеруіне әкеледі).

Осы параметрлерді анықтау олардың сипаттамалары бойынша төмендегі есептер арқылы келтірілген.

3-есеп. $n - p - n$ кремний транзистор үшін сипаттамасы келтірілген. База-эмиттердің кернеуі 0.65 В , (а) база тогы, (b) кіріс кедергісінің статикалық мөнін, (с) кіріс кедергісінің динамикалық мөнін анықтау керек.

(a) *12.13-суреттен* база- $V_{БЭ} = 0.65 \text{ В}$ болғанда ток базасы $I_B = 250 \text{ мкА}$ екені графиктен көрініп тұр. *12.13 (a)-сурет*



12.13-сурет

(b) $V_{БЭ} = 0.65$ В болғанда, ток базасы $I_B = 250$ мкА = графиктен алынған (12.13 (a)-сурет) сонда:

Кіріс кедергісінің статикалық мәні

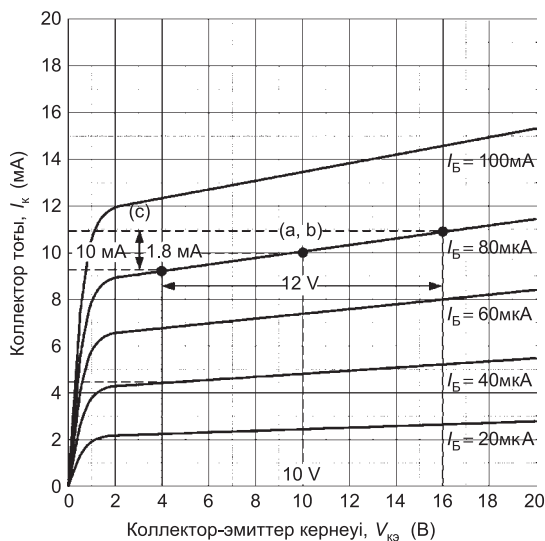
$$\frac{V_{БЭ}}{I_B} = \frac{0.65}{250 \times 10^{-6}} = 2.6 \text{ кОм. } I_B = 250 \text{ мкА}$$

(c) 12.13-суреттен база-эмиттер кернеуі $V_{БЭ} = 0.6$ В дейін өзгере бастайды, сонда база тогы $I_B = 300$ мкА дейін өзгереді (графиктен (b) суреттен алынған) олай болса:

Динамикалық кедергінің кіріс мәні

$$\frac{V_{БЭ}}{I_B} = \frac{0.06}{300 \times 10^{-6}} = 200 \text{ Ом}$$

4-есеп. 12.14-сурет $n - p - n$ кремний транзисторы үшін шығу сипаттамасын көрсетіңіз. Коллектор-эмиттордың кернеуі 10 В, база тогы 80 мА, мынаны анықтау керек:



12.14-сурет

(а) коллектордағы токтың мәнін, (б) шығу кедергісінің статикалық мәнін, (с) шығу кедергісінің динамикалық мәнін.

(а) *12.14-суреттен* коллектор-эмиттер кернеуі $V_{КЭ} = 10$ В болғанда $I_B = 80$ мкА (графикте (а, б) нүктелері)

коллектор тогы, $I_K = 10$ мкА

(б) Графиктің $V_{КЭ} = 10$ В бірінші бөлігінен. $I_B = 80$ мкА, сонда $I_K = 10$ мкА графиктің (а) бабынан.

Олай болса,

Статикалық шығу кедергісінің мәні

$$\frac{V_{КЭ}}{I_K} = \frac{10}{10 \times 10^{-3}} = 1 \text{ кОм}$$

(с) $V_{КЭ} = 12$ В (графиктен С нүктеден алынған $I_K = 1.8$ мА олай болса:

Динамикалық шығу кедергісінің мәні

$$\frac{\Delta V_{КЭ}}{\Delta I_K} = \frac{12}{18 \times 10^{-3}} = 6.67 \text{ кОм}$$

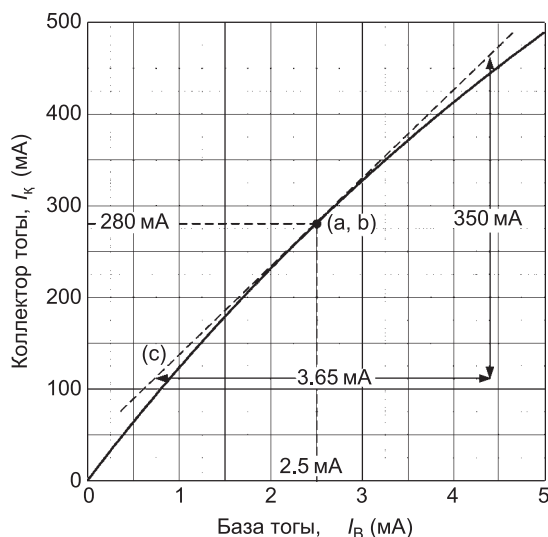
5–есеп. *12.15-суреттен* $n - p - n$ кремний транзисторының күшейту сипаттамасы келтірілген. База тогы $I_B = 2.5$ мА болғанда анықтау керек: (а) коллектор тогының мәнін, (б) ток бойынша күшейту коэффициентінің статикалық мәнін, (с) ток бойынша күшейту коэффициентінің динамикалық мәнін.

(а) *12.15-суреттен* база тогы $I_B = 2.5$ мА, болғанда **коллектор тогы $I_K = 280$ мА** (графиктен (а, б) нүктелері).

(б) (а) -баптан база тогы $I_B = 2.5$ мА, болғанда коллектор тогы $I_K = 280$ мА.

Статикалық (немесе тұрақты ток) токтың ұлғаюы.

$$\frac{I_K}{I_B} = \frac{280 \times 10^{-3}}{2.5 \times 10^{-3}} = 112$$



12.15-сурет

Ток бойынша күшейту коэффициенті – 112.

(с) 12.15-суреттен (а, b) нүктелері арқылы жанама пунктир түзу сызықтар арқылы (с) келтірілген.

Динамикалық (тұрақты ток) токтың ұлғаюы:

$$\frac{\Delta I_K}{\Delta I_B} = \frac{(460 - 110) \times 10^{-3}}{(4.4 - 0.75) \times 10^{-3}} = \frac{350}{3.65} = 96.$$

Олай болса динамикалық ток бойынша күшейту коэффициенті – 96.

12.9. Ток бойынша күшейту коэффициенті

Ток бойынша ортақ эмиттермен күшейту коэффициенті I_K коллектор тогының I_B база тогына қатынасымен анықталатыны бізге бұрыннан белгілі. Ток бойынша ортақ эмиттердің күшейту коэффициентінің статикалық мәнін табу үшін келесі өрнекті пайдаланамыз.

$$h_{cm} = \frac{I_K}{I_B}$$

Сонымен қатар ток бойынша ортақ эмиттердің күшейту h_{cm} коэффициентінің динамикалық мәнін күшейту сипаттамасынан да алуға болады:

$$h_{дин} = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B}$$

h_{cm} мен $h_{дин}$ мәндерін күшейту сипаттамаларынан алуға болатыны осының алдында айтылған (графикте I_K коллектор тогы мен база тогының I_B тәуелділігі келтіріліген). $h_{дин}$ графиктегі көлбеудің жанамасы бойынша табылса, онда оған сәйкес h_{cm} статикалық мәндерді де табуға болады. Тағы да айта кету керек күшейту сипаттамасы сызықтық болса, онда ($h_{дин}$) пен (h_{cm}) арасында айырмашылық та азғантай болады.

Ток бойынша күшейту коэффициенті ($h_{дин}$) коллектор тогына байланысты өзгереді. Сигналдары кішкентай транзисторлардың көпшілігі үшін $h_{дин}$ динамикалық коэффициент коллектор тогының 1 мА ден 10 мА арасындағы диапазонында максималды. Күштік транзистор үшін ток бойынша күшейту коэффициенті коллектор тогының өте жоғары мәндерінен өте төмен мәндерге дейін түседі. Сонымен қатар транзисторлар жұмыс істегенде, оның көпшілік параметрлері (жеке алғанда ортақ эмиттердің ток бойынша күшейту коэффициенті $h_{дин}$) бір құрылғыдан басқа құрылғыға өткенде біркелкі емес, шашыранды болып келеді, осы себептен оның минималды мәніне негізделген сызбаны жетілдіру қажет, сонда ғана әртүрлі құрылғылармен ойдағыдай сәтті жұмыс істеу қамтамасыз етіледі.

6-есеп. Биполярлы транзистордың ортақ эмитторының ток бойынша күшейту коэффициенті 125. Транзистордың коллектор тогы 50 мА, база тогын табыңыз.

Ток бойынша жалпы эмиттордың күшейту коэффициенті:

$$h_{дин} = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B}$$

$$\text{осыдан база тогы, } I_B = \frac{I_K}{h_{ст}} = \frac{50 \times 10^{-3}}{125} = 400 \text{ мкА}$$

12.10. Биполярлы транзисторлардың негізгі сипаттамалары мен ең үлкен мәндері

12.2-кестеде кейбір биполярлы транзисторлардың әртүрлі орындарда қолданылатын сипаттамалары келтірілген. I_K – коллектордың максималды тогы, $V_{КЭ}$ коллектор-эмиттордың максималды кернеуі, $P_{мак}$ құрылғы қуатының максималды жұмсалуды, $h_{дин}$ ток бойынша ортақ эмиттердің күшейту коэффициенті.

12.2-кесте Транзистор сипаттамалары

Транзистор аттары	типтері	I_K максимум	$V_{КЭ}$ максимум	$P_{мак}$ максимум қуат	$(h_{дин})$	Қолданатын жерлері
BC108	$n - p - n$	100 мА	20 В	300 мВт	125	Кіші сигналдарды күшейту мен жалпы мақсаттар
BCY70	$n - p - n$	200 мА	-40 В	360 мВт	150	Кіші сигналдарды күшейту мен жалпы мақсаттар
2N3904	$n - p - n$	200 мА	40 В	310 мВт	150	Ажыратып-қосу
BF180	$n - p - n$	20 мА	20 В	150 мВт	100	Радиожиліліктерді күшейту
2N3053	$n - p - n$	700 мА	40 В	800 мВт	150	Төмен жиілікті күшейткіштер
2N3055	$n - p - n$	15 А	60 В	115 мВт	50	Төмен жиілікті күшейткіштер қуаттар

7-есеп. Төмендегі келтірілген аялардың қайсысына 12.2-кестеде келтірілген биполярлы транзисторлар дәл келеді: (а) радиоқабылдағыш үшін кіріс каскады; (б) дауыс қатайтқышы үшін шығу каскады; (с) 5 В тік бұрышты толқындық импульсты өндіру.

- (a) $h_{дин}$ - **BF180**, радиожилікті қолданатын транзистор;
- (b) $h_{дин}$ **2N3055**, тек осы құрылғы қуаттың ең жоғарғы деңгейінде істей алатын транзистор;
- (c) $h_{дин}$ **2N3904**, осы транзистордың қолданатын аялары импульсты және тік бұрышты толқындарға арналған.

Келесі жаттығуларды орында.

