

**С.А.БОГОМОЛОВ**

# **ЭЛЕКТРОНИКА ЖӘНЕ ЦИФРЛЫҚ СХЕМАТЕХНИКА НЕГІЗДЕРІ**

## **Оқулық**

«Білім беруді дамытудың федералдық институты»  
федералды мемлекеттік автономдық мекемесі («БДФИ»  
ФМAM) бастауыш кәсіптік білім беру бағдарламаларын  
іске асыратын білім беру мекемелерінің оқу үдерісінде  
пайдалану үшін оқулық ретінде  
ұсынған

«БДФИ» ФМAM рецензиясының тіркеу нөмері 314  
08 шілде 2013ж.

3-басылым, стереотипті



Мәскеу

«Академия» баспа орталығы

2013

ӘОЖ 621.38(075.32)

КБЖ 32.85ші722

Б744

Бұл кітап Қазақстан Республикасының Білім және ғылым министрлігі және «Кәсіпқор» холдингі» КЕАҚ арасында жасалған шартқа сәйкес ««ГЖКБ жүйесі үшін шетел әдебиетін сатып алуды және аударуды ұйымдастыру жөніндегі қызметтер» мемлекеттік тапсырмасын орындау аясында қазақ тіліне аударылды.

Аталған кітаптың орыс тіліндегі нұсқасы Ресей Федерациясының білім беру үдерісіне қойылатын талаптардың ескерілуімен жасалды.

Қазақстан Республикасының техникалық және кәсіптік білім беру жүйесіндегі білім беру ұйымдарының осы жағдайды ескеруі және оқу үдерісінде мазмұнды бөлімді (технология, материалдар және қажетті ақпарат) қолдануы қажет.

Аударманы «Delta Consulting Group» ЖШС жүзеге асырды, заңды мекенжайы: Астана қ., Иманов көш., 19,

«Алма-Ата» БО, 809С, телефоны: 8 (7172) 78 79 29, эл. поштасы: info@dcg.kz

Рецензент —

«№17 Сәулет және құрылыстағы менеджмент колледжі» ОКБ МБЖБМ жоғары санатты арнайы пәндер оқытушысы, Мәскеу қ-сы

*А. В. Курилова*

**Богомолов С. А.**

Б744 Электроника және цифрлық схематехника негіздері: баст.кәсіптік білім беру мекемелерінің студ. арналған оқулық / С. А. Богомолов. — 3-басылым, стер. — М.: «Академия» баспа орталығы, 2016. — 208 б.

ISBN 978-601-333-371-7 (каз.)

ISBN 978-5-4468-3298-9 (рус.)

Оқулық «Цифрлық ақпаратты өңдеу жөніндегі шебер» мамандығының «Электроника және цифрлық схематехника негіздері» ББ.03 бойынша орта кәсіптік білім берудің Федералдық мемлекеттік білім беру стандартына сай құрастырылған.

Радиоэлементтердің жіктелімі берілген. Радиоэлементтердің қолданылу саласы мен олардың сипаттамалары көрсетілген. Жартылай өткізгіш сақтау құрылғыларының сипаттамасы берілген. Аналогты-цифрлық және цифрлық-аналогты түрлендіргіштердің принципі, НЕМЕСЕ-ЕМЕС, ЖӘНЕ-ЕМЕС базисіндегі цифрлық құрылғылардың синтезі мен олардың аппараттық іске асырылуы мазмұндалған. Құрылғылардың принципі схемалары қарастырылған. Олардың Місго-Сар бағдарламасында үлгіленуі, сигнал көзі параметрлерін, уақытша зерттеу параметрлерін, жиілік және беру сипаттамаларды баптау көрсетілген. Сыртқы факторлардың схема жұмысына әсері сипатталған.

Орта кәсіптік білім беру мекемелерінің студенттеріне арналған.

ӘОЖ

621.38(075.32)

КБЖ 32.85ші722

ISBN 978-601-333-371-7 (каз.)

ISBN 978-5-4468-3298-9 (рус.)

© Богомолов С.А., 2014

© «Академия» білім-баспа орталығы, 2014

© Безендіру. «Академия» баспа орталығы, 2014

Бұл оқулық «Цифрлық ақпаратты өңдеу жөніндегі шебер» мамандығы бойынша оқу-әдістемелік кешеннің бір бөлігі болып табылады.

Оқулық «Электроника және цифрлық схемәтехника негіздері» жалпы кәсіптік пәнін меңгеруге арналған.

Жаңа буынның оқу-әдістемелік кешені жалпы білім беретін және жалпы кәсіптік пәндер мен кәсіптік модульдерді меңгеруге мүмкіндік беретін дәстүрлі және инновациялық оқу материалдарынан тұрады. Әр кешен жалпы және кәсіптік, сонымен қатар жұмыс берушінің талабын ескерілген құзырлықтарды меңгеру үшін қажетті оқулықтар мен оқу құралдарын, оқу және бақылау құралдарын қамтиды.

Оқу басылымдары электронды білім беру ресурстарымен толықтырылады. Электронды ресурстар интерактивті жаттығулар мен тренажерлары бар теориялық және практикалық модульдерден, мультимедиялық нысандардан, қосымша материалдар мен Интернет ресурстарына сілтемелерден тұрады. Оларға терминологиялық сөздік, оқу үдерісінің негізгі параметрлері: жұмыс уақыты, бақылау және практикалық жұмыстарды орындау нәтижесі тіркелетін электронды журнал кіреді. Электронды ресурстар оқу үдерісіне оңай бейімделеді және түрлі оқу бағдарламаларына сәйкестендіріле алады.

Қазіргі заманды адам қызметінің барлық саласында мықтап орын алған электроника құралдарынсыз елестету мүмкін емес. Телевидение, радио, спутниктік байланыс және навигация, мобильді байланыс, Интернет — бұл салалардың барлығы – электроника саласының жетістіктері.

Электроника — ғылым мен техниканың материалдардағы физикалық үдерістерді және түрлі мақсаттағы құрылғылар жасауға көмектесетін электромагнит өрісінің қасиеттерін зерттейтін саласы.

Электрониканың бастау көзі болып XIII-XIX ғасырлардағы физиктердің жұмысы табылды. Электронды элементтерді қолданудың алғашқы жемісі телефон байланысының ұзақтылығын арттыру үшін онда триод лампаларын пайдалану еді.

Алыс аймақтармен байланыс орнатып, ақпарат алуға деген ұмтылыс радиобайланыстың дамуына ықпал етті. Радиобайланыста ақпарат жеткізу алыс қашықтыққа тарала алатын электромагниттік толқын көмегімен жүзеге асырылады. Радио бағдарламалар тыңдаушылардың назарын өзіне қаратып, кей жағдайда жалғыз ақпарат көзі болып табылды. Кейіннен радиобайланыстың тағы бір бағыты – телевидение пайда болды. Ол танымдық, сауықтыру қызметін атқарады, әлемнің ең алыс нүктесінен тікелей көрсетілім жүргізуге, телемәтін арқылы қосымша ақпараттық хабарлама жеткізуге мүмкіндік береді.

Радиобайланыс бағытының бірі болып радиолокация (радиотолқын көмегімен нысанның тұрған орнын табу және анықтау) табылады. Радиолокаторлар ұшақтарды, кемелерді, бұлттардың шоғырлануын анықтауға, планеталардың локациясына және ғарыштың зерттеулерде пайдаланылады. Радиолокация көмегімен планеталардың орбиталық қозғалысы, сондай-ақ олардың өз өстерін айналасында қозғалыс жылдамдығы анықталады.

Электрониканың алға басуы 1948 жылы транзисторды ойлап табумен байланысты. Транзистор және басқа да жартылай өткізгіш құралдар өнеркәсіпте және тұрмыстық техникада белсенді түрде қолданыла бастады.

Жартылай өткізгіш құралдар негізіндегі құрылғылар лампалы

құрылғыларға қарағанда айтарлықтай сенімді болды.

Электроника дамуындағы қарышты қадам шағын корпустағы мындаған элементтерден тұратын интегралдық схеманы құру болып табылды. Техниканың, космонавтика мен ядролық физиканың дамуы көп санды элементтері бар аппаратура құруды талап етті. Күрделі есептеулерді жүргізу үшін электронды-есептеуіш машиналарды шығару қажеттілігі туындады. Микроэлектроника миниатюрлық орындаудағы құрылғыны іске асыруға мүмкіндік берді.

Электроника жетістіктерінің бірі – спутниктік навигация. Спутниктік навигация — жер үстіндегі және ғарыштық жабдықтан тұратын, жерүстіндегі, су және әуе нысандарының орналасқан жерін, қозғалыс уақыты мен параметрлерін анықтауға бағытталған кешенді электронды-техникалық жүйе.

Дербес компьютердің пайда болғанынан бері отыз жылдан сәл көп уақыт өтті. Алғашқы үлгілерінің функционалдық мүмкіндіктері шектеулі болды, дегенмен, ол электроника және есептеуіш техника саласындағы серпіліс еді. Заманауи компьютер хабарламаны жеткізуге және өңдеуге, бейне конференция жүргізуге, күрделі есептерді орындауға және түрлі физикалық құбылыстар мен үдерістерді үлгілеуге мүмкіндік береді. Компьютердің басты есептеуіш құрылғысы — процессор, миллиондаған транзистордан тұрады. Транзистор есептеуіш жүйені құруға қажетті «кірпіш» болып табылады.

Өмірдің қазіргі ағымы шешімді жедел қабылдауды талап етеді. Мобильді байланыстың дамуы хабарламаны уақытында жеткізуге және керек ақпаратты дер кезінде білуге мүмкіндік берді. Мәселен, мобильді телефон байланыс қызметін ғана атқарып қоймайды, ол навигация қызметін, Интернетке кіруді, түрлі қызметтер мен сервисті қолдануды жүзеге асырады.

Электроника элементтерінің көмегімен адамзат күн энергиясын электр тогына айналдыруды үйренді. Күн батареялары энергиялық тиімді ғимаратты қоректендіру құрылымының ажырамас бөлігіне айналды, онсыз спутниктің жұмысы мүмкін емес. Күн энергиясы жер бетінде энергияның преспективті көздерінің біріне айналууда.

Электроника элементтерінің одан әрі дамуы жеткізілетін ақпараттық хабарламалар сапасының артуымен, жеткізу жылдамдығының өсуімен, интерактивті сервисті қолданумен, электронды құрылғылардың функционалдығын арттырумен байланысты.

Бұл оқулық «Цифрлық ақпаратты өңдеу жөніндегі шебер» мамандығы бойынша орта кәсіптік білім берудің ФМБС-ға сай

құрастырылған. Оқулықта элементті база, электронды құрылғы әрекетінің принципі, электронды құрылғының негізгі сипаттамалары мен арнайы бағдарламаларда үлгіленуі жөніндегі материал жүйеленген.

Оқулық үш тараудан тұрады. Бірінші тарауда электронды техника элементтерінің жіктелімі, олардың сипаттамасы, таңбалануы және құрылымдау нұсқалары, сондай-ақ қарапайым құрылғыларды Micro-Cap бағдарламасында үлгілеу берілген. Екінші тарау логикалық элементтерге, цифрлық құрылғыларға және аналогты сигналды дискретизациялау принциптеріне, жадының жартылай өткізгіш типтеріне арналған. Үшінші тарау цифрлық-аналогты және аналогты-цифрлық түрлендіргіштер туралы базалық білімді, электрониканың түрлі схемаларын қолдану және үлгілеу мәселелерін қамтиды.

# ЭЛЕКТРОНИКАНЫҢ НЕГІЗГІ ЭЛЕМЕНТТЕРІ



Тарау

- 1 бөлім. Электроника элементтерінің мақсаты мен жіктелімі
- 2 бөлім. Схемаларды үлгілеу үшін Micro-Cap бағдарламасын пайдалану

## ЭЛЕКТРОНИКА ЭЛЕМЕНТТЕРІНІҢ МАҚСАТЫ ЖӘНЕ ЖІКТЕЛІМІ

### 1.1. РАДИО ТОЛҚЫННЫҢ ТАРАЛУЫ ЖӘНЕ АҚПАРАТТЫ ЖЕТКІЗУ

---

Қазіргі әлемде адам қызметімен және қоршаған орта жағдайымен байланысты мәліметтердің, деректердің, оқиғалардың жиынтығында ақпаратты жедел алу маңызды. Ақпаратты жазуға, жеткізуге, қабылдауға, өңдеуге және сақтауға арналған ұсыну формасы х а б а р л а м а деп аталады. Ақпаратты жеткізу үшін хабарлама жіберу керек. Хабарлама мәтін, символ, бейне, дыбыс, фонограмма түрінде ұсынылуы мүмкін.

Қуатты ақпарат тасымалдаушылардың бірі болып электромагнитті толқын (радиотолқын) табылады. Электромагнитті толқын — өзара перпендикуляр жазықтықта таратылатын электр және магнитті өрістердің жиынтығын құрайтын материяның ерекше түрі. Электромагнитті толқын өз бетінше ақпарат жеткізбейді, ол сымдарды пайдаланбай, жарық жылдамдығына жақын жылдамдықпен үлкен қашықтықтарға ақпаратты жеткізуге қабілетті тасымалдаушы болып табылады.

Ақпарат электромагнитті толқын көмегімен ақпарат көзінің заңы бойынша толқын параметрін өзгерту жолымен жеткізіледі. Ақпарат көзі заңы бойынша толқын параметрін өзгерту модуляция деп аталады. Модуляцияны іске асыратын құрылғы модулятор деп аталады. Модулятор ақпаратты кеңістікте сәулелендіру арқылы жоғары жиілікте электромагнитті толқынмен жеткізеді. Хабарламаны қабылдау үшін д е м о д у л я т о р қолданылады, ол — модуляцияның кері үдерісін, яғни сигналдан пайдалы ақпаратты ажыратуды жүзеге асыратын құрылғы.



Модуляция аналогты және дискретті болып бөлінеді. Аналогты модуляция амплитудалық, жиілік және фазалық болып бөлінеді. *Амплитудалық модуляция* кезінде сигнал амплитудасы өзгереді, тербеліс кеңістігінде сәулеленетін жиілік өзгермейді.

*Жиілік модуляция* кезінде пайдалы ақпарат заңы бойынша сигнал жиілігі өзгереді. Стереосигнал жеткізуші заманауи радиостанциялар жиілік модуляциясын пайдаланылады.

*Фазалық модуляция* кезінде тасымалданатын ақпараттық бит кезектілігіне сай тек синусиодальдық тербелісті жасайтын фаза ғана өзгереді.

Дискретті (цифрлық) модуляция аналогты сигналдарды, мысалы тілдік сигналдарды цифрлық сигналдарға өзгерту кезінде қолданылады. Осы мақсатта амплитудалық-импульстік, кодтық-импульстік және уақыттық-импульстік модуляция кеңінен қолданылады.

Тасымал кезінде деректердің ақауға шыдамдылығын арттыру үшін кодтау пайдаланылады. Соңғы кезде тасымалданатын деректердің нақтылығын арттыру функциясы деректерді жеткізудің соңғы жабдықтарына жүктеледі және жеткізілетін хабарламаға ақпараттық артықтықты енгізу арқылы қамтамасыз етіледі.

Дискретті ақпаратты цифрлық кодтау үшін әлеуетті және импульсті кодтар пайдаланылады. Әлеуетті кодтарда логикалық бірліктер мен нөлдерді белгілеу үшін тек әлеуетті сигнал мәні ғана қолданылады. Импульсті кодтар не белгілі бір полярлық импульсімен, не белгілі бір бағыт әлеуетінің өзгеруімен еселенген деректер ұсынуға мүмкіндік береді.

Цифрлық кодтау әдісін таңдау кезінде оған келесідей талаптар қойылады:

- Жеткізу жылдамдығы бірдей болғанда нәтижелі сигнал спектрының ең кіші ені;
- Жеткізуші мен қабылдаушы арасындағы синхронизация мүмкіндігі;
- Қателіктерді анықтау мүмкіндігі.

Анағұрлым тар сигнал спектры деректерді жеткізудің айтарлықтай жоғары жылдамдығына қол жеткізуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, көбінесе сигнал спектріне тұрақты құрамдасының жоқтығы талабы қойылады.

Жеткізуші мен қабылдаушыны синхронизациялау қабылдаушы байланыс желісінен жаңа ақпаратты қай уақытта оқу қажеттігін нақты білу үшін керек. Әдетте, желілерде өздігімен синхронизациялайтын кодтар, яғни жеткізушіге ақпараттық битті жеткізудің тактілік жиілігін автоматты түрде анықтауға мүмкіндік беретін сигналдар қолданылады.

## 1.1-кесте

Радио жиілігінің диапазоны	Радиотолқын диапазоны	Диапазон атауы	Тарату ерекшеліктері
3...30 кГц	100...10 км	Мириаметрлік	Топырақ пен суға тереңдеп енеді, аз жұтылады, Жерді айналады
30...300 кГц	10...1 км	Километрлік	Жерде аз жұтылады, оны ішінара айналады, ионосферада түнде шағылысады және күндіз
0,3...3 МГц	1000...100 м	Гектометрлік	Жерде жұтылады, беткі толқыны болмайды, түнде ионосферадан қарқынды шағылысады
3...30 МГц	100...10 м	Декаметрлік	Беткі толқыны болмайды, ионосферадан аз шығынмен шағылысады, қарапайым нысандардан әлсіз шағылысады
30...300 МГц	10...1 м	Метрлік	Беткі толқыны болмайды, ионосферадан шағылыспайды, тікелей көріну шегінде таратылады, қарапайым нысандардан қарқынды шағылысады
0,3...3 ГГц	1...0,1 м	Дециметрлік	Беткі толқыны болмайды, ионосферадан шағылыспайды, тікелей көріну шегінде таратылады, антенналары шағын, жоғары бағытталған
3...30 ГГц	10...1 см	Сантиметрлік	Атмосферада таңдалып жұтылады, антенналары шағын, жоғары бағытталған
30...300 ГГц	1...0,1 см	Миллиметрлік	Атмосфералық гидротүзілімдерде қатты жұтылады, қабылдау мен сәулеге өте жоғары бағытталған

Жиіліктің түрлі диапазонын пайдалану кезінде электромагнитті толқындардың кеңістікте таралуын ескеру керек. Толқындар диапазоны мен таратылу ерекшеліктері 1.1-кестеде берілген.

*Мириаметрлік толқындар* су асты қайықтарымен байланыс үшін алыс навигациялы радиожүйелерде пайдаланылады.

*Километрлік толқындар* алыс навигациялы радиожүйелерде және автоматты радиокөшендерде радио хабарын тарату үшін пайдаланылады.

*Гектаметрлік толқындар* радио хабарын тарату, әуесқой радио байланысы, көкжиектен тыс радиолокация үшін пайдаланылады.

*Декаметрлік толқындар* радио хабарын тарату үшін, сондай-ақ әуесқой және кәсіби радио байланысы үшін пайдаланылады. Қабылдау сапасы бұл кезде ионосферадағы күн сәулесінің белсенділігімен, жыл мезгілімен және тәулік уақытымен байланысты түрлі үдерістерге тәуелді болады.

*Метрлік және дециметрлік толқындар* тікелей көрсетілім шегінде таратылады да, телевидениеде пайдаланылады. Жеткізуші станциядан айтарлықтай алыстағанда сигнал әлсізденеді де, қабылдау айтарлықтай ақаулармен болады не мүлдем қабылданбайды. Метрлік және дециметрлік толқындар жақын байланысты радиожүйелерде, қондыру аппаратурасында қолданылады. Дециметрлік толқындар спутникті радионавигациялық жүйелерде пайдаланылады.

*Сантиметрлік толқындар* радиолокацияларда, қондыру аппаратураларында, спутниктік телевидениеде қолданылады.

*Миллиметрлік толқындар* радиолокацияларда, автомобиль радарларында алдында не артта келе жатқан көлікке дейінгі қашықтықты анықтау үшін пайдаланылады.

Радиотолқындар сымсыз компьютер желілерін құруға, қазіргі қаланың көптеген жерлерінде: вокзалдарда, дәмханаларда, кітапханаларда, оқу мекемелерінде және т.б. таратқыш көмегімен Интернетке қолжеткізуге мүмкіндік береді.

Сигналдарды санмен ұсынуға көшу, деректерді бірнеше рет сығу әдісінің шығуы, дербес компьютерлер мен жұмыс станцияларының сақтау құрылғыларының (СК) өнімділігі мен көлемінің өсіп, бағасының төмендеуі, Интернет пен басқа да желілік технологиялардың қарқынды дамуы телевизия жүйесінің түрлі салаларында есептеуіш техникасын кеңінен қолданудың алғышарты болады. Сызықтық емес монтаж жүйесінің пайдаланылу мысалын қарастырайық.

Сызықтық емес монтаж жүйесі шығыс материалы мен соңғы өнімді сақтауға арналған бір немесе бірнеше цифрлық бейнемагнитофондардан (БМ) тұрады. Жүйе орталығы болып өнімділігі жоғары дербес компьютер (ДК) немесе бірнеше кадрлардың жоғары сапалы көрсетілімін қамтамасыз ететін мониторы және түрлі

қосымша ақпараты бар жұмыс станциясы (өнімділігі мен СҚ көлемі бойынша қарапайым ДК асып түсетін компьютер) табылады.

Редакциялауға және монтаждауға жататын телевизиялық бағдарлама фрагменттері компьютерге арнайы енгізу-шығару платасы (бейнесигналдарды «қармау» платасы) көмегімен енгізіледі, сығылады және қатты магнитті дискті жинақтауышқа жазылады. Сығу үшін әдетте Motion JPEG әдісі қолданылады, оған сай әр кадр басқа кадрларға тәуелсіз кодталады. Бұл жекелеген кадрларға дербес қол жеткізуге мүмкіндік береді. Нақты уақытта сығу операциясы компрессия-декомпрессия және бейне эффект платасында аппараттық құралдармен орындалады.

Редакцияланатын материалдарды дискіге сақтау бейне фрагменттерін және жекелеген кадрларды тез табуға және кездейсоқ реттілікпен ұсына отырып керекті бейне бағдарламаны құруға мүмкіндік береді. Бұл жерде монтаждау үдерісі айтарлықтай жылдамдатылады да, бұрын қолданылатын жүйелерде болмаған жаңа мүмкіндіктер туындайды. Түсті коррекциялау, шуды сүзгілеу, бейнеге мәтін мен графиканы енгізу, жасанды бейнелер мен бейне эффекттерінің синтездеу арқылы бейненің сапасын арттыру үдерісі аппараттық құралмен де, бағдарламалық-орталық процессормен де орындалады.

Компьютер ішінде барлық операцияларды орындау бірнеше қайтара жазу кезінде, тіпті цифрлық бейне жазу кезінде магнитті таспаның ақауынан сапаны жоғалтуды болдырмауға мүмкіндік береді.

Бағдарлама дайындаудың соңғы кезеңінде оны бейне дискке жазу не көрсету үшін сығу үдерісі жүргізіледі. Сығу үдерісі сығу дәрежесін реттей алатын, кадр қалпы мен кадрлар тобы көлемін түзететін және жоғары сапалы бейне алу үшін қажетті басқа да әрекеттерді орындай алатын оператор бақылайды.

MPEG-2 стандарты бойынша бейне сигналдарды енгізу және кодтау құрылғысы бағасының төмендеуі біртіндеп сызықтық емес сандық монтаж жүйесін шағын телевизиялық және мультимедиялық компаниялар үшін, сондай-ақ әуесқойлар үшін қолжетімді етуде.

Жоғары жылдамдықтағы үлкен көлемді ақпаратты жеткізу үшін компьютерлік желілерде талшықты-оптикалық байланыс желісі қолданылады.

Талшықты-оптикалық байланыс желісі (ТОБЖ) — оптикалық талшық ішінде (жіңішке әйнек не пластик жіппен) жарық сигналын пайдаланып ақпаратты тасымалдау жолымен екі электр тізбегін байланыстыратын желі. Оптикалық талшық жұмысының принципі толық ішкі шағылысу әсеріне негізделген. Кіріс сигнал жарықтық сәулелену көзін үлгілейді, ал жарықты қайта электр сигналына түрлендіру үшін фотоқабылдағыш пайдаланылады. Сөйтіп, ТОБЖ мынадай негізгі құрамдас бөліктерден тұрады:

- 1) таратқыш;
- 2) оптикалық талшық негізді кабель;
- 3) қабылдағыш;
- 4) біріктіргіштер (коннекторлар).

Едәуір күрделі желілер мен коммуникациялық желілер үшін тармақтағыштар, мультиплексорлар және таратқыш құрылғылар сияқты қосымша элементтер пайдаланылады. Таратқыш ретінде жарық диодтары мен жартылай жетекті лазерлер қолданылады.

Ақпаратты жеткізу үшін негізінен оптикалық талшықтардың аз бәсеңдеуін қамтамасыз ету үшін 850, 1300 және 1 550 нм ұзындықты талшықтары бар сәулелену қолданылады.

Жарық диодтары толқын ұзындығы толқындар ұзындығы 850 және 1 300 нм болатын жарық шығара алады. Толқындар ұзындығы 850 нм сәуле таратқыштар толқындар ұзындығы 1300 нм сәуле таратқышқа қарағанда айтарлықтай арзан. Сөйте тұра ұзындығы 850 нм толқындар үшін кабельдің өткізу жолағы (200 МГц/км немесе 500 МГц/км).

Лазерлі сәуле таратқыштар ұзындығы 1300 және 1550 нм талшықта жұмыс істейді. Заманауи лазерлердің тез әсері жиілігі 10 ГГц және одан да көп жарық ағынын үлгілеуге мүмкіндік береді. Лазерлі сәуле таратқыштар жарықтың когерентті ағынын жасайды, соның салдарынан оптикалық талшықтарда шығын жарық диодынан когерентті емес ағынды пайдалану кезіндегіден азаяды.

Оптикалық талшық орталық жарық жеткізгіштен (ядро) және сыну көрсеткіші төмен қоршаған оптикалық қабықтан тұрады. Жарық сәулелері ядродан тарала отырып, «ядро – оптикалық қабық» шегінде сәулелену арқылы оның шегіне шықпайды. Шектік бұрыштан төмен бұрыштағы шекарадан енетін жарық оптикалық қабыққа еніп, онда таралған сайын бәсеңдейді, себебі оптикалық қабық жарық таратуға арналмаған. Сондай-ақ талшықтың қосымша қорғаныш қабығы бар,

ол ядро мен оптикалық қабық соққыларынан қорғайды.

Жарық талшық ішіне шекті бұрыштан үлкен бұрыштан, «ядро – оптикалық қабық» бөліміне қарай еніп, осы шекарада толық ішкі сәулеленуге ұшырайды. Құлау және сәулелену бұрыштары сәйкес келгендіктен, жарық одан әрі шекарадан сәулеленетін болады. Сөйтіп, жарық сәулесі талшық бойымен ирелендеп қозғалатын болады.

Оптикалық сигналдарды электрлікке түрлендіру үшін фотоқабылдағыштар пайдаланылады. Талшықты-оптикалық байланыста фотоқабылдағыш ретінде фотодиодтар қолданылады.

Спектрлі сезімталдық саласы фотодиод қандай материалдан жасалғанына байланысты болады. Көрінетін бөлік пен инфрақызылға жақын (0,75... 1,1 мкм) аймақта кремний негізінде дайындалған фотодиодтар барынша сезімталдыққа ие. 1,7 мкм талшық диапазонында жұмыс істеу үшін Ge (германий) негізінде және InGaAs/InP төрттік құрылымды деп аталатын фотодиодтар әзірленген.

Егер оптикалық кабельде бірнеше жиіліктен тұратын сигнал таратылса, қабылдағыш жағында қажетті сигналды ажырату үшін толқындар ұзындығы бойынша селективті фотоқабылдағыштар қолданылады.

ТОБЖ қолданылатын фотодиодтар жеткілікті квантты әсерлілікке және жылдам әсеріне ие болуы керек.

ТОБЖ негізгі параметрлерін қарастырайық.

*Бәсеңдеу* — жарықтың талшық бойымен қозғалысы кезіндегі оптикалық энергия шығыны, километрдегі децибелмен өлшенеді. Бәсеңдеу жарық толқынының ұзындығына байланысты. Жарық талшықтың бойымен аз бәсеңдеумен таралатын мөлдірлік терезесі болады. Сәйкесінше, жарық көзі осы диапазонда жұмыс істесе, талшыққа жеткізу кезіндегі шығын аз болады. Оптикалық талшықта бәсеңдеудің маңызды ерекшелігі - оның өткізу жолағы ішіндегі модуляция жиілігіне тәуелсіз болмауы табылады. Талшықта бәсеңдеу үш әсермен: таралу, жұтылу және микромайысулардың болуымен анықталады.

*Талшықтың беріктігі* талшықтың ақаусыз созылу, үзілу және майысу қабілетін сипаттайды. Талшық нәзіктігін сипаттайтын негізгі себеп талшық бетінде микро жарықтардың және ішінде ақаулардың болуы. Беткі ақаулары кабель төсеу кезінде созылу жүктемесі әсерінен артуы мүмкін. Температуралық өзгеріс, механикалық және химиялық әсер, күнделікті тозу ақаудың пайда болуына әкеледі. Әйнек талшықтарды шағын диаметрлі қоршау ретінде майыстыруға болады. Бұл ретте созу жүктемесі жоқ кезде майысу радиусы кабель 5диаметріне, ал жүктеме болған кезде кабельдің 10 диаметріне тең екенін есте сақтау керек.

*Радиациялық беріктік* жабдықтың ядролық әсерге қарсы тұру қабілетін анықтайды. Талшық өткізгіштерге қарағанда радиация

әсерімен статикалық зарядтарды жинамайды. Сондай-ақ, талшық радиациялық қореккөздің жылу әсерінен кабельді қабықшасы балқығаннан кейін бірден зақымданбайды.

Талшық жоғары қарқынды тұрақты радиоактивті сәулелену жағдайында бәсеңдеудің өсуіне қарсы тұрады. Бәсеңденудің артуы сәулеленудің жиналған мөлшеріне және қарқындылығына байланысты болады.

*Көпмодалы талшық* диаметрі 100 ден 970 мкм-ге дейін болатын ядродан және сыну көрсеткішінің сатылы не тегістелген профилінен тұрады. Талшықтың бұл түрі өткізу жолағы барынша жоғары және шығыны ең аз болмаса да айтарлықтай кең таралған болып табылады. Талшықтың көпмодалы режимдегі жұмысы кезінде моданың тең дәрежеде таратылуымен (МТТ) байланысты қажетсіз құбылыстар туындайды. МТТ — энергия модалар арасында толқын ұзындығына тәуелсіз таратылатын көпмодалы оптикалық талшықтағы тұрақты қалып. Бастапқыда қандай да бір модада болатын идеалды талшықта энергия сақталады. Бірақ шындығында энергия мода арасына өтеді, бұл талшықтың бүгілуіне, диаметрдің вариациясына және ядро сынуы көрсеткішіне немесе талшықтың әртектілігіне байланысты. Қозғалысқа сай энергия бір модадан екіншісіне, МТТ қолжеткізілгенге дейін ауысады. Одан кейін мода арасындағы энергияның одан әрі таратылуы қалыпты жағдайда орын алмайды. МТТ болмаған кезде талшық толыққан не толмаған деп аталады. Толыққан талшықта әсерсіз мода оптикалық энергия ауысуына қатысады. Толмаған талшықта жарық тек төменгі ретті модаларда таратылады. Қозғалысқа байланысты осы модаларда болатын энергия бөлігі жоғары ретті модаға ауысады да МТТ-ға қол жеткізіледі. МТТ қол жеткізілетін қашықтық талшық түріне байланысты.

Кабель құрылымы әртүрлі болуы мүмкін, бірақ келесі құрамдастар ортақ болып табылады:

- оптикалық талшық;
- механикалық әсерден жақсы қорғанысты қамтамасыз ететін буферлік қабықша;
- кабельдің механикалық беріктігін арттыратын күшті элемент;
  - механикалық үйкеліс, май, озон, қышқыл, сілті, ерітінділер және т.б. қорғанысты қамтамасыз ететін сыртқы қабықша.

Талшықты-оптикалық байланыс жүйесі соңғы кезде кеңінен қолданылып келеді, себебі олар деректер жеткізудің жоғары жылдамдығын, кең жазықтылықты қамтамасыз етеді. Көптеген параметрлері бойынша олар қарапайым кабельді басып озады, себебі коррозияға төзімді және өздері бойынша жеткізілетін деректерге рұқсат етілмеген қол жеткізуді болдырмайды.

### 1.3. ЭЛЕКТРОНИКА ЭЛЕМЕНТТЕРІНІҢ ЖІКТЕЛІМІ

---

Кез келген құрылғы белгілі бір функцияларды атқаратын бірнеше элементтерден тұрады. Элементтік базаны таңдау құрылғының функционалдық мүмкіндіктеріне, пайдалану шарттарына, сенімділік параметрлеріне, миниатюризациялау дәрежесіне байланысты.

Радиоэлектроника аппаратурасының (РЭА) құрамдас бөліктері екі принципіалды әтүрлі класқа бөлінуі мүмкін: пассивті және белсенді.

Пассивті элементтер — жұмысы сыртқы қорек көзіне тәуелсіз электр құралдары. Пассивті элементтерге конденсаторлар, резисторлар, индуктивтілік шарғысы, трансформаторлар жатады.

Белсенді элементтер — әрекет және мақсат принципімен ерекшеленетін электр құралдары. Олардың қызметі сыртқы қорек көзінен келетін энергияға байланысты. Белсенді элементтерге электр вакуумды құралдар (ЭВҚ), газ разрядты құралдар (ГРҚ), жартылай өткізгіш құралдар (ЖӨҚ) және интегралдық схемалар (ИС) жатады.

### 1.4. ПАССИВТІ ЭЛЕМЕНТТЕР

---

Конденсаторлар. Конденсатор — сыйымдылығын пайдалануға арналған электр тізбегі элементі. Конденсатордың негізгі қасиеті электр тогы энергиясын электр өрісіне айналдырып, оны жинақтауға қабілеттілігі болып табылады. Конденсатор диэлектрик қабатымен бөлінген астар немесе пластина деп аталатын екі электродтан тұрады. Конденсатордың негізгі параметрі – сыйымдылығы, сыйымдылық бірлігі – фарад (Ф).

Конденсатор параметрлері:

- конденсатордың электрлік беріктігі (номиналды және сынақ кернеуі мәнімен сипатталады);
- изоляцияның кедергісі (диэлектриктің көлемді және беткі үлестік кедергісіне, сондай-ақ оның өлшеміне байланысты болады);
- сыйымдылықтың температуралық коэффициенті:

$$TKC = \frac{\Delta C}{C \Delta t}$$

мұндағы  $\Delta C$  — температура өзгергендегі сыйымдылық өзгерісі  $\Delta t$ .

- Конденсатордың меншікті индуктивтілігі (шығысы мен астарының



құрылымымен анықталады);

- Конденсатордағы шығын (диэлектрик шығынның тангенсті бұрышымен анықталады);
- Конденсатордың габариттік өлшемдері;
- Конденсатор массасы;
- Қоршаған орта температурасының, салыстырмалы ылғалдылықтың, діріл және соққы жүктемесінің рұқсат етілетін мәні. Конденсаторлар сыйымдылыққа және диэлектрик түріне байланысты жіктеледі.

1. тұрақты сыйымдылық конденсаторлары:

- Газ тәріздес диэлектрикпен — ауа, газ толтырылған және вакуумды; сұйық диэлектрикті;
- Қатты бейорганикалық диэлектрикпен — керамикалық (төмен жиілікті және жоғары жиілікті), әйнек (әйнекті эмалды, әйнекті керамикалы, әйнекті қабықшалы), слюдалық, бейорганикалық қабықшадан жұқа қабатты;
- Қатты органикалық диэлектрикпен — қағаз, қабықшалы (бейполярлық қабықшамен және полярлық қабықшамен), үйлесімді – қағаз-қабықшалы, органикалық синтетикалық қабықшадан жұқа қабатты (жұқа қабықшалы);
- электролиттік (оксидті) — алюминді, танталды, ниобийлі, титанды. Бұл конденсаторларды құрылымының типіне байланысты да жіктейді: сұйық, құрғақ, қатты (оксидті жартылай өткізгіш) және оксидті-металды.

2. Айнымалы сыйымдылықты конденсаторлар:

- сыйымдылық мәнінің механикалық басқарылуымен, газ тәріздес диэлектрикпен (әуе, газ толтырылған, вакуумды), сұйық диэлектрикпен;
- қатты диэлектрикпен (керамикалық, әйнек, пластмасса);
- сыйымдылық мәнінің электрлік басқарылуымен – сегнетті керамикалық (вариконды) және жартылай өткізгіш (варикапты). Керамикалық конденсаторлардың құрылымының негізі – екі жағына метал төсемдер жабыстырылған керамикалық дайындама.

Төсемнің керамикамен жақсы бірігуін, баяу тозуын сыйымдылықтың температуралық тұрақсыздығы коэффициентінің аз мәні қамтамасыз етеді. Конденсаторлар термоөтемді, блоктау және ажырату мақсатында пайдаланылады. Керамикалық конденсаторлар жүзден мың пикофарадқа дейінгі сыйымдылыққа ие болуы мүмкін. Жұмыс температурасы 60-тан +155 °С дейінгі шекте болады. Керамикалық конденсаторлардың шығыны аз және оқшаулау кедергісі жоғары болады.

*Әйнек конденсаторлар* жоғары температура кезінде бірігетін жұқа қабықша түріндегі электродтар жабыстырылған сәйкес материалдың жұқа қабатынан тұрады. Әйнек конденсаторлардың ерекше қыры

олардың жылуға жоғары төзімділігі болып табылады, оларды 150-ден 300 °С дейінгі температурада пайдаланады. Әйнек эмальды конденсаторларда диэлектрик қызметін қалыңдығы бірнеше ондаған микрометр болатын әйнек эмальдардың жұқа қабаты атқарады. Жоғары электрлік беріктігінің арқасында шағын габаритті кезінде жоғары жұмыс кернеуі бар конденсаторларды алуға болады. Конденсатор сыйымдылығы мыңдаған пикофарадты құрайды. Әйнек конденсаторлардың шығыны аз, оқшаулау кедергісі жоғары болады.

*Қағаз конденсаторлар* жүздеген пикофарадтан микрофарад бірлігіне дейінгі сыйымдылыққа ие. Бірнеше қабатты арнайы конденсатор қағазымен оқшауланған фольганың екі ұзын, оралған таспасынан жасалады. Бұл конденсаторларды электрлік беріктігін, диэлектриктік өткізгіштігін арттыру үшін, тозуды азайту үшін арнайы құраммен ылғалдайды.

*Металл қағаз конденсаторларының* маңызды қасиеті болып тесіп өткеннен кейін электрлік беріктігін қалпына келтіру қабілеті табылады. Конденсаторларды тұйықтау, сүзгілеу, ажырату мақсатында пайдаланған дұрыс.

*Қабықшалы конденсаторлардың* диэлектрик ретінде түрлі материалдардан (полистирол, фторопласттан) жұқа қабықшасы, сондай-ақ лакталған қабықшасы болады. Оқшаулаудың жоғары кедергісіне, төмен абсорбцияға ие, 200°С дейінгі температурада жұмыс істейді. Лакталған қабықшалы конденсаторлар өлшем бірлігі ең үлкен сыйымдылыққа ие, астары металлизациялау әдісімен орындалады. Қабықшалы конденсаторларды кіші габаритті талап еткен жағдайда қағаз конденсаторлардың орнына қолданылады.

Электролиттік конденсаторлардың диэлектрик ретінде алюминий немесе тантал пластинасына төселген оксид қабықшаның жұқа қабаты болады, екінші электрод электролит болып табылады. Оксидтелген фольга — оң электрод, оксидтелмеген фольга (электролитке тығыз бекітіледі) — теріс электрод. Мыңдаған микрофарадқа дейінгі сыйымдылығы бар.

айнымалы конденсатор сыйымдылығы пластинаның ортақ жабынының ауданы өзгеруі есебінен өзгереді. Мұндай конденсаторларда пластинаның бір тобын (статор) қозғалмайтын етіп жасайды, ал екінші тобына (ротор) айналмалы қозғалысты шоғырландырады.

Айнымалы сыйымдылықты конденсаторлардың параметрлері:

- ең төмен және ең жоғары сыйымдылықтың номиналды мәні;
- номиналды сыйымдылықтан ең төмен және ең жоғары сыйымдылыққа шекті ауытқу;
- ротордың айналу бұрышы;
- ротордың айналу бұрышының өзгеруінен сыйымдылықтың өзгеру заңы;

- секциялар саны (роторлары бір оське бекітілген конденсаторлар саны).

Конденсатор принципіальды электр схемасында екі параллель сызық түрінде белгіленеді (1.1-сурет).

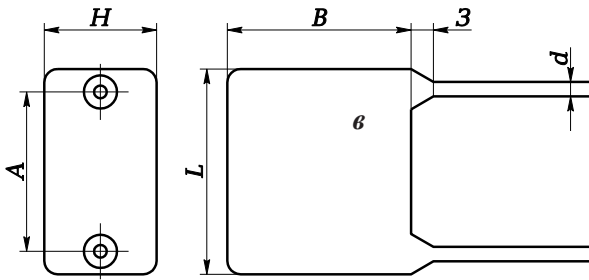
Конденсаторды маркалау үшін әріптік-сандық код пайдаланылады. Сыйымдылықты маркамен белгілеу оның микрофардтық мәніне, NF — нанофардтық мәніне, PF — пикофардтық мәніне сәйкес келеді. Егер белгілеуде әріп болмаса, сыйымдылық пикофардпен берілген. Мысалы,  $10\mu\text{F} = 10 \text{ мкФ}$ ,  $\text{NF}15 = 0,15 \text{ нФ}$ ,  $22\text{H} = 22 \text{ нФ}$ ,  $2,2\text{PF} = 2,2 \text{ пФ}$ ,  $104 = 100000 \text{ пФ} = 100 \text{ нФ}$ .

Құрылым мысалы ретінде K22-5 конденсаторын қарастырамыз. Бұл конденсатор әйнек керамикалық конденсаторға жатады, тұрақты, айнымалы, пульсті және импульсті ток тізбегіндегі жұмысқа арналған. Құрылымы бойынша K22-5 бір бағыттағы шығысы бар оқшауланған конденсатор болып табылады (1.2-сурет).

Конденсаторлардың процессордің қоректік тізбегінде пайдаланылуын қарастырамыз. Конденсаторлар қоректік блоктан қоректің өзгеруінен және процессорға түйіндескен құрылғы қызметінен болған қоректік кернеу ұшқынын азайтуы керек.



1.1.-кесте  
Конденсатор  
принципіальды  
электр схемасында  
белгіленуі



1.2-сурет. К22-5 конденсаторының габаритті өлшемдері

Конденсаторларды пайдалану кезінде процессордың қызуын ескеру және конденсаторды қыздыратын шекті температураны таңдау керек. Процессордың қорек тізбегінде оксидті конденсаторлар пайдаланылады. Оксидті конденсаторға жоғары жиілікті құрамдастың (ондаған мегагерцке дейінгі) енуін болдырмас үшін процессордың шығынына тікелей жақындықта сыйымдылығы 0,033 мкФ болатын корпуссыз керамикалық конденсатор орнатылады, ал төмен жиілікті құрамдастан (жүздеген килогерцке дейінгі) кедергі ретінде сыйымдылығы 3,3...4,7 мкФ болатын керамикалық конденсаторды қосады.

Конденсаторлар қызған кезде корпустың істен шығуы және механикалық бұзылуы орын алады, бұл алдымен компьютердің «тежелуіне», одан кейін оның жұмысқа қабілетсіздігіне әкеледі.

Жүйелік тақтада ажыратқыш және сүзгілеуші конденсаторлар ретінде электролит конденсаторлар қолданылады. Ұзақ пайдалану кезінде электролит құрғайды. Ақаулы конденсаторлар үрленіп, «бөшке» тәріздес болуы мүмкін. Конденсатор корпусының жоғары бетінде арнайы айқастырғыш бар. ол конденсатордың тақтадан шығып кетуін болдырмауға арналған, ол қызған кезде консерві банкасы сияқты ашылады.

**Резистор.** Резистор — электр кедергісін қолдануға арналған электр тізбегінің элементі. Резистордың негізгі параметрі – кедергі, кедергінің бірлігі — ом (Ом).

Резистор параметрі:

- таралудың шекті қуаттылығы (0,125-ден 100 Вт-қа дейін);
- нақтылық класы (0,1-ден 20 %-ға дейін);
- кедергінің температуралық коэффициенті:

$$TKR = \frac{\Delta R}{R\Delta t}$$

Мұндағы:  $AR$  —  $At$  температура өзгерген кездегі кедергінің өзгерісі;

- паразитті сыйымдылық және индуктивтілік;
- шудың жылылық коэффициенті;
- резистордың габариттік өлшемі;
- резистор массасы.

Резистордың мақсатына қарай оларды жалпы мақсаттағы және арнайы (прецизиялық, жоғары прецизиялық, жоғары жиілікті, жоғары вольтты, жоғары мегаомды) резистор болып бөлінеді.

*Жалпы қолданыстағы резисторлар* түрлі жүктеме, жұтқыш және корек тізбегіндегі бөлгіштер ретінде, импульстер қалыптасу тізбегінде сүзгі, шунт элементтері ретінде пайдаланылады.

*Прецизиялық және жоғары прецизиялық резисторлар* пайдалану кезінде параметрлерінің жоғары тұрақтылығымен және үлкен нақтылықпен дайындалуымен (0,0005-ден 0,5%-ға дейінгі шекте) сипатталады. Олар негізінен өлшеу құралдарында, есепті шешуші құрылғыларда, есептеуіш техникада және автоматика жүйелерінде қолданылады.

*Жоғары жиілікті резисторлар* шағын меншікті индуктивтілікпен және шағын сыйымдылықпен сипатталады, жоғары жиілікті тізбектерде, кабельдерде радиоэлектронды аппаратура толқындарында біріктіргіш жүктеме, аттенюатор, бағыттағыш тармақтағыштар, антенна эквиваленттері ретінде пайдаланылады. Сымсыз жоғары жиілікті резисторлар жүздеген мегагерц және одан да көп жиілікте, ал жоғары жиілікті сымды резисторлар жүздеген килогерцке дейінгі жиілікте жұмыс істеуге қабілетті.

*Жоғары вольтты резисторлар* жоғары жұмыс кернеулеріне (бірліктен ондаған киловольтқа дейінгі) есептелген. Олар кернеуді бөлгіш, ұшқынды сөндіргіш, жұтқыш ретінде зарядты және разрядты жоғары вольтты тізбектерде қолданылады.

*Жоғары мегаомды резисторлардың* ондаған мегаомнан бірлік терраомға дейінгі номинальды кедергі диапазоны бар және шағын жұмыс кернеуіне (100...400 В) есептелген. Жоғары мегаомды резисторлар аз тоқты электр тізбектерінде, түнгі жарық құралдарында, дозиметрлерде және өлшеу аппаратураларында қолданылады.

Монтаж тәсіліне қарай аппаратурада тұрақты да, айнымалы да резисторлар баспалы және аспалы монтаж үшін, сондай-ақ микромодульдер мен микросхемалар немесе олармен үйкеліс үшін орындала алады. Аспалы монтажға арналған резистор шығыстары қатаң немесе жұмсақ, аксиалды не радиалды дөңгелек қималы сымнан немесе жапырақ тәріздес таспадан жасалуы мүмкін. Микросхемалар мен микромодульдер құрамында қолданылатын резисторларда,

сондай-ақ ӨЖЖ-резисторларда шығыс ретінде олардың бетінің бөлігі пайдаланыла алады.

Сыртқы әсер факторларынан қорғау тәсіліне қарай резисторлар конструктивті оқшауланған, оқшауланбаған, бітеуленген және вакуумды болып орындалған.

*Оқшауланбаған резисторлар* (жабынды және жабынсыз) өз корпусының аппаратура шассиіне тиюіне жол бермейді. Керісінше, оқшауланған резисторлар айтарлықтай жақсы оқшауланған жабынға (лак, компаунда, пластмасса) ие және корпусымен шассиге немесе аппаратураның ток жүргізетін бөлігіне тиюге жол береді.

*Бітеуленген резисторлар* корпусы бітелген құрылымды болады, ол қоршаған ортаның оның ішкі кеңістігіне әсер етуіне мүмкіндік бермейді.

Резисторлық элемент материалына байланысты резисторлар келесі топқа бөлінеді: сымды жоғары үлестік кедергісі бар талшықты не құйма сымнан жасалған резистор элементті; металл-фольгалы оқшауланған негізге салынған белгілі бір конфигурациялы фольгадан жасалған резистор элементті.

*Сымсыз резисторлар* жұқа қабықшалы (қабат қалыңдығы – нанометр), қалың қабықшалы (қабат қалыңдығы – миллиметр үлесі), көлемді (қабат қалыңдығы – миллиметр бірлігі).