65-жаттығу Биполярлы транзисторларды жалғауға арналған қосымша есептер

1. $n - p - n$ транзистордың жұмыс істеу принципін суреттеу арқылы түсіндіру және не себептен коллектор тогы эмиттер тогына эквивалентті болатынын түсіндіріңіз.
2. Биполярлы транзистордың негізі жұмыс істеу принципі. Эмиттерден коллекторге неліктен негізгі тасымалдаушылардың көбі өте алатынын түсіндіріңіз, не себептен коллектор тогы коллектор потенциалына тәуелсіз.
3. Биполярлы транзисторда кездесетін жылыстау ток деген не?
4. Ортақ эмиттері бар конфигурацияда коллектордан шығатын ток, коллектор-эмиттер кернеуі және база-тогының әртүрлі мәндері үшін шығу сипаттамаларын суреттеп келтіру.
5. Кіріс сипаттамасын суретпен салыңыздар, транзистор үшін база тогы мен база-эмиттер кернеуі ортақ эмиттерлі конфигурациямен жалғанса оның пішін түсіндіріңіз.
6. Ортақ эмиттерлі $n - p - n$ транзисторы үшін кіріс және шығу сипаттамалары қандай сызбамен беріледі?
7. Сәулеленудің жалпы режимында жұмыс істейтін биполярлы транзистор үшін ток бойынша күшейту коэффициентін анықтаңыз.
8. Коллектор тогы 1.2 А, база тогы 50 мА сонда биполярлы транзистордың эмиттер тогы қандай болады?
9. *8-есепте* келтірілген транзистор үшін ортақ эмиттерлік ток бойынша күшейту коэффициенті деген не?

10. База тогы I_B , база-эмиттер тогы I_E биполярлы транзистор үшін төмендегі кестеде берілген:

$V_{БЭ}$ В	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
I_E мкА	0	0	0	0	1	3	19	57	130

Құрылғының $I_E / V_{БЭ}$ сипаттамасын график түрінде келтіріп, одан шыққан нәтижелерді келесі параметрлерді анықтау үшін пайдаланыңыздар:

(а) База-эмиттер кернеуі $V_{БЭ} = 0.65$ В болғанда база тогының I_E мәнін, (б) база-эмиттер кернеуінің шамасы $V_{БЭ} = 0.65$ В болғанда кіріс кедергісінің статикалық және динамикалық мәндерін табыңыздар.

$$[(a) 32.5 \text{ мкА}, (b) 20 \text{ кОм}, (c) 3 \text{ кОм}]$$

11. Биполярлы транзистор үшін база тогының коллектор тогына сәйкестік көрсеткіштері төмендегі кестеде келтірілген. I_K / I_B сипаттамасын график түрінде салыңыздар. База тогы $I_B = 45$ мкА болғанда ортақ эмиттердің ток бойынша күшейту коэффициентін табыңыз.

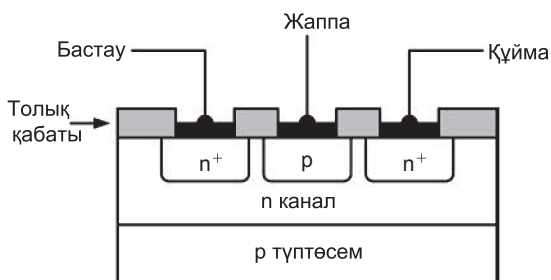
I_B мкА	0	10	20	30	40	50	60	70	80
I_K мкА	0	1.1	2.1	3.1	4.0	4.9	5.8	6.7	7.6

[98]

12.11 Өрістік транзисторлары

Өрістік транзисторларда кристалл арқылы өтетін токты тек бір таңбалы заряд тасушы – электрон немесе кемтік тудырады. Заряд тасушыларды басқаруға негізделетін физикалық эффектілерге қарай өрістік транзисторлар шартты түрде 2 топқа бөлінеді: $p - n$ ауысуларын басқаратын жаппалы және оқшауланған жаппалы (МДЖ-металл диэлектрик жартылай өткізгіш) транзисторлар. Электрөткізгіштік түрлеріне қарай олар p - және n - типті канал

ды транзисторлар деп бөлінеді. Өрістік транзисторларында жаппа-бастау өткелі $p-n$ ауысуының кері бағытына негізделген. Оқшауланған жаппасы бар өрістік транзисторының жаппа контактысы каналмен сыйымдылық байланыс арқылы жалғанған. Әзірше тек $p-n$ ауыспалы типтес жаппалы өрістік транзисторды қарастырамыз. *12.16-суретте* n -каналды өрістік құрылғының конструкциясы келтірілген. Ол n -типті немесе p -типті материалдың каналдарынан тұрады және олар полярлығы қарама-қарсы материалдармен қоршалған. Каналдың шетінде (ол жерлерде өткізгіштік бар) электрондар түзіледі, оны бастау мен құйма деп атайды. Сонымен, каналдың шеттерінде пластиналар балқытылып жалғанған, осы пластиналардан шығатын зарядтарды бастау деп, ал оған қарай қозғалатын заряд тасушыларды құйма деп аталатын болады. Құйма мен бастаудың полярлығы бірдей, ал жаппаның полярлығы қарама-қарсы. Өткізгіштігі бар каналдың эффективті ені үшінші электродта орналасқан (жаппа) зарядпен басқарылады. Бастау мен құйманың арасындағы эффективті кедергі сонымен, жаппаға берілген кернеумен реттеледі. *12.16-суреттегі* $+$ таңбалары қоспалармен жоғары ендірілген аймақты көрсету үшін пайдаланылады, олай болса n^+ тек қана жоғары қоспаланған жерді көрсетеді. Өрістік транзистордың биполярлы транзисторлармен салыстырғанда кіріс кедергісі әлдеқайда жоғары. Мысалы, биполярлы операциялық транзисторлардың ортақ эмиттер режиміндегі кіріс

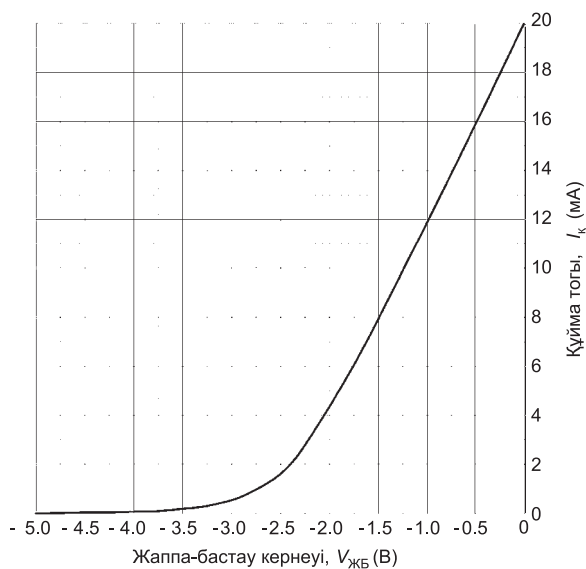


12.16-сурет

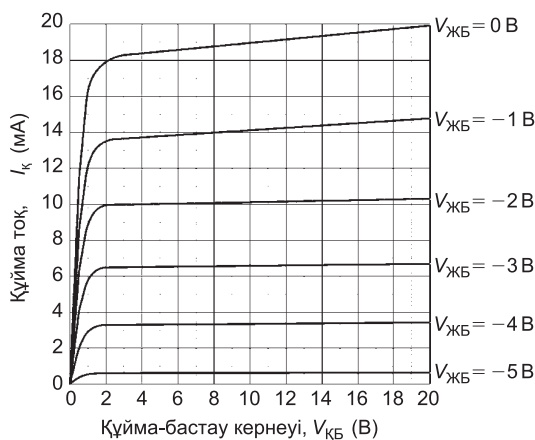
кедергісі – 2.5 кОм Ал өрістік транзистордың ортақ бастау режиміндегі кіріс кедергісі өте жоғары, атап айтқанда 100 МОм шамаларында. Өрістік транзистордың осындай ерекше қасиеті оның өте жоғары кіріс кедергілері қажет болған жағдайда пайдалы. Өрістік транзисторды кең жолақты күшейткіштерде, жиіліктерді түрлендіргіштерде, күшейту коэффициенті реттелетін күшейткіштерде, автогенераторларда пайдаланады. Биполярлы транзисторлар сияқты оларға тән кернеу мен ток сипаттамалары транзистор қысқаштарында графиктер жиыны түрінде келтіріледі.

12.12 Өріс эффектiлерiн сипаттайтын транзистор

Өрістік транзисторлардың тұрақты ток бойынша кіріс және шығыс кедергілері жоғары, инерциялығы төмен, ал жиіліктік шегі жоғары болып келеді. Өрістік транзисторлар байланыс, есептеуіш техникаларында, теледидарда шусыз, қуатты және



12.17-сурет



12.18-сурет

қосқыш (кілттік) ретінде қолданылады. Металл-диэлектрик-шалаөткізгіш (МДШ) құрылымды өрістік транзисторлар интегралдық сұлбаларда кеңінен қолданылады. n -каналды өріс транзисторларының ортақ бастау режиміндегі әлсіз сигналы үшін құйма тогы I_K мен $V_{ЖК}$ жаппа-құйма кернеуі арасындағы вольтамперлік сипаттама тәуелділігі 12.17-суретте көрсетілген.

Мұндай сипаттамалар келесі қорытындыға әкеледі: $V_{ЖК}$ жаппа-құйма кернеуінің шамасы неғұрлым теріс болған сайын соғұрлым I_K құйма тогы біртіндеп таусыла бастайды. $V_{ЖК}$ жаппа-құйма кернеуінің белгілі бір мағынасында құйма ток шамасы нөлге дейін төмендеп, құрылғы сөндіріледі.

12.18-суретте ортақ-бастау режимінде жұмыс істейтін n -каналды өрістік транзистордың өте әлсіз сигналдар үшін шығыс сипаттамаларының үйірі көрсетілген.

Бұл графикте I_K құйма ток пен $V_{КБ}$ құйма-бастау кернеуінің арасындағы вольтамперлік сипаттамасы келтірілген. Бұл вольтамперлік сипаттама кернеуге қатысты қисықтар жиынтығын береді. 12.10-суретте келтірілген ортақ-эмиттер режимінде жұмыс істейтін транзистордың шығыс сипаттамалары мен осы ортақ-бастау режимінде алынған сипаттамаларды салыстыру да өте қызық.

Биполярлы транзистор тәрізді n – каналды өрістік транзисторының шығыс сипаттамасының графигінде де иілген жері бар, ол $V_{КБ}$ құйма-бастау кернеуінің төмен мәндерінде кездеседі.

Қисықтың осы мәннен жоғары жағы жазық бір ізді түзу болып келеді, яғни құйма-бастау кернеуінің әлдеқайда үлкен өзгерістері ($g_{дин}$ немесе $Y_{дин}$) болып жатқанның өзінде де I_K құйма тогы онша өзгермейді.

Бұл сипаттамалар биполярлы транзистордың өзімен салыстырғанда да әлдеқайда жазықтау келеді. Осы сипаттаманың жазықтылығы тұрақты *токтың сипаттамасын* бере алады. Өрістік транзисторын ортақ-бастау режиміне қосқан жағдайда күшейту коэффициенті ($g_{дин}$) түзу сызықты көлбеу қисығының тіктілігімен анықталады: Бұл жағдайда кіріс кернеуі жаппаға беріледі, ал шығыс ток құймада пайда болады (*бастау* кіріс және шығыс тізбектеріне бірдей).

Ортақ-бастау режимінде қосылған тізбек үшін статикалық (тұрақты) өткізгіштіліктің тура өту коэффициентін анықтайтын формула:

$$g_{ст} = \frac{I_K}{V_{ЖБ}}$$

(графиктегі нүктелерге сәйкесінше) ал динамикалық өткізгіштіліктің тура өту коэффициентін анықтайтын формула:

$$g_{дин} = \frac{\Delta I_K}{\Delta V_{ЖБ}}$$

(графиктің жанамасынан алынады).