*Жұқа қабықшалы резисторлар* диэлектрик пен металдан не металл оксидінің жұқа қабықшасынан, немесе металл құймасынан жасалған микрокомпозицияланған қабат түріндегі резистор элементті металл диэлектрикті, металл оксидті және металданған; пиролитті көміртек немесе бор органикалық қосылысты қабықшадан тұратын көміртекті, бор көміртекті өткізгіш элемент болып бөлінеді.

Қалың қабықшаларға резисторларға лак-күйе, керметті немесе пластмасса өткізгіш негізіндегі резисторлар жатады. Қалың қабықшалы резисторлардың резисторлы қабаттары графит не күл, металл не органикалық не бейорганикалық байланыстырғышты (смола, әйнек сыр), толықтырғышты, пластификаторлы және қатайтқыш металл оксиді секілді өткізгіш құрамдастардың механикалық араласуынан алынатын бірнеше фазадан тұратын гетерогенді жүйені (композицияны) білдіреді. Лайықты термоөңдеу жүргізгеннен кейін қажетті резисторлық параметрлер кешенімен гетерогенді монолитті қабат пайда болады.

*Көлемді резисторлар* органикалық және бейорганикалық байланыстырушы диэлектрик болуы мүмкін.

Қазіргі электроникада беткі монтаж танымал болып табылады, себебі оның бірқатар артықшылықтары бар. Беткі монтаж кезінде қолданылатын құрамдастардың бірі болып чип-резистор табылады. Чип-резистордың басты артықшылығы – шағын габаритті. Осының арқасында ауданның бір бірлігіне аспалы резисторларды

пайдаланғанға қарағанда айтарлықтай көп чип-құрамдастар орналаса алады. Мұндай орналастыру нәтижесінде монтаж тығыздығы артады да, электронды құрылғы шағын болады. Сонымен қатар, чип-резисторлар басқа резисторлардан едәуір жеңілдігімен ерекшеленеді, сондықтан аппаратураның соңғы массасы бірнеше есе аз болады.

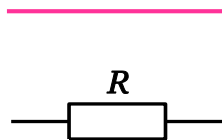
*Чип-резисторлар* көптеген есептеу техникасының құрылғыларында, шағын көлемді құрылғыларда кеңінен қолданылады. Олардың көлемі өте кіші болады. Резистордың майысқақ шығысы болмайды, резистор монтажі оның металданған бүйірін тақтаға резистордың типті өлшемі астынан екі байланыс алаңымен дәнекерлеу арқылы жүзеге асырылады. Мысалы, 0603 типті өлшемді резистордың келесідей параметрлері болады: ұзындығы — 1,6 мм, ені — 0,8 мм, биіктігі — 0,45 мм. Чип-резисторлар 10 МОм-ға дейінгі номиналда шығарылады. Чип-резисторлардың нақтылығы 0,5-тен 5 %-ға дейін.

Резистор принципиялды электр схемасында тікбұрыш түрінде белгіленеді (1.3-сурет).

Резисторды таңбалау екі тәсілмен жүргізіледі: түрлі-түсті жолақпен және әріптік-сандық кодпен. Түрлі-түсті жолақты пайдаланған кезде кестелер кедергі номиналын анықтауға, ал түс кедергі ретін анықтауға қызмет етеді. Отандық резисторларды пайдалану кезінде келесі жүйе қолданылады. Е әрпі ом кедергіні белгілейді, К әрпі килоом кедергіні, М әрпі мегаом кедергіні белгілейді. Егер сан әріпке дейін тұрса, ол кедергінің тұтас бөлігін білдіреді, сан әріптен кейін тұрса, кедергінің бөлшекті бөлігін білдіреді. Мысалы: E10 ( $R = 0,1 \text{ Ом}$ ), 10E ( $R =$

10 Ом), 5E1 ( $R =$

5,1 Ом); K22 ( $R = 220 \text{ Ом}$ ), 1K3



1.3-сурет. Резисторды принципиялды электр схемасында белгілеу

(R = 1,3 кОм), 10K (R = 10 кОм); M20 (R = 200 кОм), 2M2 (R = 2,2 мОм).

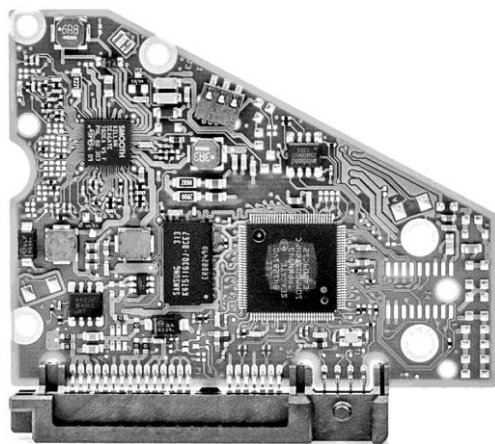
Чип-резисторлар жүйелік тақтада және компьютердің сыртқы құрылғысында қолданылады. Корпусында номинал белгісі берілген. Бастапқы екі сан номиналды білдіреді. Үшінші және төртінші сан нөл санын білдіреді. Мысалы: 103 = 10000 Ом = 10 кОм, 5 102 = 5 100 Ом = 5,1 кОм.

Чип-резисторларды қолдану схеманы миниатюрлеуге және оны өндіріс кезінде барынша технологияландыруға мүмкіндік береді, мұндай резисторлар үшін тақтада саңылау жасау қажет етілмейді, оларды тақтаға салынған байланыс алаңына дәнекерлейді. 1.4-суретте чип-резистор қолданылған компьютердің қатты дискісінің электронды бөлігінің баспа тақтасы көрсетілген.

**Индуктивтілік шарғысы.** Индуктивтілік шарғысы – индуктивтілігін қолдануға арналған электр тізбегінің элементі. Элементтің негізгі қасиеті болып электр тогы энергиясын магнитті өріс энергиясына айналдыра алу қабілеті табылады.

Индуктивтілік шарғысы ма қ с а т ы н а қарай төрт топқа бөлінеді: контур шарғысы, байланыс шарғысы, жоғары жиілікті дроссель, төмен жиілікті дроссель.

Құрылымдық белгісі бойынша шарғылар бірқабатты және көпқабатты; цилиндрлі, шиыршықты және тороидальды; экрандалған және экрандалмаған; өзекшелі шарғы және өзекшесіз шарғы болып бөлінеді.



1.4-сурет. Қатты дискінің баспа тақтасы



Индуктивтілік шарғысы келесі негізгі параметрлермен сипатталады: индуктивтілік, нақтылық, беріктік, өзіндік сыйымдылық және тұрақтылық.

Индуктивтілік шарғысының негізгі параметрі – индуктивтілік, индуктивтілік бірлігі – генри (Гн).

Индуктивті шарғының ең көп таралған типтерін қарастырамыз.

*Бірқабатты шарғылар* 1 500 кГц-ден көп жиілікте пайдаланылады. Орам біртұтас және еріксіз қадамды болуы мүмкін. Еріксіз қадамды бірқабатты шарғылар жоғары беріктікпен ( $O = 150...400$ ) және тұрақтылықпен сипатталады. Олар негізінен қысқа (КВ) және ультрақысқа (УКВ) талшықтар контурында пайдаланылады. КВ және УКВ гетеродинді контурларда пайдаланылатын жоғары тұрақты шарғылар 80.120 °С дейін қыздырылған сымның маңызсыз бойынша орайды. Индуктивтілігі 15.20 мкГн-ден көп шарғылар үшін тұтас бірқабатты орам пайдаланылады. Тұтас орамға көшу мақсаты шарғы диаметрімен анықталады.

Жалпы алғанда шарғының индуктивтілігі каркас өлшемі мен формасына, орам сымның диаметріне, айналым санына, орам тәсілі мен өзекше материалына байланысты болады.

*Көпқабатты шарғылар* қарапайым және күрделі болып бөлінеді. Қарапайым орам мысалы болып қатарлы көпқабатты орам мен «үйінді» орам табылады. Секцияланбаған көпқабатты шарғылар төмен тұрақтылықпен және өзіндік сыйымдылығының үлкендігімен сипатталады. Бұл шарғылар каркас қолданғанды талап етеді.

*Жоғары жиілікті дроссель деп* қорек тізбегінде сүзгілеу элементі ретінде қолданылатын индуктивтілік шарғысын атайды. Дроссель индуктивтілігі барынша үлкен, ал өзіндік сыйымдылығы кіші болуы керек. Жоғары жиілікті дроссель құрылымы бірқабатты немесе көпқабатты шарғы түрінде орындалады.

Индуктивтілік шарғысын алуан түрлі радиоэлектроника аппаратурасында қолданады. Оның сапасы мен параметрлері құрылғы жұмысына үлкен әсер етеді. Индуктивтілік шарғысы берілген жиілікке тербелмелі контурларды баптау үшін (баптау шарғылары), электр тербелістерін бір контурдан екіншісіне беру (байланыс шарғысы), түрлі жиілікті электр сигналдарын тарату не шектеу үшін қызмет етеді.

Жоғары жиілікті дроссельдер тұрақты ток пен дыбыстық жиілікті ток үшін аз кедергіге, жоғары жиілікті ток үшін үлкен кедергіге ие. Дроссельдердің бұл типі кері байланыс тізбегіндегі радиокабылдағыштарда жоғары жиілікті және дыбыстық жиілікті тоқты ажырату үшін, қорек тізбегінің сүзгісінде және параллельді қорек схемасында пайдаланылады.

Индуктивтілік шарғысы принципиялды электр схемасында



1.5-сурет.  
Индуктивтілік  
шарғысының  
принципальды электр  
схемасында белгіленуі

айналым ретінде белгіленеді (1.5-сурет).

Трансформатор — кернеудің түрлі мәнін алуға арналған электр тізбегінің элементі. Трансформатор айналымы кернеу берілетін бастапқы орамнан және түрлі электр тізбегін қоректендіретін екінші орамнан тұрады. Кернеуіне қарай трансформаторлар артатын және кемитін, жиілігі бойынша төмен жиілікті және жоғары жиілікті деп бөлінеді.

**Трансформатор.** Трансформатор жұмысының принципі өздігінен индукциялау құбылысына негізделген. Айналымы токтың алғашқы

орамдағы өзгерісі магнитті ағын (өздігінен индукциялау ағынының) өзгерісіне әкеледі, сәйкесінше, өздігінен индукциялаудың ағынын ажыратқыш та (барлық айналымның өздігінен индукциялау ағынының жиыны) өзгереді, өздігінен индукциялаудың электр қозғалтқыш күші (ЭҚК) туындайды. Екінші орам индуктивтіліктің белгілі бір мәнімен айналымды білдіреді, өздігінен индукциялаудың өзара ЭҚК (бастапқы орамдағы ток өзгерісінің жылдамдығына пропорциональ) туындайды, магнитті ағын құрылады, ол өз кезегінде екінші орамда токты тудырады. Өздігінен индукциялаудың ЭҚК трансформатордың бастапқы орам тоғына қарсы:

$$e_L = -L \frac{di}{dt}$$

Өздігінен индукциялаудың ЭҚК қалыптастыруда маңызды рөлді магнитті материалдағы (магнитті өткізгіш) өзекше алады. Магнитті өткізгішінің магнит өткізгіштігі шарғы индуктивтілігін арттыруға ықпал етеді. Магнитті өткізгіштері өзекті, қалқанды, сақиналы болады.

Қалқанды магнитті өткізгішті пайдалану кезінде трансформатордың барлық орамдарын бір шарғыға орналастырады, оны магнитті өткізгішінің ортаңғы өзегіне кигізеді. Өзекті магнитті өткізгішті пайдалану кезінде оның екі өзегінде екі шарғы орнатылады. Қуаты аз, күшті, төмен жиілікті трансформаторларда қалқанды өзекше пайдаланылады, себебі бір шарғыны қолдану құрылымды оңайлатып, магнитті өткізгіштің терезесін мыспен толтырудың максималды коэффициентін алуға мүмкіндік береді. Өзекті құрылымды қуаттылығы орташа және үлкен трансформаторлар үшін қолданады, екі шарғының болуы жылу беру ауданын ұлғайтып, орамның жылу режимін жақсартады. Өзекті құрылымның артықшылығы – сыртқы әлсіз магнитті өрісінің болуы, себебі екі шарғының өрісі бір-біріне қарама-қарсы бағытталған. Ең кіші сыртқы

өріс сақиналы өзекшелі трансформаторларды пайдалану кезінде болады.

Қалқанды және өзекті магнитті өткізгіштері құрылымы бойынша штампты және таспалы пластинадан жиналған болып бөлінеді. Таспалы магнитті өткізгішті трансформаторлық болатты бұрау және жабыстыру арқылы алуға болады. Шарғы орнатуға қажетті кесіндіден кейін С-тәріздес өзекшелерді жасайды да, олардан қалқанды және өзекті магнитті өткізгіштерін жинайды. Магнитті өткізгіште минималды магнитті емес саңылау жасау үшін өзекшенің бүйірін шарғыға орнатқан соң ферромагнитті материалдан тұратын пастамен желімдейді. Егер саңылау қажет болса, екі өзекше арасындағы жіктің орнына қажетті қалыңдықтағы қағаз не картоннан төсем салады. Өзекшелердің таспалы құрылымы дайындау үдерісін механикаландыруға мүмкіндік береді. Бұл кезде өзекшені шарғыға орнату үдерісінің еңбек сыйымдылығы төмендейді, ал материал қалдығы азаяды. Беріктелген болат қолданған кезде таспалы өзекшелерді пайдалану трансформатор көлемі мен массасын қысқартуға мүмкіндік береді. Бұл штампталған өзекшелерде магнитті күшті желісінің бір бөлігі прокат бағытына перпендикуляр өтетіндіктен орын алады. Бұл кезде болат шығыны өте көп болады. Таспалы өзекшелерде өріс желісі магнитті өткізгішінің ұзына бойынша прокат бағыты бойымен орналасқан.

Өзекшенің параметрлері:

- магнитті күшті желісінің орташа ұзындығы;
- магнитті өткізгіштің көлденең қимасының белсенді ауданы;
- терезе ауданы;
- магнитті өткізгіш массасы.

Трансформаторлардың массасы мен құны материалдың магнитті өткізгіштігіне байланысты. Магнит өткізгіш материалын таңдау кезінде үстеме магниттеуді, трансформатор қуатын, оның мақсатын ескеру керек. Орамның қызуы тек трансформаторда таралатын жиынтық қуатқа тәуелді емес, оны өзекше мен орам арасында таратуға, жылу беру шарттарына, оқшаулау материалының жылу шығаруына және орамның радиал қалыңдығына да байланысты. Сондықтан да орам қызуы төмендейтін индукция мәні болат маркасы мен желі тогының жиілігіне ғана байланысты емес, екінші орамнан алынатын трансформатор қуатымен байланысты болатын трансформатор өлшеміне де тәуелді. Трансформатор қызу температурасы қолданыстағы оқшаулау материалының шекті мәнінен аспайтындай етіп құрылуы керек. Керісінше болса, оқшаулау материалы тез тозып, оның тесілуіне және трансформатордың уақытынан бұрын істен шығуына әкеледі.

Оқшаулау келесі қасиеттерге ие болуы керек: қалыңдығы аз, жоғары терсерлік кернеулі, механикалық беріктігі, металл өткізгішпен

жақсы ажыратылатыны, икемділігі, жоғары температура ұзақ әсер еткенде электр оқшаулағыш қасиеттерінің аз өзгеруі, лак мен қоспаларда ерімейтіндігі.

Трансформаторды есептеу кезінде өзекше материалының маркасы мен оның өлшемін, өткізгіш маркасын, оның диаметрін, орам айналысының санын, қарқас пен орам құрылымын анықтайды.

Байланыстыратын трансформаторлар пайдалы ақпарат тасымалдайтын электр сигналдары кернеуінің деңгейін өзгертуге арналған. Олар ең төмен шығын мен ең төмен сигнал қателігі кезінде сигнал көздерін жүктемемен байланыстыруға мүмкіндік береді. Байланыстыратын трансформаторлардың асортименті көп. Солардың бір түрі – кіріс трансформаторлары. Кіріс трансформаторлары төмен шығыс кедергілі сигнал көзін (микрофон, дыбыс түсіргіш) күшейткіштің кіріс кедергісімен байланыстыруға арналған. Кіріс сигналдарының деңгейі салыстырмалы түрде үлкен болмағандықтан, бұл трансформаторлар сыртқы магнит өрісі әсерінен қорғалуы керек. Кіріс трансформаторларды қолдану құрылғының шу сипаттамасын барынша жақсартуға мүмкіндік береді. Гальвандық шешім бар кезде трансформатордың бастапқы және екінші орамдары арасында микрофонның әр түрін пайдалануға болады.

Трансформаторлар компьютер блоктарында қорек кернеуін алу үшін (жүйелік тақта, дискжетек, қатты диск, кулерлер үшін), теледидарда түрлі модульдерге (кадрлық және жолдық орам, радиоканал модулі, түрлі-түстілік модулі, кинескоп тақтасы) арналған екінші кернеуге қолжеткізу үшін пайдаланылады.

Трансформаторларды сонымен бірге шығыс каскадтарында төмен жиілікті дыбыс күшейткіштерде де қолданады.

## 1.5. ДИОДТАР

Диод — сызықты емес вольт-ампер сипаттамасына ие, бір  $p$  —  $n$ -ауысымы бар құрал. Диодтар көптеген белгілері бойынша топтарға бөлінеді:

- материал түріне қарай (Ge — германий, Si — кремний);
- жиілік диапазонына қарай (төмен, орташа, жоғары, өте жоғары жиілікті);
- орындайтын қызметіне қарай (түзеткіш, детекторлық, импульсты, тұрақтандырғыш, арнайы);
- құрылымына қарай (қадауышты, ернеулі, таблеткалы, модульды).

Диодты принципіалды электр схемасында белгілеу 1.6-суретте көрсетілген.

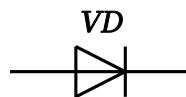
Функционалдық мақсатына қарай диодтарды қарастырайық. *Түзеткіш диодтар* айнымалы тоқты тұрақты токқа түзету үшін пайдаланылады, килогерц жиілік бірлігінде жұмыс істейді, оларды тағы күшті деп те атайды. Түзеткіш диодтар аз қуатты, орташа және үлкен қуатты (сәйкесінше шекті тура тогы 300 мА дейін, 10 А дейін, 10 А дан көп) болуы да мүмкін. Оларды көбіне кремнийден дайындайды.

*Детекторлық диодтар* модульденген тербелістерді орташа, жоғары және өте жоғары жиіліктерде детекторлау үшін пайдаланылады. Олар радиоқабылдағыштар мен теледидарлардың ажырамас бөлігі болып табылады. Детекторлық диодтар әдетте аз қуатты болады.

*Импульсты диодтар* импульстардың аз ұзақтылығында және айнымалы үдерістер (микросекундтар мен микросекунд бөліктері) кезінде схемада тірек элементтер ретінде пайдалануға арналған. Олар жоғары жылдам әсерлі болуы керек, себебі бір логикалық қалыптан екіншісіне ауысу үшін қолданылады. Импульсты диодтар берілген араласу кернеуі кезінде шығыстар арасындағы сыйымдылық ретінде өлшенетін кедергілі сыйымдылықтың аз мәнімен сипатталады.

*Тұрақтандырғыш диодтар* (стабилитрондар) электронды тұрақтандырғыштарда кернеуді тұрақтандыруға арналған. Стабилитрондар кері тармақта вольт-ампер сипаттамасында жұмыс істейді. Стабилитрондар аз, орташа және үлкен қуатты болады.

Тұрақтандыру үшін ВАХ тура тармағы пайдаланылатын диод стабилитрон деп аталады. Стабилитрондардың тұрақтандыру кернеуі 0,7В-



1.6-сурет. Диодты принципіалды электр схемасында белгілеу

ны құрайды. 1,4 және 2,1 В тұрақтандыру кернеуін алу керек болғанда екі не үш стабистордың кезекті қосылуын пайдаланады.

Арнайы мақсаттағы диодтар арасында варикаптар, Ганна диодтары, Шоттки диодтары үлкен тәжірибелік қызығушылыққа ие.

Кедергілі сыйымдылығы берілген кері кернеуге байланысты болатын диодты *варикап деп* атайды. Варикап автоматты басқарылатын айнымалы сыйымдылық конденсаторына эквивалентті. Кедергілі сыйымдылық 1,5-тен 15 пФ-ға дейін өзгереді, бұл жерде кері кернеу артқан кезде сыйымдылық кішірейеді. Варикаптар тербелмелі контурлардың электронды бапталуы үшін пайдаланылады.

*Ганна диоды* — ӨЖЖ диапазонында тербелісті генерациялау және түрлендіру үшін пайдаланылатын жартылай өткізгіш түрі. Диодтардың басқа типтеріне қарағанда Ганна диодының әрекет принципі электр айнымалылардың қасиеттеріне емес, жартылай өткізгіштердің меншікті көлемдік қасиеттеріне негізделген.

Дәстүрлі Ганна диоды екі жағында омдық байланысты, қалыңдығы бір микрометрден жүз микрометрге дейінгі галлий арсениді қабатынан тұрады. Жартылай өткізгіш материалда кристал торкөзінің ақауы болады. Жартылай өткізгіштің электр өрісіне түсуі кезінде торкөз ақауларында электр өрісінің ішкі кернеуі туындайды, ол шекті мәннен асуы мүмкін. Электрон кристал торкөзден ажырайды да, жылдамдық алады, атомға түскенде соңғысы ионданады. Сыртқы электр өрісінің жеткілікті кернеуі кезінде электрондар көрші атомдарды иондайды, нәтижесінде иелік пайда болып, ол ұлғайып, анодқа қарай жылжиды. Электр өрісі кернеуінің өсуіне байланысты электрондардың орташа дрейфті жылдамдығы өріс кейбір сыни мәнге жеткенше толығы жылдамдығына ұмтылып артады. Домен әдетте катодта пайда болады да, электрондардың дрефті жылдамдығына тең жылдамдықпен (галлий арсениді үшін —  $10^5$  м/с) жылжиды. Анодқа жетіп, домен оған тартылады. Үлгіге тіркелген кернеудің маңызды бөлігі доменге түседі; домен сыртында өріс кернеуі бастапқыдан біршама аз.

Домен пайда болған сәтте диодтағы ток ең жоғары. Домен қалыптасуына байланысты ол азаяды да, қалыптасу соңында өзінің ең төмен мәніне жетеді. Анодқа жетіп, домен бұзылады және ток қайтадан артады. Ол ең жоғары мәніне жеткен бойда, катодта жаңа домен қалыптасады.

Сөйтіп, егер диодқа өрістің диодтағы галлий арсениді қабаты қалыңдығына сыни кернеуінен асатын кернеу тіркелсе, қабат қалыңдығы бойынша кернеуді бірдей тарату тұрақсыз болады. Онда тіпті жұқа аймақтағы өріс кернеуінің аз ғана артуы орын алса, анодқа жақын орналасқан электрондар бұл салаға оған «жол береді» де, катодқа жақын орналасқан электрондар анодқа жылжып бара жатқан зарядтың қос қабатын «қуып жетуге» тырысады. Қозғалыс кезінде бұл

қабаттағы өріс кернеуі үздіксіз арта береді, ал оның сыртында тең мәнге жеткенше азаятын болады.

Кернеу артқан сайын домендегі өріс, иелік жылдамдығы мен оның сыртындағы өріс те ұлғаяды, соның салдарынан тербеліс жиілігі мен ток күші азаяды.

*Шоттки диоды* — тіке жалғану кезіндегі кернеуі аз төмендейтін жартылай өткізгішті диод. Шоттки диоды Шоттки кедергісі ретінде (кәдімгі диодтардағы  $p$  — л-ауысымы орнына) металл – жартылай өткізгіштерді пайдаланады. Өнеркәсіптік Шоттки диодтардың шекті кері кернеуі 250В-қа шектелген, тәжірибеде көптеген Шоттки диодтары төменвольтты тізбектерде бірлік және бірнеше ондаған вольт ретінің кері кернеуі кезінде пайдаланылады.

Кәдімгі кремний диодтарда кернеудің тура төмендеуі шамамен 0,6 ...0,7 В болса, Шоттки диодтары бұл мәнді 0,2..0,4 В-ға дейін азайтуға мүмкіндік береді. Кернеудің мұндай өте аз төмендеуі ең жоғары кері кернеуі ондаған вольт болатын Шоттки диодтарына ғана тән. Үлкен кері кернеу кезінде тура төмендеу кремний диодтарының аналогты параметрлеріне тең болады, бұл Шоттки диодтарын төмен вольтты тізбектерде пайдалануды шектейді. Мысалы, 15 А токтың тура төмендеуі кезіндегі ықтимал кері кернеуі 150 В күшті 30Q150 Шоттки диоды үшін кернеудің төмендеуі 0,75 В ( $t = 125\text{ }^\circ\text{C}$ ) тан 1,07 В ( $t = -55\text{ }^\circ\text{C}$ ) дейінгі деңгейде нормаланады.

Шоттки кедергісі аз электр сыйымдылығына ие, бұл диодтың жұмыс жиілігінің артуына ықпал етеді. Бұл қасиет интегралды микросхемаларда қолданылады, онда Шоттки диодтарымен транзисторлардың логикалық элементтерге ауысуы тұйықталады. Күшті электроникада ауысудың шағын сыйымдылығы жүздеген және одан да көп герцте жұмыс істейтін түзеткіштерді құруға мүмкіндік береді.

Ауысудың үздік уақыттық сипаттамалары мен аз сыйымдылығының арқасында Шоттки диодтарында түзеткіштер дәстүрлі диодтық түзеткіштерден ақаулардың төмен деңгейімен ерекшеленеді, бұл оларды аналогты және цифрлық аппаратуралардың импульстық қоректік блогтарында қолдануға басымдық береді.

Алайда Шоттки диодтарының бірқатар кемшіліктері де бар:

1) ең жоғары кері кернеуді қысқа мерзімге арттырған кезде Шоттки диоды кері тесу режиміне өтетін кремний диодтарына қарағанда қайтарымыз істен шығады. Диодта таратылатын ең жоғары қуаттылық артпаған жағдайда кернеу түскен соң, диод өз қасиеттерін толықтай қалпына келтіреді;

2) Шоттки диодтары кристалл температурасы артқан сайын өсетін кері токтың көбеюімен (кәдімгі кремний диодтарына қарағанда) сипатталады. Төмен вольтты диодтарда ТО-220 корпусында кері ток жүздеген (MBR4015 —+125  $^\circ\text{C}$  кезінде 600 мА дейін) милиампер

мәніне жетуі мүмкін. Жылудың шығуы қанағаттанарлықсыз жағдайда Шоттки диодындағы жылу бойынша жағымды кері байланыс оның апатты қызуына әкеледі.

## 1.6. ТРАНЗИСТОРЛАРДЫҢ ПАРАМЕТРЛЕРІ МЕН СИПАТТАМАЛАРЫ

Транзистор — сигналдардың қуатын және басқа да бірқатар функцияларын (генерациялау, қайта қосу) күшейтуге арналған жартылай өткізгішті құрал. Биполярлық және өрістік транзисторлар кеңінен пайдаланылады.

Биполярлық транзисторлар негізгі қолдану салаларына сай келесі топтарға бөлінеді: күшейтпелі (өте жоғары жиілікті, жоғары вольтты, жоғары жиілікті сызықты), генераторлы (жоғары жиілікті, өте жоғары жиілікті, өте жоғары жиілікті байланыс тізбегімен), қайта қосылатын (қайта қосылатын жоғары вольтты) және импульсты (импульсты жоғары вольтты).

Өзінің негізгі қолданыс мақсаты бойынша транзисторлар күшейтпелі, генераторлы және қайта қосылатын болып бөлінеді.

Көрсетілген әр топ параметрлерінің спецификалық жүйесімен және транзисторды радиоэлектронды аппаратурада қолдану ерекшеліктерінен шығатын анықтамалық тәуелділікпен сипатталады.

*Биполярлық транзисторлар* екі  $p$ — $n$ -ауысуға ие. Транзистор 1.7-суретте көрсетілген. Транзистор түрлі электр өткізгіштікті аймақ құрылған германий мен кремнийден жасалған пластинаны білдіреді. Транзистор үш электродтан тұрады: эмиттер, коллектор, база. База аймағы электронды және тесік электр өткізгіштен тұрады. Сондықтан транзисторды құрылымына қарай екі типке бөледі:  $n - p - n$  және  $p - n - p$ . Транзистордың шартты-графикалық бейнесі 1.7-суретте берілген.

Транзистор үш негізгі режимде жұмыс істей алады: белсенді, төмен, қаныққан. Белсенді режим көптеген күшейткіштер мен генераторларда пайдаланылады. Бұл режимде эмиттерлі ауысу ашық, яғни оған тура кернеу түседі, ал коллекторлық жабық. Төмен режимде екі  $p$ — $n$ -ауысу да жабық күйде болады. Қаныққан режимде екі ауысу да ашық күйде болады. Төмен және қаныққан режимдер транзистордың импульсты жұмысына сай келеді.

Транзисторлы жүйелерде әдетте екі тізбек құрылады:

- 1) Транзистор жұмысын басқару үшін кіріс;
- 2) Күшейтілген тербелісті алатын шығыс.

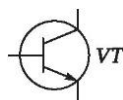
Күшейтілген тербеліс көзі кіріс тізбекте қосылады, ал шығыс тізбекте жүктеу қосылады.



Транзистор жұмысының принципі  $I_{БЭ}$  тура кернеуі эмиттер мен коллектор тогына әсер етуіне негізделеді. Бұл кернеу қаншалықты көп болса, эмиттер мен коллектор тогы да соншалықты көп. Сөйтіп, база мен эмиттер арасында қосылған кіріс кернеу коллектор тогын басқарады. Транзистордың күшейткіш қасиеті осыған негізделген.

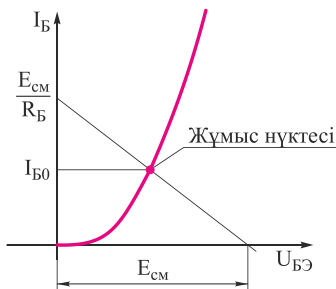
Транзистор үш негізгі қосу схемасында жұмыс істей алады: жалпы эмиттермен (ЖЭ), жалпы базамен (ЖБ) және жалпы коллектормен (ЖК). Жалпы деп кіріс және шығыс кернеуі үшін корпус болып табылатын электрод аталады.

Транзистордағы схеманы есептеу үшін көбіне кіріс (1.8-сурет) және шығыс (1.9-сурет) статикалық сипаттамасы қолданылады. Есептеу міндеті сипаттамалардағы жұмыс нүктесінің орналасқан орнын таңдаудан тұрады. Осы мақсатта қажет етілетін токты алу үшін резисторлардан бөлгіш тізбегі құрылады.



1.7-сурет. – Транзисторды принципиялды электр схемасында белгілеу

---



1.8-сурет. ЖЭ схемасындағы транзистордың кіріс вольт-ампер сипаттамасы

Транзистордағы токтар арасындағы қатынас келесі коэффициентпен сипатталады:

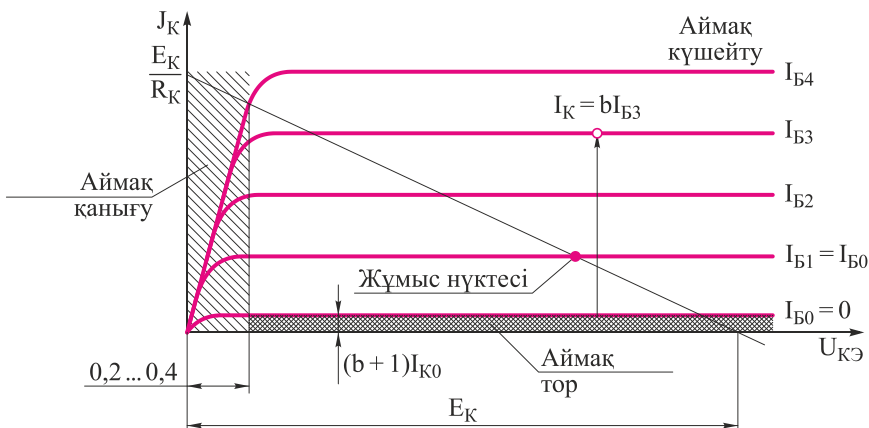
$$\alpha = i_K/i_E$$

мұндағы  $\alpha$  — эмиттер тогын беру коэффициенті

$$\beta = i_K/i_B$$

мұндағы  $\beta$  — база тогын күшейту коэффициенті.

Транзисторларды пайдалану мақсатына, физикалық қасиеттеріне, негізгі электрлік параметрлеріне, құрылымдық-технологиялық белгілеріне, шығыс жартылай өткізгіш материалдың тегіне қарай жіктеу олардың типін шартты белгілеу жүйесінде көрініс береді. Транзисторлардың жаңа жіктелім тобының пайда болуына сәйкес олардың шартты белгісінің жүйесі де жетілдіріле түседі.



1.9-сурет. ЖЭ схемасындағы транзистордың шығыс вольт-амперлік сипаттамасы

Транзисторлар типін белгілеу жүйесі ЖСТ 11336.919 — 81 жүйелік стандартымен белгіленген және жіктелім белгілеріне сай базаланады. Белгілеу жүйесінің негізін әріптік-сандық код құрайды.

Кейбір транзисторларды белгілеу мысалы:

КТ604А — кремнийлі, биполярлық, орташа қуатты, төмен жиілікті, әзірлеу нөмері 04, А тобы;

2Т920А — кремнийлі, биполярлық, үлкен қуатты, жоғары жиілікті, әзірлеу нөмері 20, А тобы;

КТ8150А1 — кремнийлі, биполярлық, үлкен қуатты, 3-тен 30 МГц-ға дейін шектелген жиілікті, әзірлеу нөмері 150, А тобы, кристалл ұстамайтын икемді шығыспен;

КТ937А-2 — кремнийлі, биполярлық, үлкен қуатты, жоғары жиілікті, әзірлеу нөмері 37, А тобы, корпуссыз, кристалл ұстайтын икемді шығыспен.

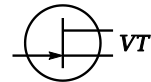
2ПС202А-2 — орташа жиілікті аз қуатты кремнийлі өрістік транзисторлар жиынтығы, әзірлеу нөмері 02, А тобы, корпуссыз, кристалл ұстайтын икемді шығыспен.

*p*—л-ауысулы басқарылатын *өрісті транзисторлар* мысалы л-типті пластинадан тұрады. Қарсы жағында пластина шығыс тізбекке қосылатын электродтар болады. Шығыс сигнал көзі *p*-типті аймаққа қосылады. Сөйтіп, өрісті транзистор үш электродтан тұрады: бастау, ағын, бекітпе.

Өрісті транзистордың шартты-графикалық бейнесі 1.10-суретте берілген.

Өрісті транзистор жұмысының принципі келесіден тұрады: кіріс кернеуі әсерінен *p* — л-ауысуының жабын қабатының қалыңдығы өзгереді. Ол кезде негізгі тасымалдауыштар тогы өтетін каналдың көлденең қимасының ауданы өзгереді, сәйкесінше ток мәні де өзгереді. Өрісті транзисторларды каналды деп те атайды. Өрісті транзисторлар биполярлық транзисторлар сияқты қосылудың үш схемасынан тұрады: жалпы бастау, жалпы ағын, жалпы бекітпе.

Өрісті транзистордың негізгі параметрлері:



■ тіктігі  $S = \frac{\Delta i_c}{\Delta U_{3И}} [mA/B]$ .

1.10-сурет. Өрісті транзисторды принципіальды электр схемасында белгілеу

Тіктіктің жылулық мәні 3...5 мА/В құрайды. Тіктігі жағынан өрісті транзисторлар биполярлық транзисторлардан артта қалады;

- шығыс кедергі  $R_i = \frac{\Delta U_{СИ}}{\Delta i_c}$  [Ом]

Шығыс кедергі сипаттаманың еңіс учаскесінде жүздеген килоомды құрайды;

- кіріс кедергі  $R_{вх} = \frac{\Delta U_{ЗИ}}{\Delta i_3}$  [Ом]

$p$ —л-ауысудың кедергілі сыйымдылығы жоғары жиілікте кіріс кедергісін төмендетеді. Кіріс кедергі мегаом бірлігін құрайды;

- күшейту коэффициенті  $\mu = \frac{\Delta U_{СИ}}{\Delta U_{ЗИ}}$

Өрісті транзисторлар күшейткіштерде, қайта қосқыштарда, логикалық элементтерге кеңінен қолданылады.

## **1.7. ЖАРТЫЛАЙ ӨТКІШГІШТІ ФОТОЭЛЕКТРОНДЫ ҚҰРАЛДАР**

Фотоэлектронды құралдар сәулеленудің көзі мен қабылдағышы болып бөлінеді. Сәулелену көзі жарық шығарғыш диод болып табылады. Сәулеленуді қабылдағыш ретінде құрылғыларда көбінесе фоторезисторлар, фотодиодтар мен фототранзисторлар пайдаланылады. Сәуле қабылдағыш жұмысы ішкі фотоэффектіні, яғни сәуле әсерінен жартылай өткізгіштегі заряд тасымалдағышының бу генерациясында пайдалануға негізделген.

*Фоторезистор* — кедергісі жарық (сәуле) ағыны әсерінен өзгертін жартылай өткізгішті құрал. Егер сәулелену болмаса, онда фоторезистор үлкен кедергіге (қараңғы) ие болады да, сол арқылы қараңғы ток өтеді. Сәуле әсерінен ток фоторезистор арқылы ұлғаяды, ал резистор кедергісі кішірейеді. Фоторезистор сызықты ВАХ және сызықты емес энергетикалық сипаттамаға ие фоторезистордың негізгі параметрлер мен сипаттамалары:

- Фотоағынның ішкі күшею коэффициенті құралдың квантты тиімділігін, яғни құрал арқылы уақыт бірлігінде өтетін фото тасымалдағыштың квант сәулесінің толық санына қатынасын анықтайды;
- Фото өткізгіштіктің релаксациясының төмендеуінің тұрақты уақыты оптикалық қозу тоқтағаннан кейін сипаттаманың төмендеу жылдамдығын электрондар өмірі уақытына пропорционал көрсетеді;
- Монохроматикалық сезімталдық фотоағынның фоторезистордың

сезімтал ауданына түсетін толқындар сәулесінің толық қуатына қатынасымен анықталады;

- Бастапқы ағын немесе табу қабілеті;
- Шекті жұмыс кернеуі және таралатын қуаттылық;
- Толқындардың жұмыс ұзындығы.

Фоторезисторларды автоматика құрылғыларында жарық бергіштер ретінде пайдаланады. Олардың үлкен инерциялық күшімен төмен жиілікте (килогерц бірлігінде) жұмыс істейді. Фоторезисторлар төмен сезімталдық пен үлкен шуға ие.

*Фотодиод* — кері тогы жарық ағыны әсерімен өзгеретін жартылай өткізгіш құрал. Фотодиод сызықты энергетикалық сипаттамаға ие. Егер жарық ағыны нөлге тең болса, онда фотодиод арқылы қарапайым диодтың кері тогына тең қараңғы ток (20мкА-ға дейін) өтеді. Фотодиод сипаттамалары:

- Токтық сезімталдық (сәуленің бір реттік ағынымен құрылатын фототок мәнімен анықталады);
- Спектрлі сипаттама (материалдың толқын ұзындығына сезімталдығын оның төмендеген сәулесіне таратуды көрсетеді);
- Фототок өсуі мен түсуінің тұрақты уақыты (жарық ағыны модуляциясының жұмыс жиілігінің фото баға беруінің кемуі әлі байқалмайтын шекті мәнін анықтайды);
- Тез әрекет (жарық ағыны модуляциясының ең жоғары жиілігіне сәйкес келетін  $f$  шекті жиілікпен анықталады, онда статикалық сезімталдық төмен жиіліктегі сезімталдықтан 0,707 деңгейіне дейін азаяды);
- Қалыпты жұмыс кернеуі және ең жоғарғы шектеулі кері жұмыс кернеуі.

*Фотодиодтар* жақсы жиілікті қасиеттерге ие және бірнеше жүздік мегагерцке дейінгі жиілікте жұмыс істейді. Фотодиодтар теледидарларда, музыкалық орталықтарда басқару тетігінен дабыл қабылдау үшін қолданылады. Фотодиодтың кемшілігі-сәулеленуге сезімталдығы аз.

Фототранзистор корпусында ашық саңылау бар, ол саңылау арқылы жарық ағыны база саласына әсер етеді. Фототранзистордың коллекторлы өту жолы жабық, ал эмитерлі жолы ашық.

Фототранзистор келесі реттілікпен жұмыс істейді: оптикалық дабыл коллекторлы өту жолы базасында таралатын таратушы базасы тұсында жүзеге асады және электр өрісімен бөлінеді. Қосалқы таратушылар коллекторлы өту жолының фототогын жасайды, ал негізгі таратушылар база тұсында жинақталып, эмитерлі өту жолының шекарасында қозғалыссыз иондар қоспалары зарядтарын қалпына келтіреді.

Потенциалды өту кедергісі төмендеп, таратушының

эмиттерден базаға инъекцияланауын арттырады. Таратушылар база арқылы коллекторлы өту жолына таралып, оның электр өрісімен коллектор тұсына тартылады. Инжектрленген таратқыштар тоғы, тиісінше коллектор тоғы да оптикалық генерацияланатын таратқыштардың фототоқтарын арттырады.

Инъекция — көршілес саладан, сырттан жартылай өткізгішті берілген салаға енгізу жолымен тепе-теңдіксіз таратушыларды жасау механизмі.

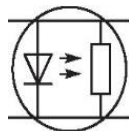
Транзисторлардың сезімталдығы фотодиодтарға (Р-транзистор базасы тоғын күшейту коэффициенті) қарағанда р есе көп. Фототранзистор ВАХ биполярлық транзистордың жалпы эмиттерлі сызба бойынша қосылған шығыс сипаттамасына ұқсас келеді. Фототранзисторлар бірнеше мегагерцке дейінгі жиілікте жұмыс істей алады. Сезімталдықты арттыру үшін жалғалмалы фототранзисторлар қолданылады.

*Сәуле шығаратын диод (жарықдиоды)* — жартылай өткізгіш құрал,  $p$ —  $n$ - өту жолына қосылған тікелей кернеу кезінде жарық ағынын сәулелендіруші. Жарықдиодындағы материал ретінде галий фосфиды, кремний карбиды қосындылары, сонымен қатар, фосфор, мышьяк, алюминий, галий негізіндегі үш мәртелік жалғау қолданылады. Жартылай өткізгіштерге қоспалар қосылған кезде түрлі түсті жарықтар пайда болады. Таратылған сәуле түстері жарықтықдиод корпусын қалыптастыру мақсатында құйылған силиконның химиялық құрамына байланысты болады. Жарықтықдиодтар байқалатын және инфрақызыл сәулелер диапазонында жұмыс істейді. Екі түсті жарықтықдиодтар бар. Өз құрылымдарында олар екі сәуле шығаратын өтпеден тұрады.

Сәуле шығаратын материалдың кристаллын өсіру кристаллдар өсіруге қолданылатын ауасы, газ құрамы бірнеше рет тазартылған ғимараттарда жүргізіледі және олардың қатынасы құпия түрде сақталады. Күшейту (температура, қысым) жағдайлары да маңызды роль атқарады. Жарықтықдиодтың негізгі сипаттары осы жағдайларға байланысты болады.

Жарықтықдиодтар тұрмыстық аппаратураларда, индикаторларда, оптрондарда кеңінен қолданылады. Қазіргі таңда жарықтықдиодты индикаторлар барлық қоғамдық көліктердің ақпараттық ақпараттық көрсеткіш тақта (таблolarы) ретінде қолданылады. Жарықтықдиодтар көбінесе жарық беру үшін қолданылады, себебі, олар қуаттылықты аз талап етеді және жарамдылық мерзімдері ұзақ (мыңдаған сағаттар), жарықтандыру спектрлері біркелкі.

*Оптрон* — сәулелендіру көзі мен қабылдаушы біріктірілген құрылымды жартылай өткізгішті құрал, олардың арасында оптикалық байланыс орнаған. Оптрондар кірісінде электрлік сигналдар әрекет етеді, сәулелену көзінде ол оптикалық сигналға айналады, байланыстық оптикалық каналы арқылы беріледі де, сәулелену қабылдағышына түседі, қабылдағышта оптикалық сигнал электрлік сигналға ауысады. Оптронның сәулелену тізбегі басқарушы болып аталады, ал қабылдағыш тізбегі басқарылатын болып аталады. Оптронның қасиеті- кіріс пен шығыс арасында байланыстың болмауы және шығыс пен кірістің арасында кері байланыстың болмауы. Егер оптронда бір сәулелендіруші мен бір қабылдаушы болса, ол оптопара деп аталады.



1.11-сурет  
Принципальды  
электр схемасында  
резисторлы  
оптопардың  
белгіленуі.

Резисторлы оптопарадасәулелендіруші ретінде жарықтықдиод, ал қабылдағыш ретінде-фоторезистор бар. Жағдайларға байланысты фоторезисторалар бірнешеу болады.

Диодты оптопарадасәулелендіру ретінде жарықтықдиод, ал қабылдағыш ретінде-фотодиод болады. Жарықтық пен қоса инфрақызыл диапазонда жұмыс істей береді. Диодты оптопар негізінде байламы жоқ импульсты трансформаторлар жасалған.

Транзисторлы оптопаракөбінесе кілтті режимде жұмыс істеп, коммутациялық құрылғыда қолданылады. Өрісті транзисторларды қолданатын оптопарлар пайдаланылады.

Резисторлы оптопардың шартты-графикалық белгісі 1.11. суретте берілген.

## 1.8. ЭЛЕКТРВАКУУМДЫ ҚҰРАЛДАР

Электрлі вакуумды құралдар (ЭВҚ) электронды және газзарядты (ионды) болып бөлінеді, электронды құралда вакуумда электр тоғы өтеді, ал газзарядтыда газдағы электр разрядтары қолданылады. ЭВҚ үлкен тобын әртүрлі функцияларды (күшейту, генерациялау, детектрлеу, үлгілеу, жиілікті түрлендіру) қолдануға арналған электронды лампалар құрайды. ЭВҚ төменгі жиілікті (ТЖ), жоғары жиілікті (ЖЖ) және шамадан тыс жоғары жиілікті (ШЖЖ) болады.

Қарапайым электронды лампаның (лампа диоды) екі электроды бар: катод және анод. Неғұрлым күрделі лампаларда

қосымша арнайы торлары болады: триодтан-біреу, тетродтан-екеу, пентодтан-үшеу, гексодтан-төртеу, гептодтан-бесеу, октодтан-сегіз. Электродтардың бірнеше жүйесі бар құрамдастырылған лампалар жасалды (екі есе диод, екі есе триод, екі есе пентод, триод-пентод).

Арнайы тағайындалған лампалар бар. ЭВҚ ең үлкен тобын электронды-сәулелі құралдар (қабылдағыш теледидар түтікшелері-кинескоп, теледидар түтікшелерін беруші), осциллографиялық түтікшелер (радиолокациялық станцияларға арналған индикаторлар) құрайды.

Негізгі газзарядты құралдар: лампалы стабилитрондар, тиратрондар, газзарядты индикаторлар, разрядниктар.

ЭВҚсонымен қатар катод түріне (жылытылған және салқын), баллон түріне (шыны, металл және керамика), салқындату тәсіліне (табиғи салқындату, әдейілеп салқындату) қарай бөлінеді.

Егер жартылай өткізгіш құралдарды лампалармен салыстырсақ, онда олардың келесі кемшіліктері бар: параметрлер нұсқадан нұсқаға таралады, қасиеттің температураға тәуелділігі, өз шуылының жоғары деңгейі, аса жоғары жиілікте жұмыс атқарғандағы проблемалар, төменгі кіріс және шығыс кедергілер, транзисторлардың төменгі пайдалы қуаты, төменгі радиациялық төзімділік.

*Лампалы диодтың вакуумды корпусы аноды мен катоды бар.* Катод электрондарды эмиссиялайды, қарапайым жағдайларда сым түрінде болады, ол бойынан ток өткенде қызады. Лампалы диодтарда көбінесе цилиндр түріндегі жасалған жанама қыздырылған катодтар қолданылады.

Цилиндр беті белсенді сілтілі металл қабатпен жабылған. Ол өз бетімен электрондарды өткізбейді. Бұл цилиндрлердің ішінде қатты қыздырылған сым түріндегі жылытқыш бар. Анодқа қалыпты кернеулі диод берілген кезде жеделдетілген электр өрісі беріледі және катодтан шыққан барлық электрондар анодқа жетеді. Егер анодқа теріс кернеу берілсе, онда электрондардың ешқайсысы анодқа түспейді, себебі, бұл жерде электр өрісі тежеулі болады, яғни, лампалық диодтың кері тоғы нөлге тең болады.

Лампалық диодтар да жартылай өткізгішті диодтар атқаратын функцияларды атқарады.