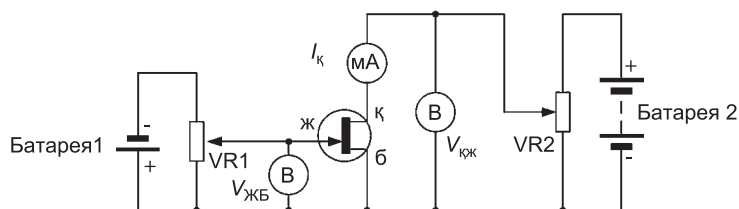
Айта кету керек, ΔI_K дегеніміз I_K құйма токтың өсімшесі, ал $\Delta V_{ЖБ}$ дегеніміз – $\Delta V_{ЖБ}$ жаппа-бастау кернеуінің өсімшесі.

Осы параметрлерді табудың мысалы 8-есепте берілген.

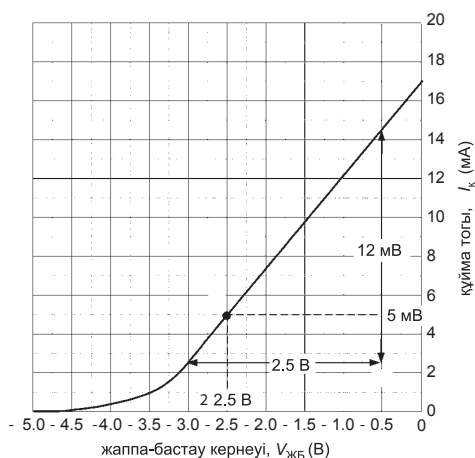
$g_{дин}$ динамикалық өткізгіштіліктің тура өту коэффициенті құйма тогының шамасына тәуелді өзгеріп отырады. Сигналдары кішкентай құрылғылардың көбі үшін құйма токтарының 1 мА

мен 10 мА шамаларының арасында $g_{дин}$ коэффициенттері анықталған. Өрістік транзисторларының сипаттамалық параметрлері, атап айтқанда өткізгіштіліктің тура өту статикалық және динамикалық коэффициенттерінің мәндері өте кең аймақты қамтиды, яғни шашыраңқы деген сөз. Сипаттамалары әртүрлі құрылғылармен жемісті жұмыс істеу үшін $g_{дин}$ динамикалық өткізгіштіліктің тура өту коэффициентінің минималды мәндеріне сай тізбектерді таңдап алу маңызды мәселе болып табылады. Ортақ-бастау сипаттамасын алу үшін n -каналды өрістік транзистордың тәжірибелік тізбегі *12.19-суретте* келтірілген.

8-есеп. *12.20-суретте* өрістік транзистор үшін ауыспалы (өтпелі) сипаттамалары берілген. $V_{ЖБ}$ жаппа-бастау кернеуі -2.5 В



12.19-сурет



12.20-сурет

болғанда, анықтаңыз: (а) I_K қўйма тоқтың мәнiн; (б) қисық тiктiлiгiнiң динамикалық мағынасын.

(а) 12.20-суреттегi графиктен $V_{ЖБ} = -2.5$ В болғанда, қўйма тоғы $I_K = 5$ мА.

(б) 12.20-суреттен

$$g_{дин} = \frac{\Delta I_K}{\Delta V_{ЖБ}} = \frac{(14.5 - 2.5) \times 10^{-3}}{2.5}$$

олай болса қисықтың тiктiлiгiнiң динамикалық мағынасы

$$g_{дин} \frac{12 \times 10^{-3}}{2.5} = 4.8 \text{ мСм}$$

(Динамикалық коэффициенттiң өлшем бiрлiгi сименс, См)

9-есеп. Өрiстiк транзисторының қўйма тогының мәнi 100 мА, жаппа-бастау кернеуiнiң ығысуы -1 В. Құрылғының $g_{дин}$ мәнi 0.25. Егер жаппа-бастау кернеуiнiң ығысуы -1.1 В дейiн кiшiрейсе, анықтаңыз: (а) қўйма тогының өзгерiсiн, (б) қўйма тогының жаңа мәнiн.

(а) Жаппа-бастау кернеуiнiң өсiмшесi $V_B = -0.1$ В. Қўйма тогының қорытынды өзгерiсi I_K қўйма тогының өсiмшесiнiң жаппа-бастау кернеуiнiң өсiмшесiне қатынасымен анықталады:

$$g_{дин} = \frac{\Delta I_K}{\Delta V_{ЖБ}}.$$

Олай болса, қўйма тогының өсiмшесi,

$$\begin{aligned} I_K &= g_{дин} \times \Delta V_{ЖБ} = \\ &= 0.25 \times (-0.1) = -0.025 \text{ А} = -25 \text{ мА} \end{aligned}$$

(б) I_K қўйма тогының жаңа мәнi: $= (100 - 25) = 75 \text{ мА}$

12.13 Өрістік транзисторлардың типтік сипаттамалары мен шектік мәндер

12.3-кестеде кейбір кең кездесетін өрістік транзисторларының сипаттамаларының максималды мәндері келтірілген. Мұнда I_K құйма тогының максималды мәні, V_{KB} құйма-бастау кернеуінің максималды мәні, $P_{мак}$ шығыс қуатының максималды жұмсалу мәні, $g_{дин}$ – өткізгіштілік коэффициентінің мәні.

12.3-кесте. Өрістік транзисторлардың сипаттамалары

Аспап- тың аты	типі	I_K макс.	V_{KB} макс.	$P_{мак}$ макс.	$g_{дин}$	Қолданатын жері
2N2819	<i>n</i> – канал	10 мА	25 В	200 мВт	4.5м См	Негізгі мақсат
2N5457	<i>n</i> – канал	10 мА	25 В	310 мВт	1.2 мСм	Негізгі мақсат
2N7000	<i>n</i> – канал	200 мА	60 В	400 мВт	0.32 См	Аз қуатты қосу
BF244A	<i>n</i> – канал	100 мА	30 В	360 мВт	3.3 мСм	Радио- жиіліктерін күшейткіш
BSS84	<i>n</i> – канал	-130 мА	-50 В	360 мВт	3.0 См	Аз қуатты қосу
IRF830	<i>n</i> – канал	4.5 А	500 В	75 мВт	1.8 См	Қуатты қосу
MRF 171A	<i>n</i> – канал	4.5 А	65 В	115 мВт		Радио- жиілік- терін күшейткіш

Бұл тізімге транзисторлардың әлсірету және күшейті типтері де, сонымен қатар өрістік транзисторлардың екі түрлері үшін де коэффициенттердің максималды және минималды мәндері де енеді.

10-есеп. Келесі қолданылатын жерлер үшін 12.3-кестеде келтірілген транзисторларды пайдалануға болады: (а)

радиоқабылдағыштың кіріс каскады, (b) таратқыштың шығу каскады, (c) жоғары вольтты қоректендіру көзіне жалғанған жүктемені жалғап қосу.

(a) **BF244A** – радиожиліліктерінде қолданылатын аялар;

(b) **MRF171A** жоғары жиілікті қуатты қолданатын ая;

(c) **IRF830** кернеуі 500 В -қа дейін қолданылатын құрылғылар арасын қосуға арналған транзистор.

12.14 Транзистор-күшейткіш

Транзистор-күшейткіштерін қосу үшін арналған сызбалар үш негізгі механизмге негізделген. Биполярлы транзистордың үш шықпасының біреуі кіріс және шығыс сигналдары үшін ортақ болып келеді. Қандай клеммаларымен транзистордың қай түрі жалғанса, конфигурация соған тәуелді болады. Биполярлы транзистор үшін конфигурациялар ортақ эмиттер, ортақ коллектор (немесе эмиттер қайталауы) және ортақ база түрінде кездеседі.

Өрістік транзисторлар үшін де тура осыған сәйкес конфигурациялардың сызбасымен кездесеміз, яғни ортақ-құйма, ортақ-жаппа және ортақ-бастау тізбектері деген сөз. Мұндай тізбектердің конфигурацияларының негізгі сипаттамалары *12.4-және 12.5-кестелерде* келтірілген. Осындай негізгі сызбалардың конфигурациялары *12.21, 12.22-суреттерде* келтірілген. *12.4 және 12.5-кестелерде* көрсетілген айырмашылықтар сәйкесінше болады.

12.4-кесте. Биполярлы транзистордың күшейткішінің сипаттамасы (12.21-сурет)

Параметрлер	Ортақ эмиттер	Ортақ коллектор	Ортақ база
Кернеу бойынша күшейту коэффициенті	Орташа/ жоғары (40)	Бірлік (1)	Жоғары (200)

Ток бойынша күшейту коэффициенті	Жоғары (200)	Жоғары (200)	Бірлік (1)
Қуат бойынша күшейту коэффициенті	Өте жоғары (8000)	Жоғары (200)	Жоғары (200)
Кіріс кедергісі	Орташа (2.5)	Жоғары (100 кОм)	Төмен (200 Ом)
Шығыс кедергісі	Орташа/ жоғары (20 кОм)	Төмен (100 Ом)	Жоғары (100 кОм)
Фазаның ығысуы	1800	00	00
Қосымша	Негізгі мақсат, дыбыс және радио күшейткіш	Импеданстарды сәйкестендіру, шығу, кіріс каскадтары	Радио және ультрақысқа толқындар

12.5-кесте. Өрісті транзистор күшейткішінің сипаттамасы (12.22-сурет)

Айқындауыштар	Ортақ бастау	Ортақ құйма	Ортақ жаппа
Кернеу бойынша күшейту коэффициенті	Орташа/ жоғары (40)	Бірлік (1)	Жоғары (250)
Ток бойынша күшейту коэффициенті	Өте жоғары (200 000)	Өте жоғары (200 000)	Бірлік (1)
Қуат бойынша күшейту коэффициенті	Өте жоғары (8000 000)	Өте жоғары (200 000)	Жоғары (250)
Кіріс кедергісі	Орташа/ жоғары (1 МОм)	Төмен (200 Ом)	Төмен (150 кОм)

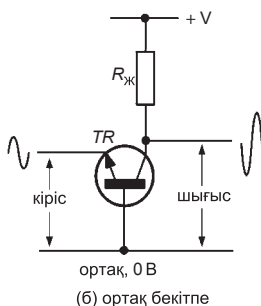
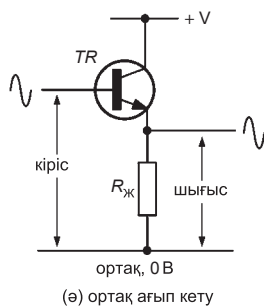
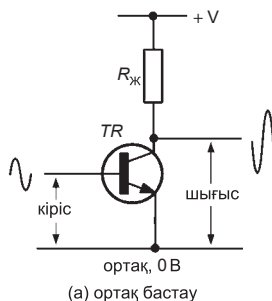
Шығыс кедергісі	Орташа/ жоғары (20 кОм)		Жоғары (150 кОм)
Фазаның ығысуы	1800	00	00
Қолдануы	Негізгі мақсат, радио және дыбыс күшейткіші	Импеданстар ды сәйкестендіру сатылары	РТ және УҚТ күшейт- кіштері

Көпшілік күшейткіштерге берілетін талаптар бойынша шығыс сигналы кіріс сигналының тура көшірмесі болуы қажет, бірақ амплитудасы бойынша шамалы болса да айырмашылығы болғаны дұрыс, атап айтқанда кіріс сигналдарымен салыстырғанда шығыс сигналдарының амплитудасы ұлғаюы қажет. Практикада күшейткіштің сызықтық дәрежесі көптеген факторларға атап айтқанда кіріс сигналының амплитудасына, фаза ығысуының мөлшеріне тәуелді. Күшейткіштің сызықтық көрсеткіші сызықтық болмауы да мүмкін. Сызықтың емес күшейту барысында кірістік сигналдар мен шығыстық сигналдардың пішіндері біріне ұқсамайтын болады. Кіріс сигналы табалдырық мәнінен асып кетпейтін болсын. Сонымен қатар күшейткіштің мәні сигналмен салыстырғанда тым көп түсіп кетсе де кіріс сигналы қатты бұзылады.