*Лампалық триодта* анод, катод және басқарушы тор бар. Тор анодты тоқты электрстатистикалық басқаруға арналған, тор потенциалы ауысқан кезде өріс те өзгеріп, ары қарай анод тоғы өзгеріске түседі. Триодта анод пен катод тура диодтағыдай болып келеді. Тор жұқа сымнан жасалады. Тор биполярлы



транзисторда базаға, ал өрісті транзисторда ысырмаға ұқсас келеді. Анод тоғы пайдалы болып табылады, ал тор тоғы пайдасыз, сондықтан лампалық триодтар тор мен катод арасындағы кері кернеу кезінде жұмыс істейді. Жұмыс учаскесі торда -3-тен -10-ға дейін кернеу болады.

Триодтың кемшіліктері:

- 1) Жеткіліксіз үлкен ішкі кедергі;
- 2) Айтарлықтай өтетін (паразитті) сыйымдылық. Сыйымдылық кедергісі жиіліктің өсуіне қарай төмендейді, сондықтан жеткілікті жоғары жиілікте анод-тордың сыйымдылық арқылы шығыс дабылының бөлігі тор тізбегіне еніп, күшеюдің төмендеуіне әкеледі, ал кейбір жағдайларда өзіндік қозуға әкеледі;
- 3) Күшеюдің аз коэффициенті.

*Лампалық тетрод* — төртэлектродты лампа, мұнда торды басқаратын және торды экрандайтын анод, катод бар. Экрандаушы торды жүргізген кезде күшейту коэффициенті бірнеше жүздеген есеге артады, ішкі кедергі бірнеше жүздеген килоомға артады. Сонымен қатар, келесі проблема анықталды: экрандаушы тордың кернеуіне жақын анодтағы кернеу кезінде анодтың сипатында сәтсіздіктер пайда болады. Анодты сипаттағы сәтсіздіктер электрондар анодқа жетіп, одан екінші электрондарды шығарып тастайды. Триодта олар қайтадан анодқа түседі (тартылады). Тетродта сонымен қатар, екінші электрондар бөлігі экрандаушы торға түседі, сондықтан, анодты тоқ төмендеп, сипаттамада сәтсіздіктер пайда болады. Бұл құбылысты ди натронды эсер деп атайды. Динатронды эсер паразитті модуляциялауды туғызуы мүмкін.

Динатронды эсермен күрес үшін анод пен экрандаушы тордың арасындағы қашықтықты артырып, бірінші және екінші тордың орамдары сәйкес келетіндей етіп орналастырылды.

Нәтижесінде электрондар катодтан анодқа тығыз түйіндермен бағытталады.

Анодқа жақын анодқа қайта келген екінші электронға арналған потенциалды кедергі туындатқан көлемді зарядты жасауға мүмкіндік туды. Сәулелі тетродта сәтсіздіктерді елеулі түрде төмендетуге мүмкіндік туды, алайда шағын тоқтар да олар қалды. Сондықтан, сәулелі тетродтар қуатты құрылғыларда, нақтырақ айтқанда анодтың үлкен тоқтарында қолданылады. Динатронды эсер пентодта толықтай жойылды.

*Лампалы пентод* өз құрылымында анод пен экрандаушы тор арасында үшінші торға ие. Оны қорғағыш немесе антидинатронды деп атайды. Қорғаныш торға нөлге жақын немесе нөлге тең (катодқа қатысты) потенциал беріледі.

Қоғаныш торды көбінесе катодпен лампаның ішінде жалғайды. Қорғаныш тор электр өрісін жасайды, ол алғашқыда тежеледі, сосын барып анодқа бағытталған екінші электрондарды итереді. Осының арқасында динатронды әсер толықтай басылып, электронды лампаның негізгі параметрлері жақсарады: күшейту коэффициенті артады, өту сыйымдылығы төмендейді. Пентод тұрмыстық және арнайы аппаратураларда қолданылатын негізгі электронды лампа болып табылды. Электронды лампаларды баспа төсемдерде орнату үшін жеке бөлік болады. Лампа істен шығып қалған кезде оны жаңасына ауыстыру өте оңай, ол аппаратураның жөндеуге жарамдылығын арттырады және бұзылымдарды анықтауды жылдамдатады. Жартылай өткізгішті құралдар істен шыққан жағдайда оны дәнекерлеру керек, ол жұмыс біраз уақытты алады.

Кейбір *арнайы лампаларды* қарастырамыз. Гепсодта төрт басқарушы тор бар, көбінесе бес торлы гептодтар қолданылады. Гептодта катод және алғашқы екі тор гетеродин (қосымша генератор) ретінде триод болып қолданылады. Қалған электродтар дабылдарды араластыру үшін араластырғыш ретінде қолданылады. Гепсодтар мен гептодтар жиілікті түрлендіру үшін қолданылады.

ШЖЖ атқарылатын жұмыстар үшін тетродтар мен пентодтар қолданылмайды, паразитті сыйымдылық пен индуктивтік ШЖЖ белгілі болып тұрады. ШЖЖ-диапазонда арнайы құрылымы бойынша керамикалық және металл керамикалық ШЖЖ-триодтар коаксиальды шығарыммен қолданылады. ШЖЖ жұмысы үшін тетродтар мен пентодтар қолданылмайды, паразитті сыйымдылық пен индуктивтік ШЖЖ үшін байқалады.

*Жүгірмелі толқынды лампалар*— электрлі вакуумды құрал, оның әрекеті бір бағытта қозғалатын электр магнитті толқындар мен электронды ағындар арасындағы өзара әрекеттестікке негізделген. Жүгірмелі толқынды лампалар ШЖЖ тербелісін күшейтуге пайдаланылады.

*Клистрон* — электрлі вакуумды құрал, оның жұмысы ШЖЖ өрісінің қозғалыстағы электрондармен өзара әрекеттесуіне (нәтижесінде электрондардың кинетикалық энергиясының бір бөлігі ШЖЖ-тербелісі энергиясына айналады) негізделген. Ұшпалы және бейнелегіш клистрондар болып ажыратылады. Біріншісі қуатты күшейткіштер ретінде, ал екіншілері қуаты аз генераторлар мен гетеродиндер ретінде қолданылады.

## 1.9. ГАЗОРАЗРЯДТЫ КҰДАЛАР

Газды разрядты құралдарда электр разрядтары төменгі қысымды жағдайда газды ортада болады. Электр разрядтар өзіндік және дербессіз болып бөлінеді. Біріншілері тек ана электр тоғының ықпалымен сүйемелденсе, ал екіншілері электр кернеуінен басқа сыртқы иондаушы факторларды талап етеді. Ондай факторлар болып радиоактивті сәулелену немесе термоэлектронды эмиссия болып табылады, яғни, қыздырылған электрод қолданылады.

Электрлі разрядтар әртүрлі болады: күңгірт, доғалы, ұшқынды және басты.

*Күңгірт (тыныш)* разряд дербессіз болып табылады, әдетте ол басқа разрядтардың алдында болады. Газдың жануы (сәулесі) байқалмаса да ол электроникада қолданылмайды.

*Жалынсыз разряд* өзіндік болып табылады. Газдың жануы жалынсыз көмірдің жануын еске түсіреді. Жүргізілген кернеу ондаған немесе жүздеген вольтты құрауы мүмкін. Жалынсыз разрядты құралдар газды разрядты стабилитрондар, тиратрондар ретінде қолданылады.

*Доғалы* разряд жалынсыз разрядқа қарағанда барынша жоғары тоқ тығыздығында пайда болады. Жоғалы разряд негізінде дербессіз типті доғалы разряд тиратрондары және өзіндік типті газды разрядниктер жасалған.

*Ұшқынды разряд* қысқа мерзімді типі разрядниктерде қолданылады, яғни, тізбектердің қысқа тұйықталуына арналған. Сонымен қатар, газдың қысымы өте жоғары болады.

*Басты газды разрядты* тұрақтандырғыштарда қолданылады.

## 1.10. ИНТЕГРАЛДЫ МИКРОСХЕМАЛАР

Интегралды микросхемалар (ИС) активті (транзистор, диод) және пассивті элементтерден тұрады және әртүрлі функцияларды орындауға арналған.

Интегралды микросхемалар дайындалу технологиясына байланысты, қабықшалы, гибриді және жартылай өткізгішті болып бөлінеді, ал элементтер санына қарай— қарапайым (10-

нан аз), орташа (10-нан 100-ге дейін), үлкендер (100-ден 1 000-ге дейін) және аса үлкендер (1000-нан жоғары).

Функционалды тағайындалуы бойынша барынша таратылған микросхемалар жіктемесі 1.2. кестеде берілген.

### 1.2-кесте

Шағын топ және микросхема түрлері	Белгілері
Қалыптастырғыш:	
атаулы ток	АА
тікбұрыш формалы импульстар	АГ
басқалар	АП
Есептеу құралдарының сызбасы:	
магистралды түйіндесу;	ВА
Кіргізу-шығаруды басқару (интерфейсті схема);	ВВ
бақылаушылар;	ВГ
микроЭЕМ;	ВЕ
мамандандырылған;	ВЖ
уақыт белгілейтін;	ВИ
микропроцессорлар;	ВМ
Үзілістерді басқару (үзілісті бақылаушылар)	ВН
Генераторлар	ГГ, ГФ
Арифметикалық-логикалық құрылғылар	ИА
Шифраторлар	ИБ
Дешифраторлар	ИД
Есептеуіштер	ИЕ
Сумматорлар	ИМ
Тіркелімдер	ИР
Логикалық элементтер: ЖӘНЕ — ЕМЕС;	ЛА
ЖӘНЕ — ЕМЕС/НЕМЕСЕ — ЕМЕС;	ЛБ

Шағын топ және микросхема түрлері	Белгілері
HEMEE — EMEC, ЖӘHE;	JE, JИ
HEMEE — EMEC, HEMEE;	JЛ
EMEC	JH
Триггерлер:	
типJK (әмбебап);	TB
типD (кідірісті);	TM
типRS(жеке қосумен);	TR
тип T (есептік);	TT
Шмитта (импульс қалыптастыру)	TЛ
ПЗУ:	
бірнеше есе бағдарламалау мүмкіндігімен;	PP
бір дүркін бағдарламалау мүмкіндігімен;	PT
Ультракүлгіндік өшіру мен электр жазбамен	PF
OEK (оперативті есте сақтау құрылғысы), салыстыру схемасы	PY, CП, CC
Түрлендіргіштер:	
Цифрлық-аналогты;	ПА
Аналогты-цифрлық	ПB

Қабықшалы ИС-да диэлектриктен (шыныдан, керамикадан) төсем болады. Пассивті элементтер (резисторлар, конденсаторлар, орамдар, трансформаторлар, элементтер арасындағы жалғаулар) төсемге қойылған қабықша түрінде жасалған. Қалыңдығы 2мкм-дан аспайтын жұқа қабықшалы және қалыңдығы 2мкм –ден едәуір асатын қалың қабықшалы ИС болып ажыратылу тиіс. Бұл ИС арасындағы айырмашылық оларды орнату технологиясына байланысты болады. Жұқа қабықшалы ИС материалды вакуумда ыдырату арқылы арнайы фотошаблондар арқылы алады, ал қалың қабықшалы ИС температура 1 000 °С.болғанда төсемге арнайы паста қыздыру жолымен алады. Төсемдер мұқият

тегістелген және жылтырлатылған қалыңдығы 0,5...1,0мм диэлектрлі пластинкадан тұрады.

Қабықшалы резисторларды дайындау кезінде түп төсемдерге резистивті қабықшалар төселеді. Егер резистор кедергісі қатты үлкен болмау керек болса, онда қабықша жоғары кедергілі қоспадан, мысалы, нихромнан жасалады. Ал жоғары кедергілі резисторларға металлдың керамикамен қоспасы қолданылады. Резистивті қабықшаларды ұштарын резисторды басқа элементтермен жалғастырушы металл қабықша түрінде жасайды. Қабықшалы резистор кедергісі қабықша әзірленген материалдың ұзындығына, қалыңдығына және еніне байланысты болады. Кедергіні арттыру үшін қабықшалы резисторлар ирек-ирек формада жасалады.

Қабықшалы резисторлардың үлесті кедергісі ерекше бірлікте- ом шаршыға көрінеді, шаршы формасындағы бұл қабықшаның кедергісі бұл шаршының көлеміне байланысты болмайды:

- Жұқа қабықшалы резисторларда үлесті кедергі 10-нан 300 Ом/П дейін болуы мүмкін. Олардың әзірлену дәлдігі түп төсемге байланысты болады. Түп төсем резистивті қабаты шамалап алшақтайды, мысалы, лазердің көмегімен қажеттіден әдейілеп біршама азайтылған кедергі де қажетті мәнге дейін арттырылады.
- Қалың қабықшалы резисторларды үлесті кедергісі 2 Ом/П-ден 1 МОм/П дейін болады. Олардың тұрақтылығы жұқа қабықшалы резисторларға қарағанда нашар болып келеді.

*Қабықшалы конденсаторлар* көбінесе тек екі қоршаумен жасалады. Олардың біреуі түптөсемге қойылып және жалғауыш сызық түрінде жалғасады, содан кейін оған диэлектрлі қабықша төселеді, ал үстіне жалғауыш сызыққа өтетін екінші қоршау салынады. Диэлектрик қалыңдығына байланысты конденсаторлар жұқа қабықшалы және қалың қабықшалы болып бөлінеді. Диэлектрик ретінде әдетте кремний оксиді, алюминий оксиді немесе титан оксиді қолданылады. Үлесті сыйымдылық шаршы миллиметрге оннан мың пикофарадқа дейін болуы мүмкін және осыған сәйкес конденсатор ауданы  $25 \text{ мм}^2$  болғанда қалыпты жүздеген пикофарадтан бастап мыңдаған пикофарадқа дейінгі сыйымдылық қол жеткіземіз.

*Қабықшалы орауыштар тегіс шиыршық түрінде, көбінесе тікбұрышты пішінде болады. Өткізілетін сызықтар мен сәулелер ені олардың арасында әдетте бірнеше ондаған микрометрлерді құрайды. Үлесті индуктивтік  $10...20 \text{ мГн/мм}^2$ .*

25 мм<sup>2</sup> ауданда 0,5 мкГн дейінгі индуктивтікке қол жеткізуге болады. Мұндай орауыштар қатты төзімді болып келмейді. Индуктивтік орауыш мықтылығы оның реактивті кедергісінің белсенділікке қатынасымен беріледі. Әдетте мұндай орауыштар бірнеше микрогенри индуктивтіктен жасалады. Индуктивтікті орауышқа өзек ретіндегі ферромагнитті қабықша орау арқылы қол жеткізуге болады. Қабықшалы орауыштың ішкі ұшынан шығаруды құру кезінде кейбір қиындықтар туындап жатады. Бұл үшін орауыштың сәйкес орнына диэлектрлі қабықшаны орнатып, ал бұл қабықшаның үстіне-металл қабықша орнату керек (қорытынды).

Гибридті ИС. Гибридті ИС — интегралды схема, оған гибридті ИС компоненттері деп аталатын қабықшалы пассивті және аспалы элементтер (резисторлар, конденсаторлар, диодтар, оптрондар, транзисторлар) қолданылады. Транзисторлар мен диодтар корпуссыз жасалған. Элементтер мен компоненттер арасындағы электр байланыстары қабықшалы немесе сымды монтаждау көмегімен атқарылады.

Гибридті ИС келесі түрде әзірленеді. Бірінші түптөсем жасалады, сосын ол мұқият тегістеліп, жылтыратылады. Сосын оған резистивті қабықша жауып, ары қарай конденсаторлар төсемдері, орауыштар, жалғауыш сызықтар, диэлектрлі, содан кейін қайтадан металл қабықшалар орнатылады. Активті (белсенді) және басқа да дискретті элементтер ілінеді («жабыстырылады»), олардың қорытындылары дәнекерлеу арқылы түптөсемге сәйкес нүктеге жалғанады. Схеманы корпуста орнатып, корпусың байланыс істігіне жалғайды. Схеманы сынап көру жұмыстары жүргізіледі. Ары қарай корпус герметизацияланады және таңбаланады, яғни, оған қажетті шартты белгілерді орнатады.

Гибридті ИС бір түрі -микротоптама деп аталады. Әдетте олардың құрамында әртүрлі элементтер, компоненттер және интегралды схемалар болады. Микротоптаманың ерекшелігі олар жеке қолданылатын бұйымдар болып табылады, яғни нақты бір аппаратура түріне ғана әзірленеді. Қарапайым ГИС жалпы қолданысқа жататын, аппаратуралардың көптеген түрлеріне жарамды болып табылатын. Кей жағдайларда микротоптамалар деп бір корпуста және өзіндік қорытындысы бар бірнеше активті немесе пассивті элементтер жиынтығы да аталады. Микротоптама функционалды аяқталған құрығы болып табылады, мысалы, кең сызықты фазалы детектор, фаза айналдырғыш, электронды-басқарушы аттенюатор.

Жартылай өткізгішті ИС. Жартылай өткізгішті-

микросызба, элементтері жартылай өткізгішті түптөсемдердің жоғарғы қабатында орындалған.

Түптөсемді механикалық өндеген соң, түптөсемнің беткі қабатында бұзылған қабат пайда болады. Тереңдігі бойынша ол ерекше аймақтарға бөліне алады. Ge, Si, GaAs және басқа кристалдар үшін оларды кесіп, ажарлағаннан соң тегіссіздіктің 0,3...0,5 орташа биіктіктегі тереңдігінде рельефті аймақ орналасады, онда монокристалл құрылымдарының: монокристалл сынық, уақталмаған блоктар, жарықшақтар, дөңестер, түрлі өлшемді ойыстарының ақаулары мен бұзылуының бірдей түрі байқалады. Кесілген соң ақаулар ажарландырылған кристалдарда қима бойынша тегіс кесілген алмаз ұнтақтарынан параллель жол тәрізді орналасады. Жылтыратқаннан соң бірінші қабат ажарлау кезіндегіге қарағанда кіші беттік бұдырлардан тұрады. Ажарландырылған бетке қарағанда бұл қабат аморфты. Екінші қабат та аморфты, оның тереңдігі беткі бұдырлық тереңдігінен 2-3 есе үлкен. Үшінші қабат аморфты құрылымнан бұзылмаған монокристаллға өту қабаты болып табылады және серпінді не пластикалық деформациядан, дислокациядан, ал кейбір жағдайларда жарықтардан тұрады. Жартылай өткізгішті түптөсемдер бетін өңдеу және дайындау үдерісінде берілген кристаллографиялық бейімдеу кезінде жазық параллельділіктің жоғары дәрежесі бар жетілдірілген бет құру қажет. Беткі ластанулар ең төмен болуы керек.

Қазіргі таңда көптеген жартылай өткізгішті ИС монокристалды кремний негізінде дайындайды, тек кейбір жағдайларда германий қолданылады. Бұл кремний германиймен салыстырғанда ИС элементтерін құруда маңызды бірқатар физикалық және технологиялық артықшылықтарға ие.

Кремний — қатты және берік материал, монокристалл күйінде ол жұқа қалыңдықтағы (1,3 мкм-ге дейін) консол, мембран түріндегі прецизиялық кең диапазонды берілістердің сезімтал элементтерін дайындауға жарамды.

Жартылай өткізгішті ИС дайындау технологиясы келесіден тұрады: р-типті кремний кристалы алынады, онда диффузия әдісімен л-типті аумақтар салынады. Бұл аумақтар «қалта» деп аталады да олардың сандары ИС элементі санына теңестіріледі. Әр қалтада қажетті активті және пассивті элементтер қалыптасады. Қалта кері байланыс берілетін р-л ауысудан тұрады. Р-л ауысу кедергісі 1 МОм-ды құрайды.



## **1.11. ҮЛКЕН ИС ЖОБАЛАУ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІ**

---

Үлкен ИС жетілдіру кезінде элементтер санын арттыруда қиындық туындайды. Оны шешіп, жобалаушылар бір-біріне параллель бірнеше қабатта орналасқан Оны шешіп, жобалаушылар бір-біріне параллель бірнеше қабатта орналасқан бірнеше төсемдерді пайдаланатын көпқабатты (көпдеңгейлі) құрылымға келді. Бұл кезде түрлі деңгей төсемдері арасында электр қосылыстарын қамтамасыз ету мәселесі туындайды. Әдетте, төсемде ИС төсемнен төсемге сандық сигналдарды беретін үлкен электр схемасының функционалды тұрғыдан аяқталмаған фрагментін орналастыруға тырысады.

Үлкен ИС қосылыстарды қамтамасыз ету үшін көпдеңгейлі ажыратқыштың арнайы бағдарламасы пайдаланылады. Үлкен ИС кремний кристалында орындалады, олардың арасында жартылай өткізгішті технология бойынша орындалған диэлектрик қабықшалы қабаты орналасады.

Арнайы тапсырманы орындауға, әдетте, сандық аппаратураларда жартылай өткізгіш технологиясы бойынша орындалған жартылай тапсырысты үлкен ИС арналады. Оларды әзірлеу үшін одан әрі қолданысы ерекшелігіне байланысты түрін өзгерте алатын базалық кристалдар пайдаланылады. Базалық кристалдар өз құрамында 1-ден 20 мыңға дейінгі элементтерден тұрады.

Жартылай тапсырысты үлкен ИС бірнеше кезеңмен әзірленеді:

1) тапсырысшы дайындаушы кәсіпорынға нақты схематехникалық құрылым үшін құжаттама кешенін әзірлеуге техникалық тапсырма береді, құжаттар қатарына элемент аралық байланысты орындауға арналған құжат міндетті түрде кіруі керек;

2) әзірлеуші қажетті электр схемасы іске асырылатын базалық кристалдың лайықты түрін таңдайды;

3) есептеуіш жүйелер мен арнайы бағдарламалық өнімдерді қолдану кезінде әзірлеуші үлгілеудің бірнеше нұсқасын жүргізіп, ең жақсысын таңдағаннан кейін құрылымдық құжаттардың толық пакеті әзірленеді;

4) әзірленген құрылымдық құжаттама бойынша жартылай өткізгішті базалық кристалда элемент аралық қосылыс орындалады, нәтижесінде кристалл 20 мыңға дейінгі транзисторларды қамтитын күрделі функционалды аяқталған құрылымға айналады;

5) кристалл корпусқа орналасады, кристалл шығыстары корпус шығыстарына жалғанады, арнайы қабырғада қызмет етуіне тексеріс

жүргізіледі. Үлкен ИС әзірлеудің қорытынды операциялары орындалады.

## 1.12. ИС БЕЛГІЛЕУ ЖҮЙЕСІ

ИС пайдалану үшін әріптік-сандық код қолданылады. Код ИС корпусына жазылады, сол арқылы ИС корпусының функционалды мақсаты мен типін анықтауға болады.

Белгілеу жүйесі 6 элементтен тұрады:

К	Р	1	118	ПА	1Б
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)

(1) — ИС кең қолданысқа (санға) ие екенін көрсетеді;

(2) — корпус типі (әріп): Р — 2-типті пластмасса корпус (планарлы), А — 4-типті планарлы корпус, Е — металл полимерлі корпус, И — әйнек керамикалы, М — металл керамикалы, Ф — микрокорпус;

(3) — микросхема типі (саны): 1, 5, 6, 7 — жартылай өткізгішті ИС; 2, 4, 8 — гибриді ИС; 3 — берік (пленкалы, керамикалық) ИС;

(4) — әзірлеменің реттік саны (2 не 3 сан) ИС нақты сериясының нөмерін сипаттайды;

(5) ИС функционалды мақсаты (2 әріп). Күшейткіштер: ЖК — жоғары жиілікті күшейткіш, ОК — операциялық күшейткіш, ИК — импульсті күшейткіш, КК — кеңжолақты күшейткіш, ТК — төмен жиілікті - күшейткіш, АК — аралық жиілікті күшейткіш, ҚК — қайталағыш күшейткіш, ДК — дифференциалды күшейткіш, ТК — тұрақты ток күшейткіші, БК — берік күшейткіштер. Генераторлар: СГ — синусоидальды сигнал генераторы, ТГ — тікбұрышты сигнал генераторы, ШГ — шу генераторы, ССГ — сызықты өзгеретін сигнал генераторы. Детекторлар: АД — амплитудалық детектор, ФД — фазалық детектор, ЖД — жиілікті детектор, ИД — импульсті детектор, БД — басқа детекторлар. Модуляторлар: АМ — амплитудалық модулятор, ЖМ — жиілікті модулятор, ФМ — фазалық модулятор, ИМ — импульсті модулятор. Элементтер жинағы: ТЖ — транзисторлар жинағы, ҮЖ — үйлестірілген жинақ, КЖ — конденсатор жинағы, РЖ — резистор жинағы, ДЖ — диодтар жинағы. Түрлендіргіштер: САТ — сандық-аналогты түрлендіргіштер, АСТ — аналогты-сандық түрлендіргіштер, ЖТ — жиілікті түрлендіргіш, ФТ — фазалық түрлендіргіш, ҚТ — қуатты түрлендіргіш, КТ — кернеу түрлендіргіші, ДТ — деңгей түрлендіргіші, ЖС — жиілік синтезаторы, ЖК — жиілік көбейткіші, ЖБ — жиілікті бөлгіш. Сүзгілер: ЖЖС — жоғары жиілікті сүзгі,

ЖС — жолақты сүзгі, ТЖС — төмен жиілікті сүзгі, РС — режекторлық сүзгі. Сандық құрылғылар: ИМ — сумматор, ИЕ — есептеуіш, ИР — регистр, ИВ — шифратор, ИД — дешифратор, ИП — басқалары. Логикалық элементтер: ЛА — ЖӘНЕ — ЕМЕС, ЛИ — ЖӘНЕ, ЛС — ЖӘНЕ — НЕМЕСЕ, ЛН — ЕМЕС. Есептеуіш құрылғылар: ВЕ — микроЭЕМ, ВК — контроллер, ВМ — микропроцессор, ВФ — функциональды түрлендіргіштер (тригонометриялық, логарифмдік, арифметикалық), ВТ — жадты басқару, ВК — үйлесімді есептеуіш құрылғылар, ВХ — микрокалькуляторлар. Жадта сақтау құрылғылары: РУ — оперативті жадта сақтау құрылғылары (ОЖСҚ), РЕ — тұрақты жадта сақтау құрылғылары (ТЖСҚ), РФ — ақпаратты ультракүлгін сөндіру және электрлі жазатын ТЖСҚ. Триггерлер: ДТ — динамикалық триггер, ҮТ — үйлестірілген триггер, ШТ — Шмитт триггері;

(6) — нақты серия әзірлемесінің реттік саны, А-дан Я-ға дейінгі әріптер электр параметрі бойынша ИС әзірлеуді көрсетеді.