Сызықтық күшейткіштер үшін (А класты) ығысудың оптимал шамасы олардың ортаңғы нүктелеріне сәйкес сипаттамаларымен анықталады. Іс жүзінде тұрақты коллектор тогы, тіпті сигнал түспесе де ағып жататын. Коллектор тогы, тіпті кіріс сигналының толық цикл периоды бойынша ағып жататын болады (өткізгіштілік 360° бұрышқа жүреді). Транзистор бірде бір сатыда ($V_{кЭ} \approx 0 В$ немесе $V_{кЖ} \approx 0 В$) не қанығып немесе өшіріліп ($V_{кЭ} \approx V_{кК}$ немесе $V_{кЖ} \approx V_{кК}$) қалмауы керек.

Транзистордағы коллектор тогының статикалық (тұрақты) мәнін қамтамасыз ету үшін транзистордың база тогына шамалы болса да ток берілуі керек. Мұндай ток ағыны коллектор тізбегін қоректендіретін кернеуден (жүктеме коллектор арқылы) алынуы

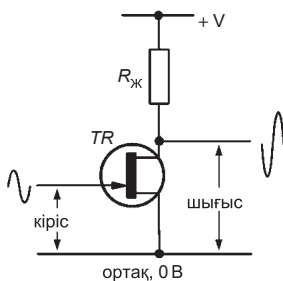
мүмкін. 12.23-суретте А-класты ортақ эмиттерлі қарапайым сызба келтірілген, R_1 базаның резисторлы ығысуы, R_2 – коллекторлы жүктемелі резистор, бұл соңғы ортақ $V_{КБат}$ коллекторлы батареяның оң кернеуімен (қоректендіру көзімен) жалғанған. Бұл ($V_{КБат}$) коллекторлы батареяның шамалы оң кернеуі ығысу



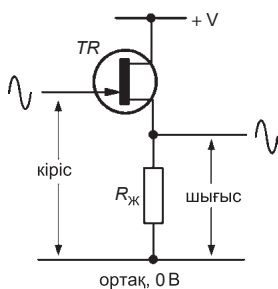
12.21-сурет

Биполярлы транзистор үшін күшейткіштер тізбектерінің конфигурациясы

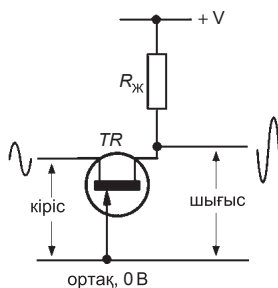
кернеуі деп аталады. Міне, осы ығысу кернеуі транзисторды жұмысқа қоса алады. Осындай мөлшері бойынша азғантай ғана ығысу кернеуінсіз эмиттерлі ауысу кірістік сигналды бұзып жіберуі мүмкін. Бөлгіш $C1$ конденсаторы транзистор базасына



(а) ортақ бекітпе



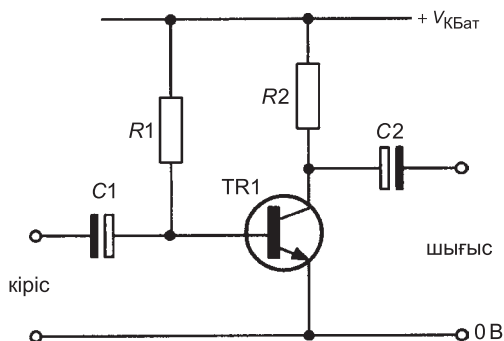
(ә) ортақ бекітпе



(б) ортақ бекітпе

12.22-сурет

Өрістік транзистор үшін күшейткіш тізбектерінің конфигурациясы



12.23-сурет

Қарапайым А класты күшейткіш

тек айнымалы сигналдарды ғана жібере алады, ал сигналдардың тұрақты құраушыларын өткізбейді.

$C2$ конденсаторы айнымалы шығыс сигналдарын өткізуге арналған. Сонымен қатар $C2$ конденсаторы айнымалы шығыс сигналының тұрақты құраушысын өткізбейді, сөйтіп $R1$ клеммасына қосылған база тогының ығысуы құрылғының кез келген түріне тәуелсіз болады.

12.15. Жүктеме сызықтары

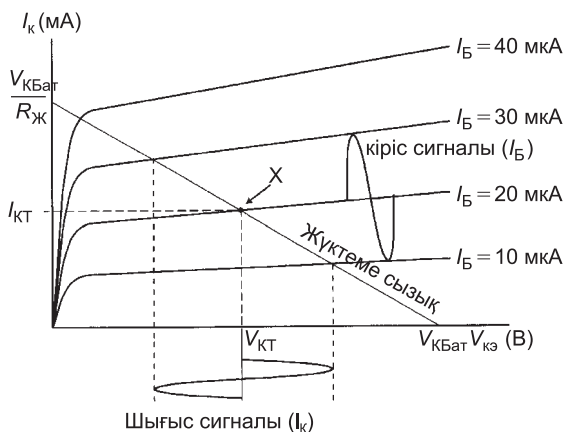
Жүктеме сызықтарды пайдалану арқылы транзистор күшейткіштерінің сипаттамалары мен шығыс сипаттамаларының сәйкес жиындарын алдын ала болжап, есептеп шығаруға болады. Ортақ эмитторлы режимде тіркелген биполярлы транзистордың сызбасын қарастырып көрейік. Ол үшін I_K коллектор тогы мен $V_{KЭ}$ коллектор-эмиттер кернеуінің тәуелділігінің вольтамперлік сипаттамасын қарастырайық. Жүктеме сызығының бір шеті $V_{KЭ}$ коллектор-эмиттер өсін $V_{КБат}$ нүктесінде қиып өтеді, ал $V_{КБат}$ дегеніміз коллектор батареясының кернеуі (қоректендіру көзінің оң кернеуі), яғни қоректендіру көзінің кернеуі болғаны; ал жүктеме сызығының екінші шеті коллектор тогы өсін $V_{KЭ} = 0 \text{ В}$ коллектор-эмиттер кернеуінің нөлге тең

мәнінде қиып өтеді, осы жағдай үшін I_K коллектор тогы формуламен анықталады:

$$I_K = \frac{V_{KBat}}{R_{Ж}}$$

мұндағы V_{KBat} – қоректендіру көзінің, яғни батареяның кернеуі, яғни коллектор батареясының кернеу шамасы, $R_{Ж}$ жүктеме кедергісі.

12.24-суретінде ортақ эмиттер сызбасына сай биполярлы транзисторының коллектор тогы мен коллектор-эмиттер кернеуінің арасындағы тәуелділік база токтарының әртүрлі шамалары үшін келтірілген. Осы суретте жүктеме сызығы көрсетілген. Жүктеме сызығындағы нұсқамамен көрсетілген нүкте тыныштық нүкте немесе жұмысшы нүкте деп аталады. Мұндай тыныштық нүкте сигнал болмаған жағдайға сәйкес. Осындай тыныштық нүкте біздің жағдайымызда 20 мкА I_B база тогының орташа мәніне тең болады. Бұл тұрақты құраушының мәні болып табылады. Егер осы тұрақты құраушыға айнымалы құраушыны қосса, онда ол жоғары қарай I_B база тогының 30 мкА шамасына дейін көтеріледі және I_B база тогының



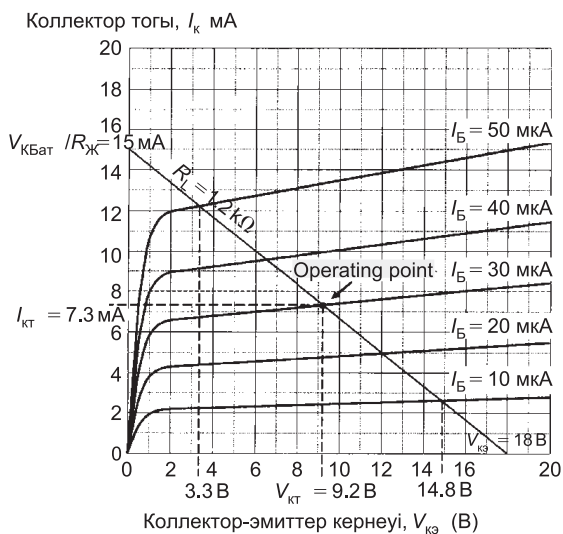
12.24-сурет

10 мкА шамасына дейін жүктеме сызығы бойынша төмен қарай түседі, яғни кіріс сигналының шамасы шыңнан шыңға дейін 20 мкА шамаға өзгереді ($30 - 10 = 20$ мкА). Жүктеме сызығы мен I_B база тогының сәйкес қисықтарының қиылысуы шығыс сигналдарының шыңнан шыңға дейінгі мәндерін бере алады. Олай болса $V_{кэ}$ шығыс кернеуінің өзгеруін коллектор тыныштық нүктесіне сай $V_{кт}$ кернеуінің максималды және минималды мәндеріне дейін, яғни шыңнан шыңға дейінгі мәндері арқылы есептеуге болады.

Осыған сәйкес коллектор сигнал тогын жүктеме сызығы бойынша жоғары немесе төмен ығысу арқылы анықтауға болады.

11-есеп. 12.25-суретте ортақ эмиттер режимінде жұмыс істейтін транзисторлар үшін сипаттамалы қисықтар келтірілген.

Транзисторлардың жұмыс істейтін база тогы $I_B = 30$ мкА, жүктеме резисторының кедергісі 1.2 кОм, қоректендіру кернеу көзі $V_{кБат} = 18$ В, олай болса анықтау керек: (а) тыныштық нүктесіне сай коллектор тогы мен коллектор кернеуін ($I_{кт}$ мен



12.25-сурет

$V_{КТ}$) (b) кіріс сигналының шыңынан-шыңына дейінгі база тогының мәні 40 мкА болуы үшін шығыс кернеуінің шыңынан-шыңына дейінгі мәнін.

(a) *12.25-суретте* ең бірінші жүктеме сызығын салу керек. Жүктеме сызықтың екі ұшын анықтаймыз: оның $V_{КБат}$ бір ұшы коллектор-эмиттер $V_{КЭ}$ кернеу өсінде жатыр және оның мәні 18 В -қа тең, ал екінші ұшы I_K коллектор-тогы өсінде жатыр және оның мәні

$$I_K = \frac{V_{КБат}}{R_{ж}} = \frac{18 \text{ В}}{1.2 \text{ кОм}} = 15 \text{ мА} \text{ тең.}$$

Осыдан кейін жұмысшы немесе *тыныштық нүктені* табамыз. Ол үшін $I_B = 30 \text{ мкА}$ база тогының сипаттамасы мен жүктеме сызығының қиылысу нүктесін табу керек. Тыныштық нүктені тапқаннан кейін оған сәйкес тыныштық шамаларын табуға болады. Сонымен сигнал түспеген жағдайда тыныштық нүктесіне сәйкес $V_{КЭ}$ коллектор эмиттер кернеуінің мәні $V_{КЭТ} = 9.2 \text{ В}$ -ті және осы нүктеге сәйкес I_K коллектор тогының мәні $I_{КТ} = 7.3 \text{ мА}$ екенін графиктен алуға болады. Енді коллектор-эмиттер кернеуінің ауқымын, яғни оның максималды және минималды мәндерін анықтауға болады, ол үшін *12.25-суретте* сәйкес нүктелерді табамыз.

(b) Енді *12.25-суреттегі* графиктен қиылысу нүктелерінен $V_{КЭ}$ коллектор эмиттер кернеуінің максималды және минималды мәндерін анықтауға болады.

База тогының максималды мәні

$$30 \text{ мкА} + 20 \text{ мкА} = 50 \text{ мкА}$$

оң сигналдар үшін және минималды мәні

$$30 \text{ мкА} - 20 \text{ мкА} = 10 \text{ мкА}$$

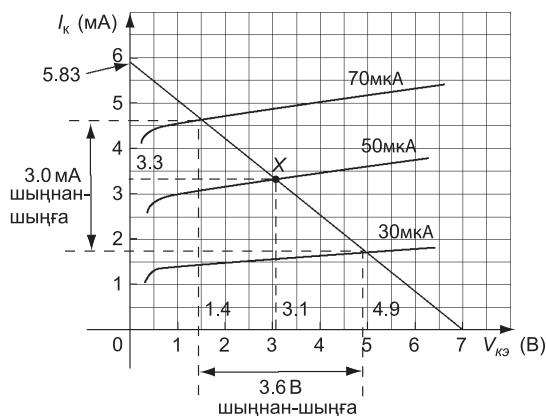
теріс сигналдың шыңдары үшін. $V_{КЭ}$ коллектор-эмиттер кернеудің максималды және минималды шамалары 14.8 В және 3.3 В сәйкесінше, Олай болса,

шығыс кернеудің ауқымы = $14.8 \text{ В} - 3.3 \text{ В} = 11.5 \text{ В}$
шыңнан шыңға дейін.

12-есеп. $n - p - n$ транзисторының сипаттамалары төменде келтірілген, кернеулер коллектор мөндерінің арасындағы тәуелділік түзу сызықты болсын.

База тоғы (мкА)	Коллектор кернеуі үшін коллектор тоғы (мА)	
	1 В	5 В
30	1.4	1.6
50	3.0	3.5
70	4.6	5.2

Транзистор жалпы эмиттерлі күшейткіш ретінде қолданылады, оның жүктеме резисторы $R_{ж} = 1.2 \text{ кОм}$ және $V_{кБат}$ коллекторлы қоректендіру көзінің кернеуі 7 В . Кіріс сигналының кедергісі 1 кОм . Егер 20 мкА кіріс тогының синусоиды орташа ығысуға қатысты шыңы 50 мкА өзгерсе, анықтау керек: (а) тыныштық (жұмысшы) нүктесіне сәйкес коллектор кернеуі мен коллектор тогын, (б) шығыс кернеуінің ауқымын, (с) кернеу бойынша



12.26-сурет

күшейту коэффициентін (d) ток бойынша күшейтудің динамикалық коэффициентін, (e) қуат бойынша күшейтудің динамикалық коэффициентін.

Транзисторлардың сипаттамалары *12.26-суретте* график түрінде берілген.

Ең бірінші есепті шығармас бұрын графикті бейнелеп, сол графикте жүктеме сызығын салуымыз керек.

Жүктеме сызығының екі ұшының біреуі коллектор-эмиттер өсіндегі $V_{кБат}$ сәйкес $7 В$ - қа, ал коллектор-ток өсіндегі екінші ұшы $7 В / 1.2 кОм = 5.83 мА$ токтың шамасына тең екенін графиктен табамыз.

(a) Тыныштық нүктесі (немесе X-жұмысшы нүктесі) база тогының $I_B = 50 мкА$ вольтамперлік сипаттамасы мен жүктеме сызығының қиылысуында орналасқан. Енді осы жұмысшы нүкте арқылы тыныштық шамаларын анықтайық: яғни сигнал жоқ кездегі коллектор-эмиттердің тыныштықтағы кернеуін $V_{кЭТ} = 3.1 В$ және тыныштықтағы коллектор токтың $I_{кТ} = 3.3 мА$ мәндерін таба аламыз.

(b) Эмиттер-коллектор тізбегіндегі шығыс сигналы кернеуінің максималды және минималды мәндері *12.26-суреттегі* тыныштық нүктеге сай токпен анықталады. Ығысу шарты бойынша оның мәні $50 мкА$. Кіріс сигналының амплитудасы $20 мкА$ болғандықтан база тогының максималды мәні $50 мкА + 20 мкА = 70 мкА$ оң сигналдар үшін және мәні минималды $50 мкА - 20 мкА = 30 мкА$ теріс сигналдың шыңдары үшін.

$V_{кЭ}$ коллектор-эмиттер кернеуінің максималды және минималды мәндері *12.26-суреттен* сәйкесінше жүктеме сызығымен коллектор-эмиттер өсінің қиылысу нүктелерінен табылады; яғни x-өсіндегі кернеудің ауқымымен анықтауға болады. Айта кету керек база тогының максималды және минималды мәндері анықталады: Сигналдың оң шектері үшін ол теріс шектері үшін $50 мкА - 20 мкА = 30 мкА$. Жүктеме сызықтарының транзи-

стор сипатамаларының қисықтарымен қиылысу нүктелері шығыс сигналдарының 3.1 В орташа шамасын береді және $V_{кэ}$ -дің максималды 4.9 В және минималды мәндері 1.4 В. Олай болса коллектор-эмиттер кернеуінің тыныштық нүктедегі шамасы $V_{кэТ} = 3.1$ В ал тыныштық нүктедегі коллектор тогының шамасы, $I_{КТ} = 3.3$ мА

**Шығыс кернеуінің ауқымы 4.9 В – 1.4 В = 3.5 В
шыңнан-шыңына дейін.**

(с) Кернеу бойынша күшейту коэффициенті = коллектор кернеуінің өсімшесі/база кернеуінің өсімшесі

(b) баптан алынған коллектор кернеуінің өсімшесі 3.5 В.

Кіріс кернеуінің ауқымы $i_b R_i$ өрнегімен анықталады: мұндағы, i_b – база тогының ауқымы: $70 - 30 = 40$ мкА R_i кіріс кедергісі 1 кОм.

Олай болса, кіріс кернеуінің ауқымы $40 \times 10^{-6} \times 1 \times 10^3 = 40$ мВ база кернеуінің өсімшесі.

Сондықтан, **кернеудің күшейту коэффициенті = коллектор кернеуінің өсімшесі/база кернеуінің өсімшесі**

$$\frac{\Delta V_K}{\Delta V_B} = \frac{3.5}{40 \times 10^{-3}} = 87.5$$

(d) Ток бойынша динамикалық күшейту коэффициенті:

$$h_{дин} = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B}.$$

12.26-суреттен I_K коллектор токтың шыңнан шыңға дейін өзгеруі $\Delta I_K = 3.0$ мА ауқымында жатады; I_B база тогының өзгеруі $\Delta I_B = 40$ мкА ауқымында жатады,

Олай болса, ток бойынша күшейту коэффициентінің динамикасы:

$$h_{дин} = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B} = \frac{3.0 \times 10^{-3}}{40 \times 10^{-6}} = 75.$$

(е) Жүктеме кедергісі үшін қуат бойынша күшейту коэффициенті анықталады: **қуат бойынша күшейту** коэффициенті кернеу бойынша күшейту коэффициенті \times ток бойынша күшейту коэффициенті $= 87.5 \times 75 = 6562.5$.

Келесі жаттығуларды орындаңыздар.

66-жаттығу. Транзисторларға арналған қосымша есептер

1. Келесі тұжырымның қайсысы дұрыс емес:
 - (a) Күшейткіш транзистор кіріс сигналының жиілігін ұлғайтады.
 - (b) Күшейткіштің күшейту коэффициенті дегеніміз шығу сигналының амплитудасының кіріс сигналының амплитудасына қатынасы;
 - (c) Транзистордың шығу сипаттамасы коллектор тогының база тогына қатынасы;
 - (d) Жүктеме резисторының мәні неғұрлым ұлғайса, соғұрлым жүктеме сызығының градиенті кішірейеді,
 - (e) Ортақ эмиттерлі күшейткіште шығыс кернеуі кіріс кернеуіне қатысты 180° -қа ығысады.
 - (f) Ортақ эмиттерлі күшейткіштерде кіріс және шығыс токтары бірдей фазада;
 - (g) Күшейткіштің ток бойынша динамикалық коэффициенті ток бойынша статикалық коэффициентімен салыстырғанда әруақытта артық.

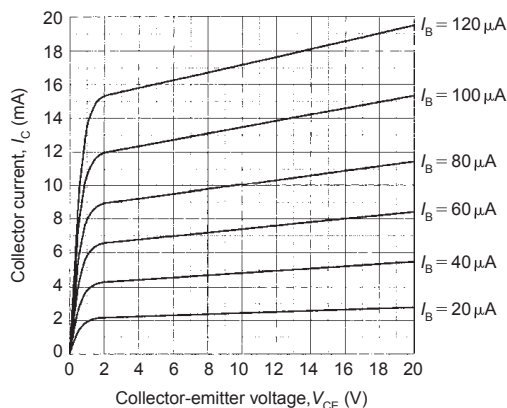
[[a) дұрыс емес (b) дұрыс (c) дұрыс емес
(d) дұрыс (e) дұрыс (f) дұрыс (g) дұрыс]
2. Қарапайым транзисторлы күшейткіш үшін келесі терминдер нені білдіреді:
 - (a) А класс, (b) қанығу, (c) өшіру, (d) тыныштық нүктесі.
3. А класты биполярлы транзистордың күшейткіші үшін қарапайым сызбаның құрамдастарының функциясын түсіндіріңіз.

4. Сурет бойынша қарпайым А класты транзисторды күшейткіштің жұмысшы нүктесін анықтау үшін жүктеме сызықтары қалай пайдаланылады?
5. Өрісті транзисторды күшейткіш ретінде қосуға болатын сызбаны келесі жағдайлар үшін салыңыз: (а) ортақ бастау конфигурациясы, (б) ортақ құйма конфигурациясы, (с) ортақ жаппа конфигурациясы. Әрбір тізбек үшін кернеу бойынша күшейту коэффициентінің мен кірісі кедергісілерінің мәндерін табыңыздар.
6. Биполярлы транзисторлар үшін шығыс сипаттамалары *12.27-суретте* келтірілген.

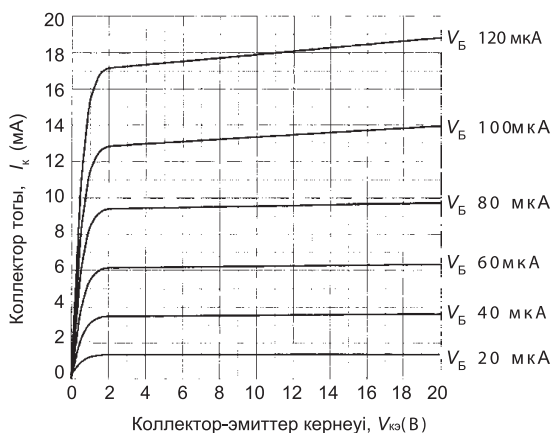
Берілген күшейткіш ортақ эмиттер тізбегінде 12 В қоректендіру көзінің кернеуі арқылы жұмыс істейді және база тогының ығысуы 60 мкА ал жүктемелі резистордың кедергісі 1 кОм болса, анықтау керек: (а) тыныштық нүктеге сай коллектор-эмиттер кернеуі мен коллектор тогын, (б) коллектордағы кернеудің шыңнан-шыңға дейінгі мәнін, егер токтың шыңнан-шыңға дейінгі 80 мкА болса.