мысалы: К155ЛА1 — ЖӘНЕ-ЕМЕС логикалық элементтің кең қолданыстағы жартылай өткізгішті ИС.

### **1.13. ФУНКЦИОНАЛЬДЫ ИС**

Беткі акустикалық толқын құралдары электронды техникада кең таралған.

БАТ құралдарының жұмысы негізінде акустоэлектрлік эффект, яғни ультрадыбыстық толқындардың дыбыс жетегі бетіне әсері жатыр. Серпінді толқындар қатты дене беті бойынша таралады. Беткі толқындар тік поляризацияға ие, толқындағы бөлшектердің араласуы дыбыс жетегі шегіне перпендикуляр жүреді. Дыбыс жетегі ретінде пьезоэлектр материалынан жасалған пластина (литий ниобиті, пьезокварц, пьезокерамика) қызмет етеді. Дыбыс жетегіне қабылдығы 0,5 мкм-нен аспайтын металл пленкадан жасалған тарақты электродтар түрінде электромеханикалық түрлендіргіште салынған. Оларды қарсы-бұдырлы түрлендіргіштер (ҚБТ) деп атайды.

Кіріс ҚБТ-ға сигнал көзі жалғанған, оның кернеуінің әсерімен ҚБТ-дағы электр толқындары акустикалыққа (механикалыққа) ауысады. Акустикалық толқындар одан әрі дыбыс жетегі бетінің бойымен таралады да шығыс ҚБТ-ға жетеді, онда жүктеме кедергісіне түсетін электр сигналына айналады. Бұндай өту кезінде ҚБТ (кіріс және шығыс) геометриялық өлшемі мен формаларына байланысты электр сигналдарының түрленуі орын алады, мұнда

ҚБТ-дағы бұдыр санына өткізетін сигналдардың қатыстық жолағы (жиілік бойынша) байланысты болады. Бұдыр саны қаншалықты көп болса, сүзгімен өткізілетін жиілікті жолағы қатысты болады. Ең кең жолақ екі бұдыр кезінде болады.

БАТ құралдары негізінде тежеу сызықтары, теледидарлардағы қарапайым LC-сүзгілерді ығыстырған жолақты сүзгілер құрылған. БАТ негізіндегі сүзгілерді кіріс сүзгі ретінде радиолокациялық қабылдағыштарда пайдалануға болады. Түрлі жиілікте сүзгілеуге арналған сүзгілердің алуан түрлері бар. БАТ негізіндегі құралдарды 2 ГГц-ға дейінгі жиілікте пайдаланады. БАТ негізіндегі құралдарды құру үшін есептеуіш кешендерінде математикалық үлгілерді қолданады.

## **БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ**

---

1. Электрониканың негізгі элементтері қалай жіктеледі?
2. Радиотолқындар көмегімен ақпаратты тарату принципі қандай?
3. ТОБЖ құрылымы неден тұрады? Оның сипаттамасын атаңыз.
4. Конденсатор неге арналған?
5. Резисторлар қалай таңбаланады?
6. Диодтар қандай функцияны атқарады?
7. Транзистор деген не?
8. Қандай құрылғыларда жартылай өткізгіш фотоэлектронды құралдар пайдаланылады?
9. Газразрядты құралдар қалай жіктеледі?
10. Интеграл жүйесінің негізгі типтерін атаңыз.
11. Үлкен интеграл схемасын жобалаудың негізгі кезеңдерін атаңыз.

## СХЕМАЛАРДЫ ҮЛГІЛЕУ ҮШІН MICRO-CAP БАҒДАРЛАМАСЫН ПАЙДАЛАНУ

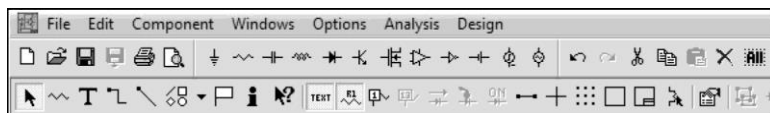
### 2.1. СХЕМАЛАРДЫ micro-cap-ТА ҮЛГІЛЕУ

Micro-Cap бағдарламасы сигналдың тізбек бойымен өтуіне талдау жасауға, жиілік және берілісті сипаттамаларды шығаруға, токтар мен олардың тізбек элементіндегі таралатын қуаты мәнінің ағу жолын белгілеуге мүмкіндік береді. Құрамдастар библиотекасы екі үлкен тараудан тұрады: аналогты және цифрлық құрамдастар.

Бағдарламаның базалық пакетінде шетелдік құрамдастардың библиотекасы бар. Орыс тілді құрамдас библиотекасын қосуға болады. Ол үшін MC7/LIBRARY директориясындағы файлдарды жазып алып, содан кейін олардың аттарын NOM.LIB файлына алдыңғы жолдарға ұқсатып (мысалы, .lib «R-NPN.lib») жазу керек.

Жаңа файл құру кезінде File ^ New ^ Schematic таңдаңыз. Жабдықтардың жоғары панелінде (2.1-сурет) негізгі элементтер: жерге тұйықтау, резистор, конденсатор, индуктивтілік шарғысы, диод, транзистор, операциялық күшейткіш, кернеу көзі, гармониялық және импульсты сигнал көздері көрсетілген.

Элементті бағдарлама парағына қосу үшін панельді қолдануға болады. Егер элемент жоқ болса, онда Component мәзір тармағын таңдау керек.



2.1-сурет Micro-Cap программасының мәзір көрінісі



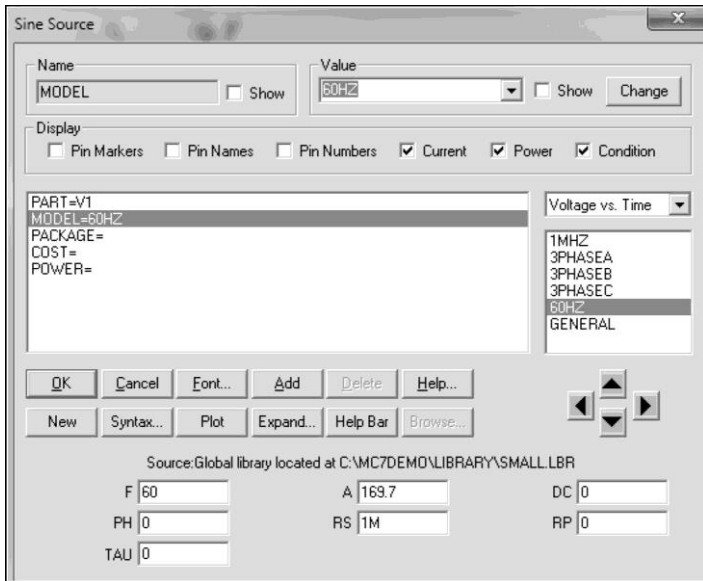
2.2-сурет. Резистор параметрі тапсырмасының диалогтік терезесі

Резистор қосымшасын қарастырайық. Элементтері бар панельде ол реті бойынша екінші сым түрінде тұр. Мәзірде ол Component ^ Analog Primitives ^ Passive Component ^ Resistor жолымен тұр. Параққа қою кезінде элементтің диалогтік терезесі пайда болады да, Value бағанына қарсы физикалық шама бірлігінің мәні қойылады. Part параметрі элементтің схемадағы орнын білдіреді, ол құрамдастары қосылған сайын автоматты түрде қойылады, қажет болса оны өзгертуге болады (2.2-сурет). Show қанатшасымен элемент жанына номинал бенесі орнатылады.

Элементтің схемадағы күйі тігінен не көлденең болуы мүмкін болғандықтан, оны айналдыру қажеттілігі туындайды. Ол үшін элементті белгілеп алу үшін қара бағыттауышты басыңыз. Тінтуірдің сол батырмасын ұстап тұрып, оң жағын шертіңіз, элемент өз күйін өзгертеді.

Гармониялық сигнал көзінің бапталуын қарастырайық. Дерек көзі Component ^ Analog Primitives ^ Waveform Sources ^ Sine Source командасымен қойылады. Пайда болған диалогтік терезеде оның параметрлері бапталады: F — негізгі тербеліс жиілігі, A — тербеліс амплитудасы, DC — тербелістің тұрақты құрамдасы, PH — бастапқы фаза, RS — ішкі кедергі, RP — өшетін сигналдың қайталану кезеңі, TAU — сигнал амплитудасының экспонентті заңдылық бойынша өзгеру уақыты тұрақтылығы (2.3-сурет).

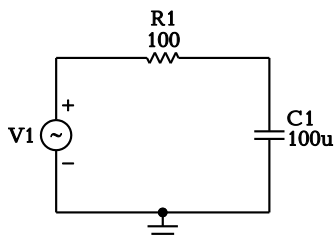
Схемаға резистордың оң жағына конденсаторды қосыңыз, 100u



2.3-сурет. Гармониялық тербеліс көзі параметрлерін баптау диалогтік терезесі

(100 мкФ) мәнін көрсетіңіз, байланыстырушы желіні алыңыз да, оны контуры бойынш тұйықтаңыз, төменгі байланыстырғыш желісіне жерлендіруді қосыңыз (2.4-сурет).

Схема талдауын қарапайым қылу үшін сипаттамалы мәнді нүктелерді қойып шығу керек. Нүктеге ат беру Т жабдығы көмегімен іске асырылады. Жабдықты таңдаңыз оны сигнал көзі жанындағы сызық үстінен ұстаңыз және пайда болған IN диалогтік терезесінде енгізіңіз.



Сурет 2.4. Micro-Cap схемасының мысалы

Конденсатор жанына OUT атты нүктені белгілеңіз.

Талдау жүргізу үшін негізгі мәзірде Analysis командасын таңдау керек. Transient Analysis — уақытша (айнымалы) зерттеу; AC — жиілік сипаттамасын зерттеу; DC — тұрақты токқа берілетін сипаттамаларды зерттеу.

Уақытша зерттеу баптауларын қарастырамыз. Transient Analysis қосыңыз. Баптау диалогтік терезесі пайда болады, ол 2.1-кестеде берілген. Осы кесте бойынша зерттеу параметрлерін енгізіңіз.

Уақытша зерттеу бапталуының параметрлері:

- Time Range — зерттеу уақыты, секундпен беріледі;
- Maximum Time Step — ең жоғары уақыт қадамы;
- Temperature — температура, градус Цельсиймен беріледі;
- Operation Point — айнымалы зерттеулерді әр есептеу басталар алдында тұрақты ток бойынша есептеу режимін қосу;
- P — графика нөмері, түрлі графикада уақытша зерттеу құруға болады, ол үшін келесі сандарды – 2, 3 және т.с.с. көрсету керек.
- X Expression — X өсі, T мәні график уақыт бірлігімен құрылып жатқанын көрсетеді;
- Y Expression — Y өсі, кернеу өзгерісі графигі құрылатынын білдіреді, жақшада зерттеу жүргізілетін нүктенің нөмері мен аты көрсетіледі.
- X Range — X өсі бойынша құрылым интервалдары, бірінші сан зерттеудің соңғы уақытын білдіреді, екінші сан – координат басталуын, үшінші сан – қосалқы желі қадамын білдіреді, барлық мәндер үтірмен бөлектенеді, ал тұтас емес бөлік нүкте арқылы жазылады.

## 2.1-кесте

Time Range	0.1	—	—	—
Maximum Time Step	0	—	—	—
Temperature	27	—	—	—
P	X Expression	Y Expression	X Range	Y Range
1	T	v(IN)	0.05,0,0.01	300,-200,100
1	T	v(OUT)	0.05,0,0.01	300,-200,100

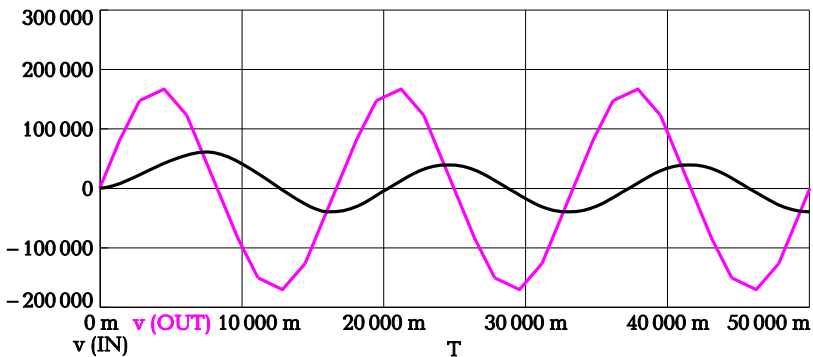


- Y Range — Y осі, бірінші сан – шкаланың ең жоғары шегін, екінші сан – шкаланың ең төменгі шегін, үшінші сан – қосалқы торкөз қадамын білдіреді.

Баптау терезесінде келесі қосымшалар да болады:

- Run — үлгілеуді бастау;
- Add — курсор тұрған жолдан соң спецификация жолын қосу, бұл кезде мән курсор тұрған жолдағыдай болады;
- Delete — курсор тұрған жолдағы спецификация жолын жою;
- Expand — курсор мәні бар бағандардың бірінде, мысалы Y Expression болған кезде үлкен көлемді мәтінді енгізуге арналған қосымша терезе ашу;
- Stepping — параметрлерді түрлендірудің диалогтік терезесін ашу;
- Properties — 6 қосымшасы бар диалогтік терезе ашу:
  - 1) Plot — экран мен принтерге графиканы шығаруды басқару;
  - 2) Scales and Formats — координат өстері бойынша масштабтарды таңдау;
  - 3) Colors, Fonts and Lines — нысан түстерін, шрифт параметрлері мен сызық типтерін таңдау;
  - 4) Header — шығыс сандық деректерге тақырып қою;
  - 5) Save Waveforms — файлда сақтау үшін бір не бірнеше айнымалыларды таңдау;
  - 6) Tool Bar — пиктограмм командасын жабдықтар панеліне салу.

Параметрлері осылай берілгенде екі уақытша сигнал да бір графикте көрініс табады (2.5-сурет).



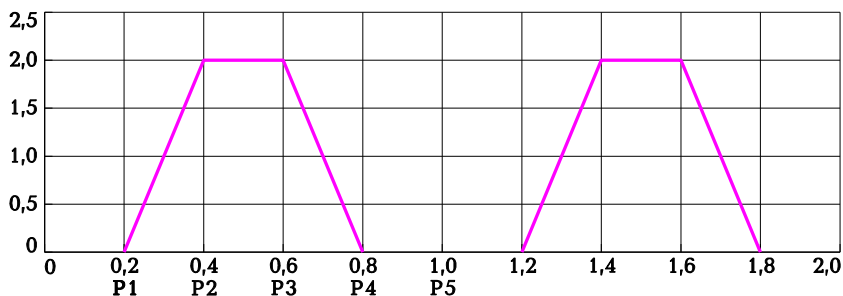
Сурет 2.5. Micro-Cap-да уақытша зерттеу нәтижесі

Белгіленуі	Параметр	Өлшем бірлігі	Бастапқы күйі бойынша мәні
VZERO	Амплитуданың бастапқы мәні	B	0
VONE	Амплитуданың ең жоғары мәні	B	5
P1	Алдыңғы фронттың басталуы	c	$10^{-7}$
P2	Импульстың жазық шыңының басы	c	$1,1 \cdot 10^{-7}$
P3	Импульстың жазық шыңының соңы	c	$5 \cdot 10^{-7}$
P4	VZERO деңгейі жетудің басы	c	$5,1 \cdot 10^{-7}$
P5	Қайталау кезені	c	$10^{-6}$

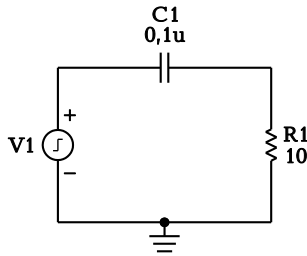
Конденсатордағы шығыс сигналының амплитудасы аз болады.

Сигналдың импульсты көзі бар тізбек жұмысын қарастырайық. Импульсты көз: Component ^ Analog Primitives ^ Waveform Sources ^ Pulse Source командасымен шақырылады. Сигналдың импульсты көзінің параметрлері 2.2-кестеде берілген.

2.2-кестеде көрсетілген параметрлердің белгіленуі 2.6-суретте бейнеленген. Егер импульстың алдыңғы фронтының мәні (P1) мен импульстың жазық шыңының басы (P2) сәйкес келсе, сондай-ақ импульстың жазық шыңының соңы (P3) мен VZERO деңгейіне жетудің басы (P4) сәйкес келсе, яғни  $P1=P2$  және  $P3=P4$  болса, тікбұрышты импульстардың кезегін аламыз.



2.6-сурет. Micro-Cap-да нақты сигналдағы параметрлердің белгіленуі

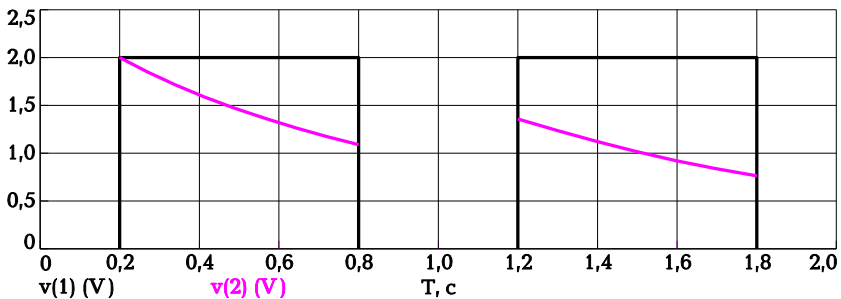


2.7-сурет. Micro-Cap –да дифференциаланатын тізбек

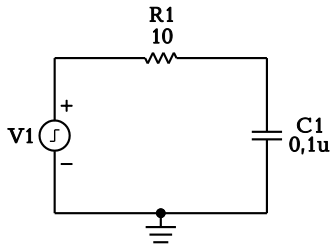
Сигналдың импульсты көзінің жұмысын түсіну үшін дифференциаланатын және интеграцияланатын RC-импульстарының айнымалы үдерістерін қарастырамыз:  $VZERO=0$ ,  $VONE=2$ ,  $P1=P2=200n$ ,  $P3=P4=800p$ ,  $P5=1u$ , мұндағы  $n$  — наносекундтар ( $1\text{ нс}=10^{-9}\text{с}$ ),  $u$  — микросекундтар ( $1\text{ мкс} = 10^{-6}\text{с}$ ).  $0,1u$  ( $0,1\text{ мкФ}$ )-ға тең конденсатор сыйымдылығын,  $100\text{ Ом}$ ға тең резистор кедергісін тандаймыз.

Дифференциаланатын тізбекте конденсатор бірден сигналдың импульсты көзінен кейін тұрады (2.7-сурет), импульстың жазық шыңына жеткен кездегі конденсатордағы кернеу максималды, импульс әсері кезінде конденсатор жүктеме кедергісінен разрядтала бастайды, разряд уақыты тізбектің тұрақты уақытымен анықталады да  $3\tau$ -ға тең болады, мұндағы  $\tau = RC$ .

$\tau = 1\text{ мкс}$  екенін, ал разряд уақыты сәйкесінше  $3\text{ мкс}$ -ке тең екенін есептеу қиын емес. Конденсатор импульс әсері кезінде разрядталып үлгермейді. Келесі импульс амплитудасы нөлге тең болған кезеңде, конденсатор зарядтала бастайды, бұл кезде импульстар арасындағы аралық кезең импульс ұзақтылығынан аз,



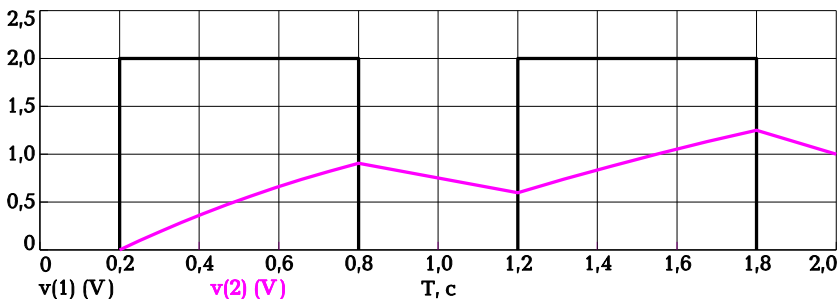
2.8-сурет. Micro-Cap –да дифференциаланатын тізбек сигналы



Сурет 2.9. Micro-Cap-да интеграцияланатын тізбек

ал заряд уатықы  $3\tau$ -ны құрайды. Импульс әсері кезінде конденсатор қайтадан разрядтала бастайды. Мұндай тізбек дифференциаланатын деп аталады. Дифференциаланатын тізбек графигі 2.8-суретте көрсетілген.

Интеграцияланатын тізбекте сигнал импульсы көзінен соң резистор тұрады (2.9-сурет). Импульс басталған кезде конденсатор зарядтала бастайды, заряд уақыты  $3\tau$ -ға тең болады. Импульс болмаған жағдайда конденсатор разрядталады, разряд уақыты заряд уақытынан аз болады, сондықтан әр импульстан соң конденсатордағы кернеу белгіленген деңгейге жеткенге дейін арта беретін болады. Егер импульстардың кезектесу кезеңін  $5\tau$ -ке дейін өзгертсе, онда конденсатор келесі импульс басталғанға дейін толық разрядталып үлгеретін болады. Интеграцияланатын тізбек графигі 2.10-суретте берілген. Конденсатор импульс кезінде зарядталып үлгеруі үшін импульс ұзақтығын  $3\tau$ -ке дейін арттыру,  $R3=R4=3200\Omega$  орнату, ал импульстың кезектесу кезеңін  $8\tau$ -ке дейін арттыру керек ( $P5=8$ ). Айнымалы үдерістер әр импульс үшін қайталанатын болады.



2.10-сурет. Micro-Cap-дағы интеграцияланатын тізбек шығысындағы сигнал

## 2.2. ЖЭ СХЕМАСЫ БОЙЫНША ТРАНЗИСТОРДАҒЫ КҮШЕЙТКІШ СХЕМАСЫ

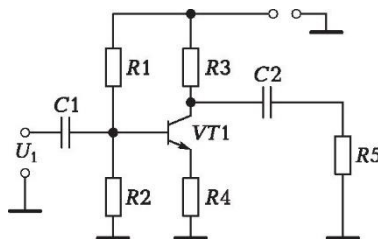
ЖЭ схемасы бойынша күшейткіш каскадта сигнал көзі транзистор базасына қосылады. Күшейткіш схемасы 2.11-суретте берілген. C1 конденсаторы ажыратқыш болып табылады, ол қоректендіргіш көзі тогын сигнла көзі тізбегіне өткізбейді, R1, R2 резисторлары база-эмиттер кернеуін тұрақтандыру үшін бөлгіш қалыптастырады және трназистордың кіріс сипаттамасында жұмыс нүктесін ұсынады. R4 резистор күшейткіш каскадының температуралық тұрақтылығын қамтамасыз етеді. C2 конденсаторы ажыратқыш болып табылады және қоректендіргіш көзінің тұрақты құрамдасын R5 резистор жүктемесіне өткізбейді. Синал көзі ретінде параметрлі гармониялық тербеліс көзін пайдаланамыз (2.3-кесте).