[(а) $5\text{ В } 7\text{ мА}$ (б) 8.5 В]

7. Өрістік транзистордың шығыс сипаттамалары *12.28-суретте* келтірілген. Егер осы құрылғы қоректендіру көзінің



12.27-сурет



12.28-сурет

кернеуі 18 В күшейткіштің операциялық тізбегінде пайдаланылса және жаппа-бастау кернеуінің ығысуы 3 В , жүктеменің кедергісі 900 Ом ға тең болса, анықтаңыздар: (а) тыныштық нүктеге сәйкес құйма-бастау кернеуінің және құйма тогының мәндерін, (б) кіріс кернеуінің шыңнан-шыңға дейінгі 2 В мәніне шығыс кернеуінің шыңнан-шыңға дейінгі қандай мәні сәйкес, (с) кернеу бойынша күшейту коэффициентін.

[(a) 12.2 В , 6.1 мА (b) 5.5 В (c) 2.75]

8. Күшейткіштің ток бойынша күшейту коэффициенті 40 және кернеу бойынша күшейту коэффициенті 30 . Қуат бойынша күшейту коэффициентін табыңыз.

[1200]

9. Транзистордың ортақ эмиттер режиміндегі конфигурациясының шығыс сипаттамалары келесі нүктелер арқылы түзу сызықты деп қарастырылса, сонда

I_B	20 μ кА	50 μ кА	80 μ кА			
$V_{кэ}$ (V)	1.0	8.0	1.0	8.0	1.0	8.0
I_k (мкА)	1.2	1.4	3.4	4.2	6.1	8.1

10. Осы транзистор үшін кестеде берілген деректер бойынша вольтамперлік сипаттаманы салыңыздар, сонан кейін сипаттама қисықтарымен жүктеме сызықтарын бір-біріне қатарластырып, қиылысу нүктелерін табыңыздар. Жүктеме сызығы кедергісі 1.2 кОм жүктеме үшін салынған, тұрақты ток қоректендіру көзінің кернеуі 9 В ал база тогының ығысуы 50 мкА . Кіріс сигналының кедергісі 800 Ом . Шығыс тогының шыңы $\varphi \text{ мкА}$ синусоидты орташа ығысумен салыстырғанда 50 мкА өзгерсе, мыналарды анықтау керек: (а) коллектор кернеуі ($V_{КТ}$ мен $I_{КТ}$) мен коллектор тогының тыныштық нүктесіне сәйкес шамасын, (b) шығыс кернеуінің ауқымын, (с) кернеу бойынша күшейту коэффициентін, (d) ток бойынша динамикалық күшейту коэффициентін, (е) қуат бойынша күшейту коэффициентін.

[(a) 5.2 В , 3.7 мА (b) 5.1 В (c) 106
(d) 87 (e) 9222]

67-жаттығу. Транзисторларға арналған қысқаша сұрақтар

1. $p - n - p$ транзисторында p -типті материал ... деп аталады және n -типті материалдың аймағы ... деп аталады.
2. $p - n - p$ транзисторында p -типті материал ... деп аталады және n -типті материалдың аймағы ... деп аталады.
3. $p - n - p$ транзисторда база эмиттер ... болады, ал база коллектор дегеніміз...
4. $p - n - p$ транзисторында коллекторлық өткел дегеніміз база коллектор ауысуы... дегеніміз, ал эмиттерлік ауысу дегеніміз.
5. Транзистердің эмиттерінде негізгі тасымалдаушы база аймағына ауысады. Олардың көбі рекомбинацияланбайды (өзгермейді), себебі ... база қоспаланған.
6. Транзистордың эмиттер аймағындағы тасымалдаушылар негізгі база коллектор өткелі арқылы ауысуы, содан кейін ... ығысады.
7. Әдеттегі ток ағынының бағыты ...

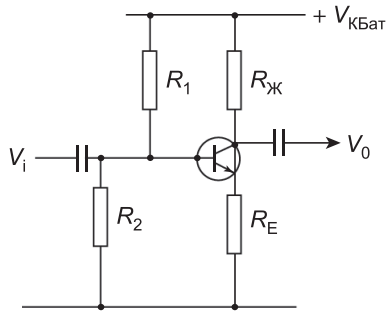
8. $n - p - n$ транзисторында ток ағынының кемуі... дан... дейін болады.
9. Транзистор үшін I_B мен $V_{BЭ}$ кіріс сипаттамасы формула бойынша жалпы эмиттер конфигурациясындай, олай болса...
10. Транзистордың кіріс сипаттамасы, статикалық кіріс... динамикалық кіріс кедергісі...
11. Транзистордың шығу сипаттамалары ... статикалық шығу кедергісі... динамикалық шығу кедергісі
12. Транзистордың табыстау сипаттамасы статикалық ток бойынша күшейту коэффициенті...
13. Транзистордың күшейткішіне сәйкес дәл келетін тұжырымдарды орындаңыздар: (а) база коллекторының ұлғаюының себебі... (b) база тогы ұлғайғанда, резистор жүктемесінде кернеудің түсуі, (с) ... (d) жүктеме сызығының градиенті қандай, (f) жүктеме сызығының градиенті қандай шамаларға тәуелді, (е) жүктеме сызығының орны ... тәуелді, (g) жалпы эмиттерлі күшейткіштің ток бойынша күшейту коэффициенті үлкен әр уақытта... (h) тыныштық нүктелер жүктеме сызықтың қандай жерінде орналасқан?
14. Диаграмма арқылы түсіндіріңіз: өрістік транзисторының жазық құрылымын. Өрістік транзисторының биполярлы транзисторымен салыстырғандағы артықшылығы қандай?
15. Әлсіз сигнал үшін өзара және шығыс сипаттамаларын салыңыздар, Шам үшін биполярлы транзисторларды қолданғанда қандай қоректендіру режимі істейді?
16. Транзисторлы күшейткіштерді қолданатын тізбектерді салыңыздар.
17. Өрістік транзисторын қолданатын үш түрлі тізбектерін атаңыздар.
18. Жалпы эмиттер режимінде істейтін күшейткіш транзистор болып істей алатын сызбаны салыңыз. Диаграмма келтірілген барлық компоненттерін түсіндіріңіз.

19. Айнымалы транзисторлы күшейткішті алдын ала болжау үшін жүктеме сызықтарын қалай пайдалануға болады?
20. Жүктеме сызықтарындағы жұмысшы нүктесі немесе тыныштық шамасы деген не?

68-жаттығу. Транзисторлар бойынша тест сұрақтары
1-ден 10-сұраққа дейінгі дұрыс жауапты таңдаңыздар.

1. $p - n - p$ транзистор жұмыс істегенде оның түйіскен жеріндегі ауысулар:
- (a) тура қарай ығысады,
 - (b) база-эмиттер тура қарай, база коллектор кері бағытта ығысады,
 - (c) кері бағытта,
 - (d) база коллектор тура, ал база эмиттер кері бағытта ығысады.
2. Транзистордың түйіскен жері дұрыс жұмыс істесе $p - n - p$ транзисторында ауысу:
- (a) алға ығысады,
 - (b) база эмиттер алға, база-коллектор кері,
 - (c) екеуі де бір бағытта,
 - (d) база-коллектор алға, база-эмиттер кері.
3. $p - n - p$ транзисторында база эмиттер өткелінен ағатын ток:
- (a) электрондар арқылы,
 - (b) кемтіктер мен электрондардың бірдей мөлшері мен,
 - (c) кемтіктер арқылы,
 - (d) токтың кемуімен.
4. $n - p - n$ транзисторында база эмиттер өткелінен ағатын ток:
- (a) электрондар арқылы,
 - (b) кемтіктер мен электрондардың бірдей мөлшері мен,
 - (c) кемтіктер арқылы,
 - (d) токтың кемуімен.
5. Ортақ база конфигурациясымен жалғанған $p - n - p$ тектес транзисторы қалыпты режимінде
- (a) базамен салыстырғанда эмиттер потенциалы төмен,

- (b) базамен салыстырғанда коллектор потенциалы төмен,
(c) эмиттермен салыстырғанда база потенциалы төмен,
(d) эмиттермен салыстырғанда коллектор потенциалы төмен.
6. Транзистор қалыпты жағдайда жұмыс істейді, сонда ол ортақ база конфигурациясына жалғанғанда:
- (a) базамен салыстырғанда эмиттер потенциалы төмендеу
(b) базамен салыстырғанда коллектор потенциалы жоғарылау
(c) эмиттерге қарағанда база потенциалы жоғары
(d) эмиттерге қарағанда коллектор потенциалы төмендеу.
7. эмиттерді қалдырып отыратын электрондар коллекторға өтсін, мәні $0.9 V$. $p - n - p$ транзисторының коллекторына сәйкес эмиттор тогы 4 мкА , онда
- (a) база тогы 4.4 мА құрайды,
(b) коллектор тогы 3.6 мА құрайды,
(c) коллектор тогы 4.4 мА құрайды,
(d) база тогы 3.6 мА құрайды.
8. $p - n - p$ транзистордың база аймағы дегеніміз:
- (a) кемтіктермен өте күшті қоспаланған өте жіңішке аймақ
(b) электрондармен өте күшті қоспаланған өте жіңішке аймақ
(c) кемтіктермен өте нашар әлсіз қоспаланған өте жіңішке аймақ
(d) электрондармен өте әлсіз қоспаланған өте жіңішке аймақ.
9. Қалыпты режим жұмысында $p - n - p$ кремний транзисторының база эмиттер өткелінде кернеудің түсуі тең:
- (a) 200 мВ
(b) 600 мВ
(c) 0
(d) 4.4 В .
10. $p - n - p$ транзистор үшін:
- (a) база-эмиттер өткеліндегі негізгі тасымалдаушылар саны коллектордағы кернеуге тәуелді
(b) ортақ-база конфигурациясында коллектор тогы коллектор-базадағы кернеуге пропорционал



12.29-сурет

(с) ортақ-эмиттер конфигурациясындағы база тогы ортақ база конфигурациясындағы база тогынан кіші.

(d) коллектор тогы эмиттер ток ағынына берілген коллектор-база кернеуінің шамасына тәуелсіз.

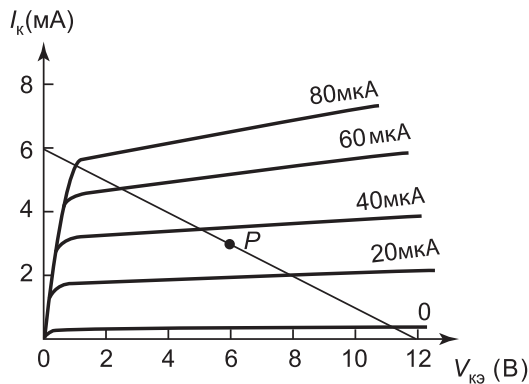
11–15-ке дейінгі сұрақтарда 12.29-суретте көрсетілген күшейткішке арналған дұрыс жауаптарды таңдап алыңыз.