Элементтер номиналдары:  $C_1 = C_2 = 10$  мкФ,  $R_1 = 6\ 800$  Ом,  $R_2 = 2\ 000$  Ом,  $R_3 = R_5 = 1\ 000$  Ом,  $R_4 = 200$  Ом. Қоректендіргіш көзінің кернеуі 9 В. Схема құру кезінде элементтің реттік белгіленуі автоматты түрде пайда болады да, тек элементтер номиналдары көрсетіледі. Транзистор моделі — КТ315В.

Micro-Cap бағдарламасында биполярлы транзистор келесідей негізгі параметрлерге ие (2.4-кесте).

2.3-кесте

F	0,5MEG	A	0,5	DC	0
PH	0	RS	1m	RP	1u
TAU	0				



2.11-сурет. ЖЭ күшейткіш схемасы

Кесте 2.4

Параметр аты	Параметр	Өлшем бірлігі	Бастапқы күйі бойынша мәні
IS	27 °C температура кезіндегі қаныққан ток	A	$10^{-16}$
BF	ЖЭ схемасындағы ток күшеюінің ең жоғары коэффициенті	A	$10^2$
BR	ЖЭ схемасында инверсті режимдегі токтың күшеюінің ең жоғары коэффициенті	—	—
RC	Коллектордың көлемді кедергісі	Ом	0
RE	Эмиттердің көлемді кедергісі	Ом	0
RB	База-эмиттердің нөлдік ауысуы кезіндегі базаның көлемді (ең жоғары) кедергісі	Ом	0
TF	Қалыпты режимдегі база арқылы зарядты тасымалдау уақыты	c	0
TR	Инверсті режимдегі база арқылы зарядты тасымалдау уақыты	c	0
CJC	Нөлдік ауысуға көшу кезіндегі коллекторлық ауысу сыйымдылығы	пФ	0
CJE	Нөлдік ауысу кезіндегі эмиттерлік ауысу сыйымдылығы	пФ	0
VJC (PC)	База-коллектор ауысуының әлеуеттерінің контактілік әртүрлілігі	B	0,75
KF	Фликке-шудың спектрлік тығыздығын анықтайтын коэффициент	—	0

Каскадтың жұмыс қабілетін алдын ала тексеру үшін **Analysis > Probe Transient** командасын пайдалануға болады. Егер схемада қате болса, онда талдау терезесі пайда болмайды. Бағдарлама қате себебін хабарлайды. Үйреншікті қателер: элементтер шығысының біреуі жалғанбаған, элементтің реттік белгіленуі қайталанаты.

Кесте 2.5

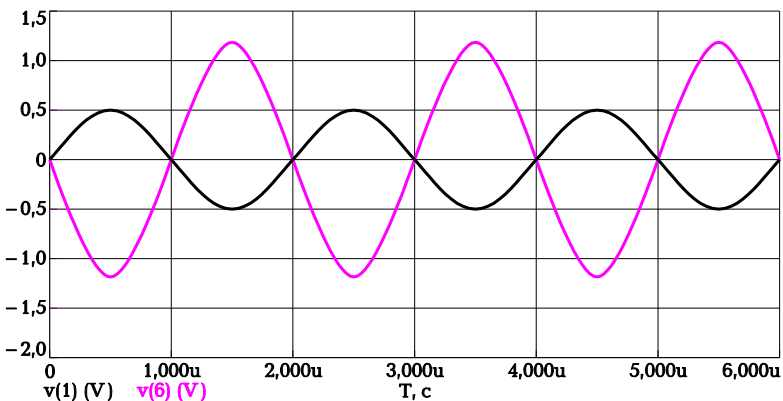
Time Range	6u	—	—	—
Maximum Time Step	0	—	—	—
Temperature	27	—	—	—
P	X Expression	Y Expression	X Range	Y Range
1	T	v(IN)	5e-6,0,1e-6	1.5,-1,0.5
1	T	v(OUT)	5e-6,0,1e-6	2,-2,0.5

Пайда болған алдын ала талдаудың диалогтік терезесінде айнымалы үдерісті зерттеу уақытын көрсету керек. Тербеліс кезеңі мына формуламен анықталады:

$$T = 1/f,$$

мұндағы  $f$ — тербеліс жиілігі, Гц.

Кірістегі тербеліс жиілігі 0,5МГц болғандықтан, кезең мынаған тең болады:  $T = 2 \cdot 10^{-6}$ с. Зерттеуде зерттелетін тербелістердің үш кезеңі сыюы үшін 6u (6 мкс) уақытын беру керек. Схеманың жұмыс қабілеттілігіне көз жеткізіңіз. Айнымалы үдеріс графигін баптау үшін Analysis ^ Transient командасын таңдаңыз. Баптаулар 2.5-кестеде көрсетілген.



2.12-сурет . Micro-Cap-да ЖЭ-мен уақытша сигнал схемасы

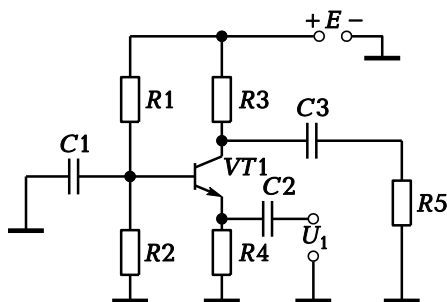
Күшейткіш шығысындағы құрылым нәтижесінде сигнал амплитуда бойынша кірістегіге қарағанда үлкен болады және кіріске қатысты инверттеледі, яғни фаза бойынша  $180^\circ$  жылжытылады (2.12-сурет).

Енді температураның күшейткіш каскады жұмысына әсерін бағалаймыз. Айнымалы үдерістердің зерттеуін іске қосамыз және температураны  $100^\circ\text{C}$  қоямыз, содан кейін  $150^\circ\text{C}$  жеткіземіз. Шығыстағы сигнал едәуір ауытқиды, бұл транзистордың қызғанын не жұмыс режимінің бұзылғанын білдіреді.

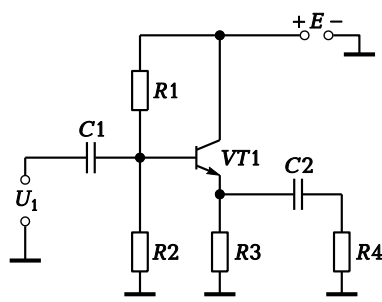
### 2.3. ЖБ ЖӘНЕ ЖК СХЕМАСЫ БОЙЫНША ТРАНЗИСТОРДАҒЫ КҮШЕЙТКІШ СХЕМАСЫ

ЖБ схемасы бойынша транзистордағы күшейткіште сигнал сигнал көзінен транзистор эмиттеріне беріледі. Күшейткіш схемасы 2.13-суретте берілген. Транзистор базасында конденсатор қосылған, ол айнымалы құрамдасты жерге тұйықтауды қамтамасыз етеді. Сигнал коллектордан шешіледі. Жалпы базалы схемада транзисторды қосу база-коллектор ауысуының паразитті сыйымдылығын жобды қамтамасыз етеді. База-коллектор ауысу сыйымдылығы күшейткіштің ең жоғары жұмыс жиілігін азайтады, сондықтан жалпы базалы схема үздік жиілік қасиетке ие болады. ЖБ схема негізінен жоғары жиілікті күшейткіштерде қолданылады. ЖБ схемасының кемшілігі аз кіріс кедергісі, артықшылығы күшею кезінде сызықты емес ауытқулар аз енгізілетіні болып табылады.

Элементтер параметрлері:  $R_1 = 2\ 300\ \text{Ом}$ ,  $R_2 = 6\ 800\ \text{Ом}$ ,  $R_3 = 1\ 000\ \text{Ом}$ ,  $R_4 = 100\ \text{Ом}$ ,  $R_5 = 1\ 500\ \text{Ом}$ . Конденсатор сыйымдылығы



2.13-сурет. ЖБ каскад схемасы



2.14-сурет. Эмиттерлік қайталағыш схемасы



## Кесте 2.5

<b>F</b>	0,5MEG	<b>A</b>	0,5	<b>DC</b>	0
<b>PH</b>	0	<b>RS</b>	1m	<b>RP</b>	1u
<b>TAU</b>	0				

10мкФ құрайды. Транзистор моделі KT315G. Кіріс сигнал көзі параметрлері 2.6-кестеде берілген.

Схема жұмысын **Analysis >> Probe Transient** командасы көмегімен қарастырамыз.

Мұндай параметрлер кездін есхеманың шығысында тікбұрышты импульстар болады, бұл транзистордың қаныққан режимдегі жұмысын білдіреді, себебі ең жоғары амплитуда шектеледі. Егер транзистор параметрін өзгертсе немесе  $R_3$  кедергі номиналын арттырса, онда сигналдың қосымша модуляциясы мен оның ауытқуы орын алады.

Электронды құрылғыларда кедергіні келісу үшін жиі ЖК схеманы пайдаланады, ол эмиттерлі қайталағыш деп аталады.

Эмиттерлі қайталағыш ЖЭ схемадан ерекшелігі кіріс сигналы фазасын инверттемейді. Эмиттерлі қайталағыш үлкен кіріс кедергісіне және аз шығыс кедергісіне ие, бұл үлкен сыйымдылықты жүктемемен жұмыс істеуге мүмкіндік береді. Эмиттерлі қайталағыш төменомды жүктемемен жұмыс кезінде байланыстырушы құрылғы ретінде жоғары жиіліктерде пайдаланылады. Эмиттерлі қайталағыш схемасы 2.14-суретте берілген.

Үлкен шығыс кедергісін (100 кОмға дейінгі) алу үшін құрамдас транзистордағы схема қолданылады, бірінші транзистор эмиттері екінші транзистор базасына қосылғанда, шығыс сигнал екінші транзистор эмиттерінде шешіледі.

## 2.4. ҚУАТТЫ КҮШЕЙТКІШТЕР

Қуатты күшейткіштер төменомды жүктемеде сигналдың үлкен қуатын (ауытқусыз) алу үшін пайдаланылады, әдетте көпкаскадты күшейткіштерде шығыс каскадтар болып табылады. Үлкен қуаттылықты алу үшін  $R^{\wedge}x = R_k$  болуы керек. Осы мақсаттағы ең қарапайым тәсіл болып трансформаторларды пайдалану табылады, алайда қазіргі кезде трансформаторсыз күшейткіштер пайдаланылады.

Қуатты күшейткіштердің негізгі параметрлері келесілер: жүктемеге пайдалы қуаттылық, пайдалы әсер коэффициенті,

сызықты емес ауытқу коэффициенті, амплитудалық-жиілік сипаттамасының өткізу жолағы. Пайдалы әсер коэффициенті және сызықты емес ауытқу коэффициенті мәндері транзистор жұмысының режимімен немесе күшейткіш класымен анықталады.

Күшейткіштердің мынадай кластары бар: А, В, АВ, С, D.

А кл а с ы. Кіріс сипаттамадағы жұмыс нүктесі сызықты учаскеде кіріс сигналы толық қозғалатындай етіп таңдалады. А класының күшейткіші минимальды сызықты емес ауытқуға ие. ПӘК 40%-дан аспайды. А класы қуатты күшейткішінде минимальды ауытқуды алу үшін пайдаланылады.

В кл а с ы. Бұл класта транзистор дамылдағышындағы ток нөлге жақын, транзистор сигнал периодының жартысы бойынш ашық. Тұтынылатын қуат аз, ПӘК 70 %-ға жетеді, сызықты емес ауытқу коэффициенті 10%-ды құрайды. В класында транзистор қуатты күшейткіштің екітәктілі схемасында пайдаланылуы керек.

АВ кл а с ы. Айыру бұрышы 120...130°-қа тең деп таңдалады. ПӘК В класына қарағанда төмен, алайда сызықты емес ауытқу коэффициентін шамамен 3 % жақын алуға болады.

С кл а с ы. Айыру бұрышы 90°-тан аз болады. ПӘК В класынан көп, бірақ сызықты емес ауытқулар айтарлықтай артады. Класс күшті күшейткіштерде, сондай-ақ шығысында жоғары гармоникалар болмайтын резонансты жүктемемен жұмыс кезінде пайдаланылады.

D кл а с ы. Транзистор жұмысының тірек режимімен сипатталады: ашық, жабық. Режим тікбұрышты импульстармен жұмыс кезінде пайдаланылады (қуаттылық шығыны ең төмен).

## **2.5. ТРАНЗИСТОР ШУЫН ЗЕРТТЕУ ҮЛГІСІ**

Шу транзистордың маңызды параметрлерінің бірі болып табылады. Шу деңгейі аз транзисторлар күшейткіштердің ерекше класын құрайтын арнайы шуы аз күшейткіштерде пайдаланылады. Олар аз және өте аз сигналдарды арттыруға, мысалы радиоастрономияда алыс жұлдыздардың сигналын күшейту кезінде қолдануға арналған.

Ғылым мен техниканың бірқатар салаларында аз сигналмен жұмыс мәселесі өзекті болып тұр, радиолокацияда әлсіз сигнал аз өлшемді мақсатта шағылысқан сигналды білдіреді (пилотсыз барлау ұшақтары). Байланыста қабылдау алыстығы әлсіз сигналды қабылдау дағдысына байланысты. Мұндай әлсіз сигналдарды қабылдауға радиоэлементтердің өзіндік шуы, оның ішінде резисторлардың, конденсаторлардың және әсіресе диодтардың,

транзисторлардың, лампалардың шуы кедергі жасайды. Транзисторларда шу келесі құрамдас бөліктерден тұрады:

- Жылу шуы — температураның электрон қозғалысына сипатты әсері;
- Тарату тогының шуы. Эмиттер тогын база мен коллектор арасында таратуды өзгертуден туындайды;
- Бөлшекті шулар эмиттерлі және коллекторлы өткізгіштерде электрондардың жылу қозғалысынан туындайды;
- Рекомбинациялық шулар тасымалдағыштардың рекомбинациясы салдарынан туындайды;
- Жыбыр шулар (фликкер-шулар) жартылай өткізгіштің беткі қабаттарында ток шығынының өзгерісінен туындайды.

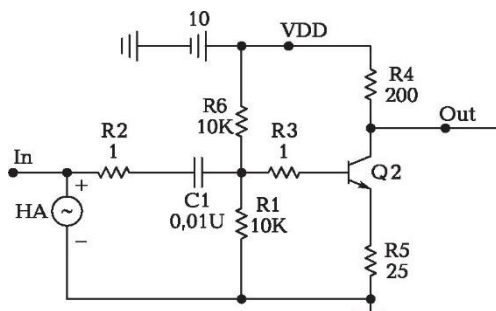
Шу қасиеттерін бағалау үшін кіріске қарағанда шығыстағы құрылғының шуына пайдалы әсер қатынасы қаншалықты нашарлайтынын көрсететін шу коэффициенті пайдаланылады. Мұнда көпкаскадты күшейткіштердің шу қасиеттері негізінен бірінші каскад шуына байланысты болады. Заманауи транзисторлар 3-тен 30 дБ-ға дейінгі шу коэффициентіне ие.

Аз шулайтын күшейткіштерді құру үшін күшейткіштің өзіндік шу деңгейін азайтудың барлық мүмкін тәсілдері қолданылады:

- Арнайы салқындатқыш құрылғылар көмегімен температураны азайту;
- Шу факторына әсері минималды болатын арнайы аз шулы транзисторларды пайдалану;
- Ең төменгі шу тұрғысынан транзистор жұмысының оңтайлы режимін таңдау;
- Транзисторлардың үздік қосу схемасын таңдау; шу қасиеттері бойынша ЖБ транзистордың қосу схемасы үздік шу қасиеттеріне ие;
- Аз шуылды күшейткіштерде арнайы құралдарды (туннель диодтарын, Ганна диодын, Шоттки диодын) пайдалану;

Micro-Cap программасында транзисторлы каскад шуын зерттеу схемасы 2.15-суретте берілген.

Шу көзі ретінде келесі параметрлері бар гармониялы сигнал генераторы қызмет етеді (2.7-кесте).



2.15-сурет. Micro-Cap-да транзистор шуын зерттеуге арналған схема

Шудың жиілік сипаттамасы бойынша (AC Analysis) әсерін зерттейміз. Жиілік сипатты зерттеу параметрлерін баптаймыз. (2.8-кесте):

Зерттеу нәтижесінде жиілік артқан кезде шудың өсу сипаты бар жиілік сипаттамасын аламыз.

Кесте 2.7

<b>F</b>	0,5MEG	<b>A</b>	1m	<b>DC</b>	0
<b>PH</b>	0	<b>RS</b>	1m	<b>RP</b>	0
<b>TAU</b>	0				

Кесте 2.8

<b>Frequency Range</b>	1E14,1e5	—	—	—
<b>Temperature</b>	27	—	—	—
<b>Maximum Change</b>	5	—	—	—
<b>Noise Input</b>	HA	—	—	—
<b>Noise Output</b>	Out	—	—	—
<b>P</b>	<b>X Expression</b>	<b>Y Expression</b>	<b>X Range</b>	<b>Y Range</b>
1	f	inoise	1E14,1e5	1.5u,0,3e-7
1	f	onoise	1E14,1e5	1.5u,0,3e-7

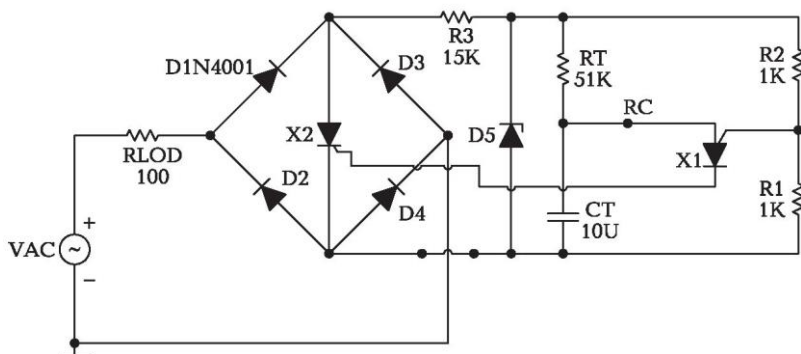
## 2.6.

### ТИРИСТОРДЫ ЗЕРТТЕУ ҮЛГІСІ

Тұрмыстық аппаратурада пайдаланылатын қайта қосқыш типті негізгі элементтің бірі тиристор болып табылады. Оның жұмысына түрлі факторлар әсер етеді. Бұл факторлардың әсерін түсіну үшін резистор кедергісі тиристордың басқарушы тізбегінде өзгеретін схема негізінде тиристорды сынау үлгісін қарастырамыз.

Тиристор — үш  $p$  —  $n$ -ауысулары бар қайта қосқыш типті жартылай өткізгіш құрал. Тиристорлар аз, шағын және көп қуатты болады. Тиристор жұмысының принципі келесідей: уақыттың бастапқы сәтінде анодқа тура кернеу жіберілген кезде тиристор тогы өте аз (1мкА), кернеуді одан әрі арттырған сайын анод тогы біршама арта түседі, содан кейін атқылама тәріздес ток артуы болады да, тиристор ашылады, бұл кезде барлық үш  $p$  —  $n$ -ауысулары ашық, токтың одан әрі артуы қаныққан режимдегі кәдімгі транзистордағыдай болады. Осы эффект негізінде тиристор электронды қайта қосқыш ретінде қолданылатын болды. Тиристордың қайта қосу уақыты микросекундты құрайды, сондықтан тиристор салыстырмалы түрде төмен жиілікте жұмыс істейді.

Тиристор теледидардың қоректендіру импульсты блогының басқару элементі ретінде пайдаланылады. Тиристорды сынауға арналған схема сигнал көзінен көпірлі түзеткіштен, стабилитроннан, резистордан, конденсатордан тұрады (2.16-сурет).



2.16-сурет. Micro-Cap-да тиристорды сынау схемасы

Резисторлардың біреуінің кедергісі 2,4 тен 250 кОмға дейінгі диапазонда өзгеретін болады.

PART жолында резисторлар мен конденсаторлардың атауын схемаға сәйкес енгізіңіз. T (мәтін) жабдығымен қажетті нүктелерді қойыңыз.

D5 элементі — стабилитрон, ол **Components > Analog Primitives > Passive Components > Zener** командасымен шақырылады.

Стабилитрон моделі Z1N4114. Диодтардың моделі D1N4001.

Тиристордың X1 макроделі **Components > > Analog Primitives > Macros > PUT** командасымен шақырылады.

Тиристордың X2 макроделі **Components > > Analog Primitives > Macros > SCR** командасымен шақырылады.

X1 тиристоры келесі параметрлерге ие:

Param: IH=5M

Param: IGT=2M

Param: TON=0.8U

Param: VTMIN=1.1

Param: VDRM=100

Param: DVDT=30ME

G Param: TQ=10U

Param: K1=1

Param: K2=1

X2 тиристор келесі параметрлерге ие:

Param: IH=6.2M

Param: IGT=5M

Param: TON=1U

Param: VTMIN=1

Param: VDRM=200

Param: DVDT=50ME

G Param: TQ=35U

Param: K1=0.8

Param: K2=1

## 2.9-кесте

<b>Time Range</b>	33.333m	—	—	—
<b>Maximum Time Step</b>	200U	—	—	—
<b>Temperature</b>	27	—	—	—
<b>P</b>	<b>X Expression</b>	<b>Y Expression</b>	<b>X Range</b>	<b>Y Range</b>
1	T	I(rload)	33.333m,0,0.0066666	1.5,-1.5,0.5
2	T	v(CT)	33.333m,0,0.0066666	0,-8, 1.6

Гармониялық сигнал көзіне мына параметрлерді енгізіңіз:  $F=60$ ,  $A=115$ ,  $RS=1M$ , қалған мәндер нөлдік параметрге ие.

**Analysis > Transient** айнымалы үдерістерін зерттеу параметрлерін баптаймыз. (кесте. 2.9).

Stepping мәзірін ашыңыз, және келесі параметрлерді көрсетіңіз:

Step What: RT, From: 2400, TO: 250k, Step it: Yes, Method: Log.

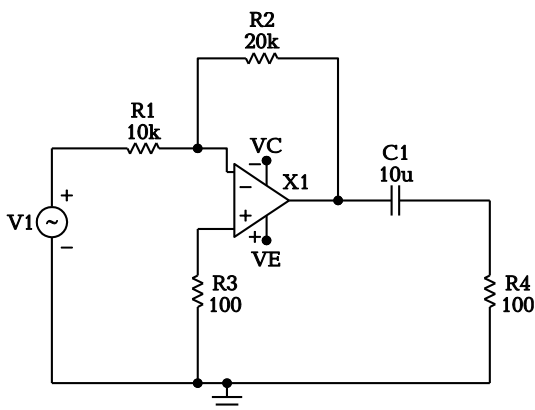
Зерттеу нәтижесінде басқару тізбегінде резистордың параметрлеріне тәуелсіз тиристордың іске қосылу сипаттамасының тобы алынады. Резистор кедергісінің өзгеруі тиристордың қайта қосқыш уақытының азаюына не артуына әкеледі.

## 2.7. ОПЕРАЦИЯЛЫҚ КҮШЕЙТКІШТЕР

Операциялық күшейткіштер деп (ОК) тұрақты токтың дифференциалды кіріс пен біртәктілі шығысты интегралды орындаудағы жоғары сапалы күшейткіші аталады. ОК әр түрлі күшейткіштерде, генерацияда, көбейту, шектеу, жиілік сүзгілеу, тұрақтандыру үшін пайдаланылады. ОК негізгі параметрлері:

- Күшейту коэффициенті (ондаған мың есе);
- 0 жылжу кернеуі және оның температуралық тұрақтылығы;
- Кіріске қарай 0 жылжу тогы;
- Орташа кіріс тогы;
- Кері байланыссыз кіріс және шығыс кедергілері;
- Ең жоғары шығыс тогы;
- Ең төменгі жүктеу кедергісі;
- Ең жоғары жүктеу сыйымдылығы;
- Температураның жұмыс диапазоны;
- Абсолютті шекті жиілік (күшейткіш коэффициенті 1-ге тең жиілік).

ОК амплитудасы бойынша тең және белгісі бойынша қарама-қарсы екі қорек көзін талап етеді. ОК құрылымында бірнеше каскад бар. кіріс каскад дифференциалды күшейткіш болып табылады, бұл каскадпен кіріс кедергісі мен ОК нақтылық сипаттамаларын анықталады. Аралық каскадтар күшейткіштер болып табылады. Аралық каскадтар ретінде дифференциалды және біртәктілі күшейткіштер қолданылады, олар күшейткіш коэффициенті мен кері байланыс коэффициентін қамтамасыз ету үшін қажет. Шығыс каскад қуатты күшейткіште комплементарлық транзисторда жүзеге асырылады. Шығыс каскад аз сызықты емес ауытқуларды, ең жоғары ПӘК, төмен шығыс кедергісін қамтамасыз етуі керек. Шығыс каскады аралық каскадты жүктемеу үшін үлкен кіріс кедергісіне ие болуы керек.