11. Егер $R_{ж}$ қысқа тұйықталған болса:

- (a) Күшейткіштің шығыс сигналы 0-ге дейін түседі
- (b) Коллектор тогы 0-ге дейін түседі
- (c) Транзистор асыра жүктеледі.

Егер R_2 ажыратылған болса:

- (a) Сигналдың шығу күшейткіші нөлге дейін төмендейді
- (b) Жұмысшы нүкте әсерін тигізіп, сигнал бұзылады



12.30-сурет

- (с) Кіріс сигналы базаға қолданылмайды
12. R_E үшін вольтметрдің көрсеткіші 0-ді көрсетеді, олай болса
- (а) транзистордың эмиттер өткелі қысқа тұйықталған
 - (б) $R_{ж}$ – ажыратылған
 - (с) R_2 – қысқа тұйықталған
- $R_{ж}$ үшін вольтметрдің көрсеткіші нөл, олай болса
- (а) $V_{кБаm}$ – қоректендіру көзінің батарея жазық
 - (б) транзистордың база-коллектор өткелі ажыратылған тізбекпен қосылған
 - (с) $R_{ж}$ – ажыратылған тізбек
13. Егер R_E қысқа тұйықталса:
- (а) жүктеме сызықтарына әсер бермейді
 - (б) жүктеме сызықтарына әсер беріледі
- 16-20 сұрақтар үшін *12.30-сурет* арқылы шығыс сипаттамаларына дұрыс жауаптарды таңдап алыңыздар.
14. Жүктеме сызықтарына сәйкес жүктеме резистордың кедергісі қандай?
- (а) 1 $кОм$
 - (б) 2 $кОм$
 - (с) 3 $кОм$
 - (д) 0.5 $кОм$
15. Белгіленген жұмысшы нүкте P үшін коллекторды шашырау сигналының болмауы нені білдіреді?
- (а) 12 $мВт$
 - (б) 15 $мВт$
 - (с) 18 $мВт$
 - (д) 21 $мВт$
16. Ең рұқсат етілген кіріс тогының шегі мынаған тең:
- (а) 30 $мкА$
 - (б) 35 $мкА$
 - (с) 60 $мкА$
 - (д) 80 $мкА$

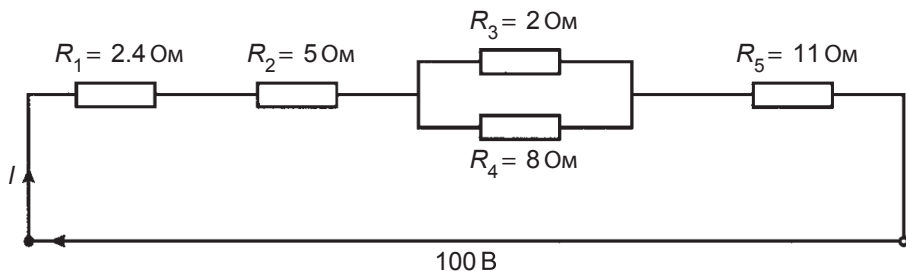
17. Шығу кернеуінің шыңы үшін ең рұқсат етілген шегі мынаған тең:
- (a) 5.2 В
 - (b) 6.5 В
 - (c) 8.8 В
 - (d) 13 В

3-тексеру тесті

Бұл тест 8 – 12-тараудың материалдарын меңгеруге арналған. *Әрбір сұрақтың бағасы төменде келтірілген.*

1. Өткізгіштің ұзындығы 25 см магнит өрісіне тік бұрышпен орналасқан. Магнит өрңсінің кернеулігін табыңыз. Егер өткізгіштегі 12 А ток 4.5 Н күшпен магнит өрісіне әсер етсе. (3)
2. Телевизор түтігінде электрондардың заряды 1.5×10^{-19} Кл. Жылдамдығы 3×10^7 м/с электрон тығыздылығы 20 мкТл өріс ағынына перпендикуляр қозғалады. Өрісте электронға әсер ете алатын күшті есептеңіздер. (3)
3. Жүк машинасының жылдамдығы 100 км/сағ. Айталық, Жердің магнит өрісінің вертикаль құраушысы 40 мкТл болсын және жүк машиналарының артқы өсінің ұзындығы 1.98 м, сонда қозғалыс барысында өсте пайда болған э.қ.к. табу керек. (4)
4. 5 мс ішінде ток 2 А - ден 0-ге дейін түскенде орамадағы 2.5 кВ э.қ.к. туады. Орамның индуктивтілігін табыңыз. (4)
5. Екі орамның өзара индуктивтілігі 100 мН. Р орамадағы ток 3 А 20 с ішінде кері қимылдағанда анықтау керек: (a) Q орамдағы индукцияланған орташа э.қ.к-ін, (b) 200 шумағы бар Q орамындағы ағын өзгерісін табыңыз. (5)

6. Жылжымалы орамы бар құрылғы аспап толық шкаланы береді, егер токтың шамасы 50 mA және кедергісі 40 Ом болса, осы аспапты келесі себептермен қолдану үшін оның кедергісі қандай болуы керек. (а) 5 амперметр ретінде, (б) $0 - 200 \text{ В}$ вольтметр ретінде, (с) әрбір аспап үшін байланыс режимін тұжырымдаңыздар. (8)
7. Күшейткіштің күшейтуі 20 Дб тең, оның кіріс қуаты 5 мВ . Шығыс қуатын есептеңіз. (3)
8. Осциллографтың экранында кернеудің синусоид ізі бейнеленген. Ол *РТЗ.1* -суретте келтірілген. Уақыттың көрсеткіші 50 мс , ал V / c көрсеткіші 2 В / см мәнді көрсетеді. Сигнал үшін анықтау керек: (а) жиілікті, (б) шыңнан шыңға дейінгі кернеуді, (с) амплитуданы, (е) орташа квадраттық мәнді. (7)
9. $p - n$ ауысуы арқылы келесі жағдайларды түсіндіріңіздер: (а) негізгі тасымалдаушыларды; (б) потенциалдардың потенциал айырымын, (с) кез келген қабатты, (д) тура ығысуды; (е) кері ығысуды. (10)
10. Келесі құрылғыларға қысқаша түсініктеме беріңіздер, сызбаларын және таңбаларын келтіріңіздер: (а) Зенер диоды,



РТ 3.1-сурет

(b) басқарылатын түзеткіші, (c) жарық диоды, (d) Варактор диоды, (e) Шоттки диоды.

(20)

10.2 Варактор диодында тәжірибе жасағанда келесі деректер алынды: варактор үшін кернеуге байланысты сыйымдылықтың өзгеру графигін салыңыздар.

Кернеу B	5	20	15	20	25
Сыйымдылық, $n\Phi$	42	28	18	12	8

Әрбір координат өсін атап, графикті келесі параметрлерді анықтау үшін пайдаланыңыздар: (a) -17.5 В кері кернеу үшін сыйымдылықты, (b) 35 $n\Phi$ сыйымдылықтың мәніне сәйкес кері кернеуді, (c) кернеу 2.5 В – 22.5 В -қа дейін өзгергендегі сыйымдылықтың өзгерісін.

(8)

11. $n - p - n$ транзисторының жұмыс істеу принципін диаграмма-сурет арқылы түсіндіріңіз.

(7)

12. Ортақ эмиттер сызбасы бойынша қосылған транзистордың шығыс сипаттамалары төменде келтірілген. Коллектор кернеулерінің арасындағы мәндер сызықтық сипаттама берсін делік сонда, график сипаттамасын салыңыздар:

	$I_B = 10$ мкА	40 мкА	70 мкА			
$V_{кэ} (В)$	1.0	7.0	1.0	7.0	1.0	7.0
$I_{к} (мА)$	0.6	0.7	2.5	2.9	4.6	5.35

Жүктеме сызығының кедергісі 1.5 кОм, коллектор қоректендіру көзінің кернеуі 8 В үшін сипаттамалық қисықпен сол қисықта жүктеме сызығын салу. Кіріс сигналының кедергісі 1.2 кОм, 40 мкА орташа ығысуымен салыстырғанда шыңы 30 мкА кіріс тогы синусоидты өзгергенде табу керек: (a)

тыныштық нүктесіне сай коллектор кернеуі мен тогын, (b) шығыс кернеуінің ауқымын, (c) кернеу бойынша күшейту коэффициентін, (d) ток бойынша динамикалық күшейту коэффициентін, (e) қуат бойынша күшейту коэффициентін.

(18)

Тест сұрақтарына дұрыс жауапты таңдау

1-тарау. 4-жаттығу

- 1 (c) 4 (a) 7 (b) 9 (d) 11 (b)
2 (d) 5 (c) 8 (c) 10 (a) 12 (d)
3 (c) 6 (b)

2-тарау. 10-жаттығу

- 1 (b) 4 (b) 7 (b) 10 (c) 12 (d)
2 (b) 5 (d) 8 (c) 11 (c) 13 (a)
3 (c) 6 (d) 9 (b)

3-тарау. 15-жаттығу

- 1 (c) 3 (b) 5 (d) 7 (b) 9 (d)
2 (d) 4 (d) 6 (c) 8 (c)

4-тарау. 18-жаттығу

- 1 (d) 4 (c) 7 (d) 10 (d) 12 (a)
2 (a) 5 (b) 8 (b) 11 (c) 13 (c)
3 (b) 6 (d) 9 (c)

5-тарау. 25-жаттығу

- 1 (a) 4 (c) 7 (b) 9 (b) 11 (d)
2 (a) 5 (c) 8 (d) 10 (c) 12 (d)
3 (c) 6 (a)

6-тарау. 32-жаттығу

- 1 (b) 4 (c) 6 (b) 8 (a) 10 (c)
2 (a) 5 (a) 7 (b) 9 (c) 11 (d)
3 (b)

7-тарау. 38-жаттығу

- 1 (d) 5 (c) 8 (c) 11 (a) және (d), 12 (a)
- 2 (b) 6 (d) 9 (c) (b) және (f), 13 (a)
- 3 (b) 7 (a) 10 (c) (c) және (e)
- 4 (c)

8-тарау. 42-жаттығу

- 1 (d) 3 (d) 5 (b) 7 (d) 9 (a)
- 2 (c) 4 (a) 6 (c) 8 (a) 10 (b)

9-тарау. 50-жаттығу

- 1 (c) 4 (b) 7 (c) 9 (c) 11 (a)
- 2 (b) 5 (c) 8 (d) 10 (a) 12 (b)
- 3 (c) 6 (a)

10-тарау. 60-жаттығу

- 1 (d) 7 (c) 13 (b) 19 (d)
- 2 (a) және (c) 8 (a) 14 (p) 20 (a)
- 3 (b) 9 (i) 15 (d) 21 (d)
- 4 (b) 10 (j) 16 (o) 22 (c)
- 5 (c) 11 (g) 17 (n) 23 (a)
- 6 (f) 12 (c) 18 (b)

11-тарау. 64-жаттығу

- 1 (c) 3 (d) 5 (b) 7 (c) 9 (a)
- 2 (a) 4 (c) 6 (b) 8 (d) 10 (b)

12-тарау. 68-жаттығу

- 1 (b) 5 (a) 9 (b) 13 (b) 17 (c)
- 2 (b) 6 (d) 10 (c) 14 (b) 18 (b)
- 3 (c) 7 (b) 11 (a) 15 (b) 19 (a)
- 4 (a) 8 (d) 12 (b) 16 (b) 20 (b)

Пәндік көрсеткіш

В-Н қисығы - (индукция бойымен) магниттелу қисық	80
L-R тізбегі, ұлғаю	28, 50, 159
Абсолюттікмагниттік өтімділік	80
Айнымалы кернеу мен тоқ	209
Айнымалы тоқ көшірлері	136
Активті фильтр	266
Акцептор тізбегі	238
Алюминий	145
Амперметр	11, 116
Амплитуда	123, 169
Аналогты құрылғылар	115
Анод	31, 150
Артықшылық	242
Ассиметриялық желілер	266
Атомдар	11, 144
Аудиожиліктүрлендіргіші	321
Автотрансформатор	349
Автотрансформатор	356
Ағып кету тогы	425
Айналдырушы момен	451
Айналу жиілікті реттеу	285
Айнымалы ток	81, 158, 194, 219, 280
Айнымалы тоқ тізбегінің сиымдылығы	228
Айрылу, жоғалту	326, 366
Амортизация; демпирлеу; түрткілерді жұмсарту;	115
Аралас қозбалы генератор, компаунд генераторы	365
Аралас қоздырудың электр қозғалтқышы, компаунд	378
Арматура, темір арқау	231, 359
Асинхронды қозғалтқыш	11, 12, 397

Ауа жапқышты еңкейту	108
Ауа конденсаторы	186, 191, 193, 397
Ауыстырып қосу, коммутация, үзу; өшіру	333
Ауытқу, орнынан алу	38, 71, 251, 281, 341
Байланыс жүйесі	10, 359
Баламалы қуат көздері	200
Бастау	266
Басылу, өшу, сөну	255
Батареялар	30, 33, 38
Батареяларды орналастыру	78
Бекітпе	425
Би полярлық жазықтық транзистор,	157, 158, 160
Бор (хим. элемент)	145
Бөлу, бөліну	48
Буферлік күшейткіш	302
Бұрау моменті; айналдырушы момен	305
Бұрау моменті мен жылдамдықтың сипаттамалары	441
Бұрау моментінің теңдеуі	442
Бұрғылау ұңғымасының тазартуы үшін желон (кетік)	441
Бұрыштық жылдамдық	230
Галлий арсениді	357
Гальванометр	250
Генератор	362
Генератор үзілу сипаттамасы	242
Генератор, энергия көзі	209, 253
Генри	221, 261
Геотермалдық энергия	102
Германий	352, 353
Гистерезис	195, 217, 287
Дауыс зорайтқыш	32

Дельта/жұлдыз салыстыру	330
Децибел	131
Джоуль	19
Динамикалық кедергі	398
Диодтың сипаттамасы	366
Дифференциалдық күшейткіш	296, 303
Диффузия	140
Диэлектрик	63, 65
Диэлектрлік өтімділік	64
Еселі бірліктер	40
Жадты осциллограф	317
Жапқыш немесе жұқарланған қабат	148
Жартылай өткізгіш материалдардың өткізу қабілеті	145
Жарық диодтары	375, 377
Жергілікті әрекет	111
Жерге тұйықтау	149
Жолақтық сүзгі	274
Жуықтама қуаты	242, 247
Жұмысшы нүкте	419
Жылыстау тоғы	389, 390
Зарядтау	4, 11, 63 278
Изолятор, диэлектрик	31, 44, 61, 65, 166, 168, 171, 183, 353
Импеданс, толық кедергі	412,
Индий	357, 358, 359, 342
Индий арсениті	357
Индуктивтілік	266
Индуктор, индукциялық орам	264, 269
Индукцияланған э.қ.к.	249, 252, 254
Интегралды сызба	32, 377, 407

Ион	80, 98, 102
Калибрлеудің дәлдігі	138
Камераның тұтануы	285
Катод	150
Кедергінің өлшеуіші, Омметр	31, 38, 280, 291
Керамикалық конденсатор	74
Кернеу ойығы	111
Кернеулік	56
Керннің <i>(скважинадан алынған таужыныс үлгісі)</i> шығымы	266
Кешігу бұрышы	215
Ковалентті байланыс	145
Коммутация, коммутациялану, ауыстырып қосу	333
Компонент, құрамдас бөлік; құрама элемент; ингредиент,	359
Конденсатор	61, 63
Конденсаторды разрядтау	102, 443
Конденсаторларды зарядтау	300
Контактілі (түйіспелі) потенциалдар айырымы	146, 147
Коррозия - тот басу; шірітіп жіберу; тотығу, тат	32
Коэрцитивтік күш	87
Конструкция; құрылыс; түзіліс; үйлесім	359
Көбею; ұлғайту еселік	256
Көміртекті резистор	21
Көпір	136
Көрме	282
Көшкіндік тасқыны	151
Кулон	4, 11, 13 63
Кулон заңы	62
Күрделі толқындар	130
Күш, интенсивтілік, қарқындылық	72
Күшәла	145
Күшейткіш, транзистор	168

Күшейткіштің күшейту коэффициенті	285
Қатені өлшеу	81, 281
Қиылу жиілігі	301, 256
Қозғалтқыш	370
Қозғалтқышты салқындату	443
Қозғалтқыштың кумулятивті құрылысы	374
Қозғалтқыштың тұрақты шамасы	368
Қоңырау құрылғысы	230
Қорғасын	215
Қорғасын-қышқыл батареялар	215
Қос полярлық транзистордың сипаттамасы	164
Қосқыш, іске қосқыш құрылғы	320
Қосымша энергия	75
Қуат	247,
Қуат, энергия	17, 47, 328, 374
Қуатты беру теоремасы	45, 443
Құйынды тоқтың жоғалуы	243, 282
Қысқа тұйықталған роторлы қозғалтқыш	396
Лездік эффект	376
Ленц заңы	252, 256, 261, 275, 278
Лечланч элементі	91, 92, 104
Литий ионды батарея	80, 98, 108, 106, 448
Логарифмдік қатынас	325, 328, 330
Магнит ағыны	196, 219
Магнит қозғаушы күш м.қ.к.	199
Магниттік тізбектің композиттік топтамасы	82
Марганец батареясы	79, 96, 107, 219
Масштаб	282
Мәжбір ету, таңу	99
Мультиметр, тестер	31, 81, 381

Негізгі емес тасымалдаушы	361, 365
Никель -кадмий батареясы	92, 94
Никель-металл батареясы	92
Никель-темір аккумуляторы	94
Никель-феррум элементі, Эдисон элементі	94
Ом заңы	40
Омметр	38, 280
Орамның қосылуы	360
Орташа мән	211
Осциллограф	303
Отын элементтер	100, 108
Отын, жанармай	38
Өлшеуіш аспаптар	54, 280, 287, 292, 346
Өріс транзисторы	406, 408
Өткізгіш	11, 15, 143
Өткізгіштерде индукцияланған өткізу жолағы	241, 296
Өткізу қабілеті	6
Өістің кернеулігі	166, 204
Паралель пластинкалар	66
Параллель және тізбекті	64
Периодты түзеткіш	371
Радиоүдеткіш	170
Разрядтау	283
Реакция, әсерлестік	360
Режектор (жолақ бөгеуші) сүзбе	275
Резонанс	256
Реттеу, тәртіптеу	198
Ротор	390

Сигналдардың құрамдастырымы	213
Символдардың сұлбалары	10
Синфазалық сигналдарды әлсіретудің қатынасы	297
Сипаттамалар, транзистор	161
Сипаттамалық кедергі	267
Сипаттама	161
Сипаттама, тән, типті, бір үлгідегі,	362
Сиымдылық	38
Сиымдылықтық кедергі	227
Смметриялық сұлба, теңдеуіш сұлба	267
Сүзгіш	11, 158, 190
Сүрме	145
Сызықтық құрылғылар	31
Сілтілік батарея	31
Тасқын	102
Тип, түр	370
Ток аударғыш (<i>токты басқа бағытқа аударатын тетік</i>)	360
Ток өткізетін өткізгіш	244
Токтың әсері	261
Тоқ	11
Тоқ бойынша күшейту, транзистор	165
Толық кедергіні жобалау	136
Трансформатор	11, 51, 219, 271, 349
Трансформатор	356
Трансформатор теңдеуі	448
Трансформатор үшін) мыстағы шығындар ; орамдағы шығымдар	366
Трансформатордың салқындауы	341
Трансформатордың негізгі түрі	341
Туынды өлшем бірлігі	18
Тұйықталған контурды күшейту	298

Тұрақты ток	11, 24, 245, 337
Тұрақты ток қозғалтқышы	225, 241, 245,
Тұрақты ток құрылғылары	278
Тұрақты ток потенциометрі	165, 135
Тұрақты ток тізбегі	27
Тұрақты тоқ көзі	147
Тұрақты тоқ машинасы	356
Тұрақты тоқ тізбегінің теориясы	183, 190
Тұрақты тоқты қозғалтқыш	97, 359, 368
Түзеткіш	200
Түс бойынша резисторларды кодтау	26
Тығыздылық	64
Тізбек	288
Уитстон көпірі	502
Ұяшық,	33
Ұяшықтың сиымдылығы	38
Үдеткіш	170, 442, 443, 446
Үзікке тексеріс үшін тексеруші тестер (тізбек)	12, 119 -
Үшбұрыштап қосу	318, 321
Үшфазалы жүйелер	330
Фазалық роторлы асинхронды қозғалтқыш	397
Фарада	161, 168, 170, 182, 223
Фарадей заңы	252, 253, 275, 279
Феррит	219
Флемингтің оң қол ережесі	249, 252, 256, 275
Флемингтің сол қол ережесі	225, 236, 240, 243, 278
Цикл	210
Цифрлік өзгерту	124, 307

Шама, мағына	211
Шашырау	159
Шкала	243, 281, 285
Шығын	47, 53, 101, 186, 195, 218, 252
Щетка контактысы	367
Э.қ.к.	560
Экран	284
Электр және магниттік материалдарды салыстыру	87
Электр қозғалтқышы	50, 441
Электр қуаты	31
Электр қуатының химиялық әсері	18
Электрқабылдағыш, ток қабылдағыш	158
Электрлік сымдылық	63
Электрмагнетизм	149
Электрмагниттер	52
Электрмагниттік жүйе	23, 56
Электрмагниттік индукция	86
Электрмагниттік индукцияның заңдары	45
Электродар	68, 299
Электродтар	80, 100, 102, 384
Электролиз	346
Электролит	396
Электролиттік конденсатор	356
Электрондық құралдар	400
Электрстатикалық өріс	189
Электрхимиялық қатар	234
Элемент, ұяшық	370
Эмиттер, сәулелену көзі	430
Эффект, әсер	148
Эффективтілік, өнімділік	378

Эффективтілік, өнімділік

390

Ядро

53, 89

Джон Бёрд

**ЭЛЕКТР ЖӘНЕ ЭЛЕКТРОНИКА
НЕГІЗДЕРІ МЕН ТЕХНОЛОГИЯСЫ
1-бөлім**

Оқулық

Басуға қол қойылған күні 27.12.2013 ж.

Қағазы офсеттік. Қаріп түрі «Times».

Пішімі 60 × 90^{1/16}. Шартты баспа табағы 29,25.

Таралымы: мемлекеттік тапсырыс бойынша – 688 дана
+ баспа есебінен – 12 дана. Тапсырыс №

Тапсырыс берушінің дайын файлдарынан

Қазақстан Республикасы

«Полиграфкомбинат» ЖШС-нде басылды.

050002, Алматы қаласы, М. Мақатаев көшесі, 41.