2.17-сурет. Micro-Cap-да ОК-да терістейтін күшейткіш схемасы

ОК дағы сызықтық құрылғылар. ОК инверттейтін күшейткіш ретінде. Кіріс сигнал ОК терістейтін кірісіне R1 резисторы арқылы беріледі. Micro-Cap программасының схемасы 2.17-суретте берілген. R2 резисторымен ОК шығысы мен терістейтін кірісі арасында қосылатын параллельді кері теріс байланыс құрылады. Шығыс кернеуі кіріске қарама-қарсы фазаға ие болады. Сигнал өтуіне зерттеу жүргізу үшін жиілігі 1 МГц, амплитудасы 0,01 В болатын гармониялық сигнал генераторын пайдаланыңыз. ОК моделі — LF351.

Micro-Cap программасындағы ОК келесі негізгі параметрлерге ие (кесте 2.10).

2.10-кесте.

Параметрлерді белгілеу	Модельдің деңгейі	Параметр атауы	Өлшем бірлігі	Бастапқы күйі бойынша мәні
LEVEL	1 — 3	Модель деңгейі (1, 2, 3)	—	1
TYPE	3	Кіріс транзистор типі: 1 — NPN, 2 — PNP, 3 — JFET	—	1
C	3	Коррекция сыйымдылығы	Ф	$30 \cdot 10^{-12}$



2. 10-кесте жалғасы

Параметрлерді белгілеу	Модельдің деңгейі	Параметр атауы	Өлшем бірлігі	Әдепкі қалпы бойынша мәні
A	1—3	Тұрақты токтағы күшейткіш коэффициенті	—	$\varrho \quad \circ$
ROUTAC	1—3	Айнымалы ток бойынша шығыс кедергісі	Ом	75
ROUTDC	1—3	Тұрақты ток бойынша шығыс кедергісі	Ом	125
VOFF	3	Нөлді жылжыту кернеуі	B	0,001
IOFF	3	Кіріс тогының жылжу түрлілігі	A	$10^{-9}$
SRN	2, 3	Шығыс кернеуінің төмендеуінің ең жоғары жылдамдығы	B/c	$5 \cdot 10^5$
SRP	3	Шығыс кернеуінің өсуінің ең жоғары жылдамдығы	B/c	$15 \cdot 10^5$
IBIAS	3	Кіріс жылжу тогы	A	$10^{-7}$
VCC	3	Оң қорек кернеуі	B	15
VEE	3	Теріс қорек кернеуі	B	-15
VPS	3	Ең жоғары шығыс оң кернеу	B	13
VNS	3	Ең жоғары шығыс теріс кернеу	B	-13
CMRR	3	Синфазалы сигналды басу коэффициенті	—	$10^5$

Оқончание табл. 2.10

Параметрлерді белгілеу	Модельдің деңгейі	Параметр атауы	Өлшем бірлігі	Әдепкі қалпы бойынша мәні
GBW	2, 3	Күшею ауданы	—	10 <sup>6</sup>
PM	2, 3	Бірреттік күшейткіш жиілігіндегі фаза қоры	град.	60
PD	3	Тұтынылатын қуат	Вт	0,025
IOSC	3	Қысқа тұйықталған шығыс ток	А	0,02

*Level 1* — ОК сызықтық үлгісі, ол кернеумен басқарылатын ток жөзін білдіреді. ОК соңғы шығыс және шексіз кіріс кедергісіне ие.

*Level 2* — барынша күрделі сызықтық үлгі, үш каскадтан және ОК беріліс функциясының белсендіретін екі жолағынан, шығыс кернеуінің артуы жылдамдықты шектеу, күшейткіштің соңғы коэффициенті және соңғы шығыс кедергісінен тұрады.

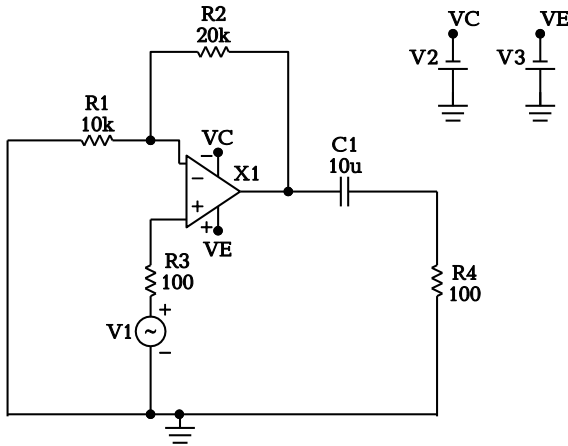
*Level 3* — сызықты емес үлгі. Онда шығыс кернеуінің арту жылдамдығына шектеу, тұрақты және айнымалы токтағы шығыс кедергісі, ток және жылжу кернеу, бірреттік күшейткіш жиілігіндегі фаза қоры, күшейткіш ауданы, синфазалы сигналды бәсеңдету коэффициенті, шығыс кернеуі мен ток диапазонының нақты мәндері ескеріледі.

$R_2$  кедергінің артуы кері теріс байланыстың азаюына, сәйкесінше ( $R_1$ ) кері байланыс резисторы мен кіріс резисторының кедергісінің қатынасына тең күшейткіш коэффициентінің артуына әкеледі.

Терістемейтін күшейткіш. Кіріс сигналы терістемейтін кіріске беріледі. Мұндай схеманың кіріс кедергісі жүздеген мегаомды құрайды. Күшейткіш схемасы 2.18-суретте көрсетілген. Күшейткіш коэффициенті мына формаламен анықталады:

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

Шығыс сигналы терістемейтін болады. Егер кері байланыс резисторының кедергісін 0 қылса, күшейткіш коэффициенті 1-ге тең болады, мұндай күшейткіш терістемейтін қайталағыш деп аталады.



2.18-сурет. Micro-Cap-дағы ОК-да терістемейтін күшейткіш схемасы

Схема жұмысын зерттеу үшін терістейтін күшейткішке арналған элементтерді пайдаланыңыз.

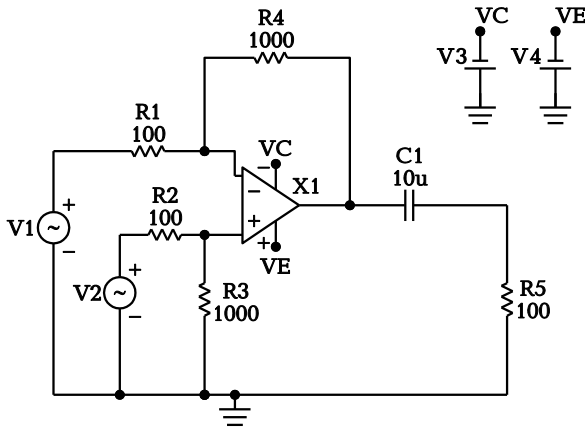
Жиынтықты күшейткіш. Операциялық күшейткіштің терістемейтін кірісіне резистор арқылы бірнеше сигнал жалғанады, олардың кедергілері пропорциональды жинақтау үшін тең болады. Күшейткіште кері теріс байланыс шығыс пен кіріс арасында қосылған резистор көмегімен қолданылады. Осының арқасында схема кіріс пен кіріс кедергісі арасында резистор қосылған жерде нөлге ұмтылып, жақсы шешімге ие болады. Егер кері байланыс кедергісі кіріс резисторы кедергісінен көп болса, онда жинақтау күшейткішпен орындалады.

Дифференцияланған күшейткіш. Бұл күшейткіште екі кіріс сигналы жалғанады. Micro-Cap программасындағы күшейткіштің схемасы 2.19-суретте көрсетілген. Көбінесе  $R_1 = R_2$ ,  $R_3 = R_4$  кедергілерін таңдайды. Схема жұмысын зерттеу үшін сигнал көзінің түрлі амплитудасын беріңіз. Дифференцияланған күшейткіштің шығыс кернеуі мына формула бойынша анықталады

$$U_{\text{ВЫХ}} = m(U_{\text{ВХ1}} - U_{\text{ВХ2}})$$

Мұндағы  $m$  — ОК күшейткіш коэффициенті. Күшейткіш коэффициенті мынаған тең

$$m = \frac{R_4}{R_1} = \frac{R_3}{R_2}$$



2.19-сурет. Micro-Cap-да ОК-дағы дифференцияланған күшейткіш схемасы

Бұл схеманың кемшілігі болып терістейтін және терістемейтін кірістер бойынша түрлі кіріс кедергісі табылады. Бұл осы схемадағы құрылғыларды қателікке әкелуі мүмкін.

ОК да интеграцияланған күшейткіш іске асырылады, онда шығыс пен терістелген кіріс арасында конденсатор пайдаланылады.

Д и ф ф е р е н ц и я л а н ғ а н к ү ш е й т к і ш . Дифференцияланған күшейткіште сигнал көзінен кейін орнатылған конденсатор болады. Сигнал терістейтін кіріске беріледі де, шығыс пен терістейтін кіріс арасында кері байланыс резисторы пайдаланылады.

**Ок дағы сызықты емес құрылғылар.** ОК да келесідей сызықты емес құрылғыларды жасайды:

- Логарифмді күшейткіш: кері байланыс тізбегінде логарифм қисығына жақын вольт-амперлік сипатты диод пайдаланылады, сигнал терістейтін кіріске беріледі;
- детектор кері байланыс тізбегінде идеалды детектор сипаттамасына жақын вольт-амперлі сипатты диоды болады;
- Кернеуді шектегіш кері байланыс тізбегінде стабистор немесе стабилитроны болады.

Детектор ақпарат жеткізуші жоғары жиілікті сигналды төмен жиіліктіге демодуляциялау үшін пайдаланылады. Жоғары жиілікті үлгіленген сигнал кеңістікте электромагнитті толқындар арқылы жеткізіледі.

Электр сүзгісі — жалғыз төртполюстік, спектрдің берілген бөлігіне минимальды әлсізденген тербеліс, және спектрдің қалған бөлігіне барынша әлсізденген тербелісті жеткізуге арналған, каскадты қосылған төртполюстік. Ең төмен әлсізденген жиілік ауданы өткізу жолағы (ашық) деп аталады, барынша әлсізденген жиілік ауданы – тежеу жолағы (ашық емес) деп аталады. Сүзгі кесіндісінің жиілігі мына формуламен анықталады:

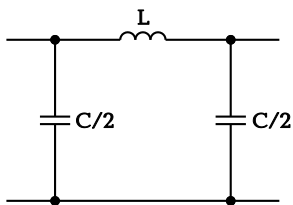
$$\omega_{CP} = 2\pi f_0$$

Сүзгінің сапасын сүзгімен енгізілетін бәсеңдеу мәнінің кіріс кернеуі жиілігіне тәуелділігін білдіретін жиілік сипаттамасына қарап бағалайды.

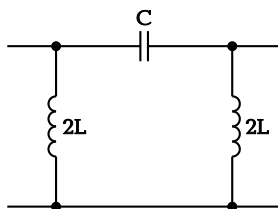
Сүзгілер келесі белгілері бойынша жіктеледі:

- Белсенді элементті: транзисторлар, лампалар, операциялық күшейткіштер;
- Пассивті элементті: конденсаторлар, резисторлар, индуктивтілік шарғысы;
- Жиілік шкаласында өткізу жолағы мен тежеу жолағының өзара орналасуы бойынша: төмен жиілікті, жоғары жиілікті, жолақты, режекторлы (қоршалған);
- Звеносында екіполюстіктің өзара орналасуы бойынша: Г-тәріздес, П-тәріздес, Т-тәріздес;
- Зveno құратын элементтерінің сипаты бойынша: реактивті (конденсаторлар мен индуктивтілік шарғысы); резисторлы-сыйымдылықты, пьезоэлектрлі (кварцты пластиналар), магнитострикциялық (ферромагнитті материалдан жасалған өзектер). Сүзгілердің барынша кең таралған типтерін қарастырайық. Төмен жиілікті реактивті сүзгілер конденсаторлар мен индуктивтілік шарғысынан тұрады (2.20-сурет): төмен жиілікті сүзгілердің сипатты кдеергісі өткізу жолағында белсенді сипатқа ие және  $LC$  дан нөлге дейін өзгереді (Т-тәріздес сүзгі),  $-LC$  ден  $0$  ге дейін өзгереді (П-тәріздес сүзгі). Тежеу ауданында кедергі реактивті, онда Т-тәріздес схемада ол индуктивті, ал П-тәріздес схемада – сыйымдылықты.

Жоғары жиілікті реактивті сүзгілер конденсаторлар мен индуктивтілік шарғысынан тұрады (2.21-сурет). Т-тәріздес сүзгінің сипатты кедергісі нөлге тең, ал П-тәріздес сүзгінікі шексіздікке ұмтылады.



2.20-сурет. Micro-Сар-дағы төмен жиілікті П-тәріздес



2.21-сурет. Micro-Сар-дағы жоғары жиілікті П-тәріздес сүзгі

Жиілік артқан сайын бұл кедергілер бір шамаға ұмтылады:

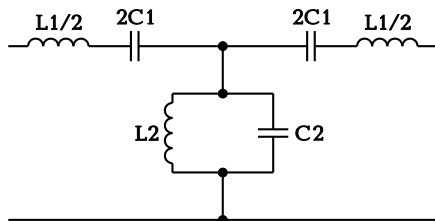
$$z = \sqrt{L/C} \quad (2.6)$$

Жүктеме кедергісін жиілігі шексіздікке ұмтылуы кезінде, яғни  $R_H = yjL/C$  болғанда сүзгінің келісім шартына сай таңдайды. Жиілікті азайтқан сайын кезекті қосылған сыйымдылықтар өз кедергілерін арттырады, ал параллельді қосылған индуктивтіліктер кедергілерін азайтады. Сыйымдылықтарда кернеудің төмендеуі артады, индуктивтілікте төмендейді, шығыс кернеу азаяды.

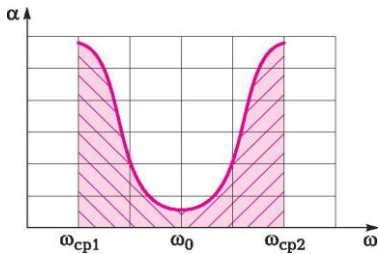
*Жолақты сүзгілер* — өткізу жолақтары екі жиілік кесіндісімен шектелген сүзгілер. Реактивті жолақты сүзгі схемасы 2.22-суретте көрсетілген.

*Қоршау сүзгілері* кесінді жиіліктері арасында барынша бәсеңдеуге ие. Барлық контурлары жиілікке резонанс бапталған:

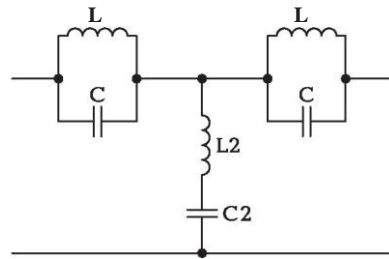
$$\omega_0 = \sqrt{\omega_{CP1}\omega_{CP2}}$$



2.22-сурет. Micro-Сар-дағы жолақты сүзгі схемасы



2.23-сурет. Қоршау сүзгілерінің жиілік сипаттамалары



2.24-сурет. Micro-Cap-дағы реактивті қоршау сүзгісінің схемасы

Қоршау сүзгілерінің жиілік сипаттамаларының графигі 2.23-суретте көрсетілген.

Нақты Т-тәріздес қоршау сүзгісінің схемасы 2.24-суретте көрсетілген. Кезекті қосылған контурларда кернеудің төмендеуі үлкен, ал параллельді қосылғандарда кернеудің төмендеуі кіші, яғни төмен жиілік ауданында тербеліс тежеледі.

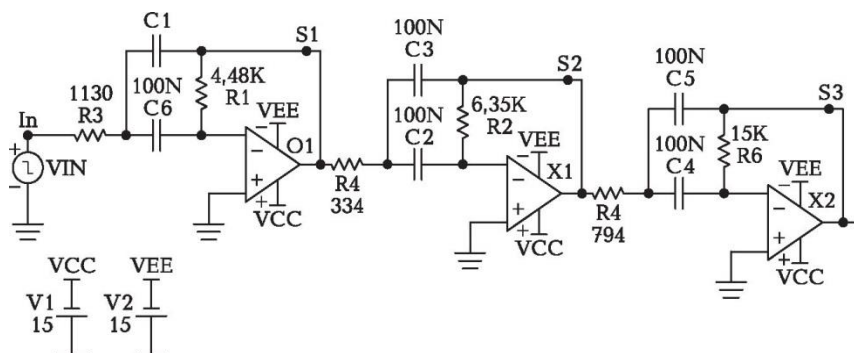
*RC-сүзгілер* үздіксіз және импульсты сигналды техникаларда пайдаланылады. *RC-сүзгілер* төмен жиілікпен жұмыс істейтін құрылғыларда пайдаланылады. Жоғары жиілікті сүзгілер айнымалы жіне дифференцияланатын тізбектер ретінде қолданылады.

Сүзгінің амплитудалық-жиілік сипаттамасының күрт түсіп кетуіне қол жеткізу үшін сүзгілер кезегімен тізбекке жалғанады, байланыс контурлары пайдаланылады, олардың саны әдетте беске дейін болады.

## 2.9. ОК-ДАҒЫ БЕЛСНДІ ЖОЛАҚТЫ СҮЗГІ

Жолақты сүзгі жиіліктің белгілі бір жолағын өткізуге, мысалы радиостанциямен берілетін жиілік жолағын белгілеуге арналған. Егер сүзгі сипаттамасы жеткілікті деңгейде тар жолақты болмаса, онда сүзгі жолағына түсетін көрші радиостанцияны да тыңдауға болады.

Белсенді жолақты сүзгі схемасы 2.25-суретте берілген. Тікбұрышты импульс көзінің келесі параметрлерін енгіземіз:  $V_{ZERO}=0$ ,  $V_{ONE}=5$ ,  $P1=0.1U$ ,  $P2=0.11U$ ,  $P3=0.5$ и  $P4=0.5$ Ш,  $P5=1U$ .



2.25-сурет. Micro-Cap-да ОК-дағы белсенді жолақты сүзгі схемасы

Қорек көздері операциялық күшейткіштермен коннектор көмегімен байланысқан. Коннектор Component ^ Analog Primitives ^ Connectors ^ Tie командасымен қойылады.

ОК-да сәйкес нүктелердің атауы T жабдығы көмегімен жазылады. Жиілік сипаттамасын талдау үшін Analysis ^ AC командасын таңдау керек және 2.11-кестеде көрсетілген параметрлерді баптау керек.

2.11-кесте

Frequency Range	7k,70	—	—	—
Temperature	27	—	—	—
Maximum Change	1	—	—	—
Noise Input	1	—	—	—
Noise Output	2	—	—	—
P	X Expression	Y Expression	X Range	Y Range
1	f	mag(v(S3)/(S2))	7k,70	10,0,2
1	f	mag(v(S2)/(S1))	7k,70	10,0,2
1	f	mag(v(S1)/(In))	7k,70	10,0,2



Зерттеу нәтижесінде үш өткізу жолағын: біреуі кең беріліс коэффициенті аз және екі түрлі жиіліктегі екі тар жолақты аламыз.

Электронды техникада сүзгілеу үшін арнайы сүзгілер пайдаланылады.

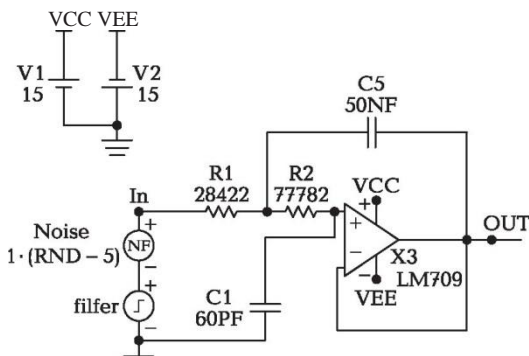
*Чебышев сүзгілері* — сызықты аналогты немесе цифрлық сүзгілердің бірі, оның айрықша ерекшелігі басқа типті сүзгілерге карағанда өткізу жолағындағы жиілікте амплитудалық-жиілікті сипаттаманың айтарлықтай пульсациясы (I текті Чебышев сүзгісі) және амплитудалық-жиілікті сипаттамасының (АЖС) айтарлықтай күрт түсіп кетуі болып табылады. Сүзгі XIX ғасырдағы орыстың атақты математигі Пафнутий Львович Чебышевтың атымен аталады, себебі бұл сүзгінің сипаттамасы Чебышевтің көпмүшелігіне негізделеді.

Чебышев сүзгісі сүзгі көмегімен АЖС талап етілген сипаттамасын қамтамасыз етуді біршама реттеу керек болғанда, оның ішінде бәсеңдету жолағында жиілікті жақсылап бісеңдету керек болғанда пайдаланылады.

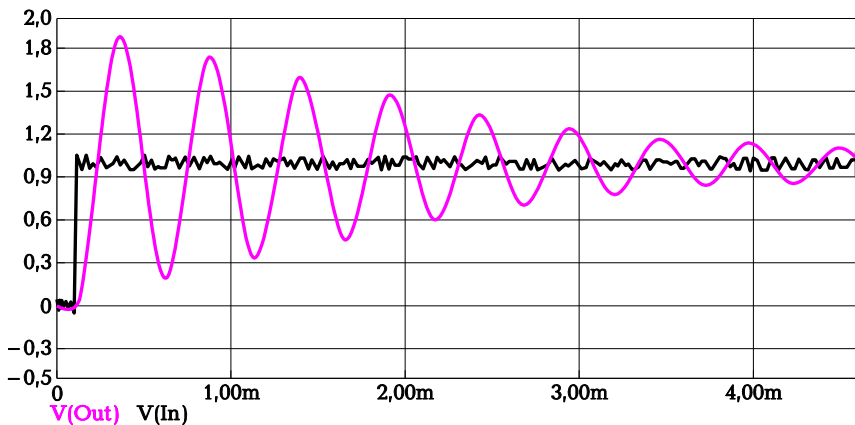
Сүзгінің Micro-Cap программасындағы схемасы 2.26-суретте берілген.

Элементтер библиотекасынан шу (noise) көзін енгізу: Analog Primitives ^ Function Sources ^ NFV. Value мәнінде  $0.1 \cdot (\text{RND} - 0.5)$  енгізіңіз. Тікбұрышты импульс көздерінің келесі параметрлерін енгіземіз:  $VZERO=0$ ,  $VONE=1$ ,  $P1=0.1M$ ,  $P2=0.11M$ ,  $P3=5E-3$ ,  $P4=6E-3$ ,  $P5=1E-2$ . ОК моделі — LM709.

2.12-кестеде айнымалы үдерістерді баптау параметрлері көрсетілген.



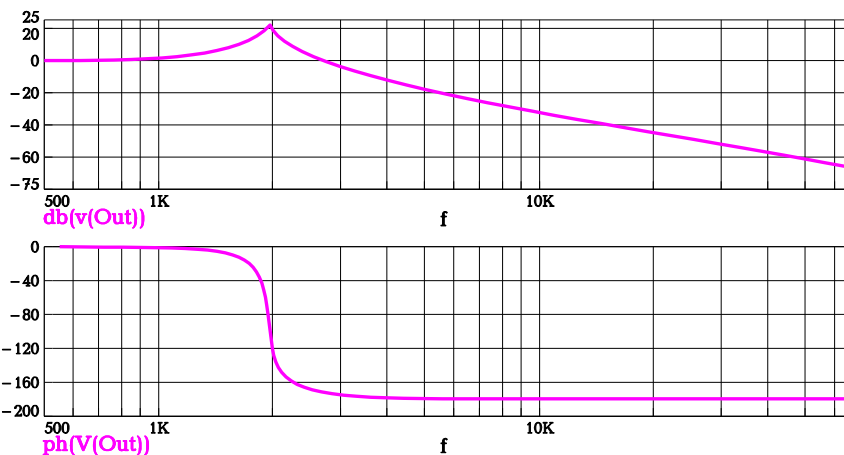
2.26-сурет. Micro-Cap бағдарламасындағы Чебышев сүзгісінің схемасы



2.27-сурет. Micro-Cap-да Чебышев сүзгісіндегі айнымалы үдеріс

Чебышев сүзгісіндегі айнымалы үдеріс 2.27-суретте көрсетілген. Жілік сипаттамасының баптау параметрлері 2.13-кестеде берілген.

Жілік сипаттамасы 2.28-суретте берілген. Бірінші график жіліктің децебельді өсуімен сигналдың өшуін көрсетеді, ал екінші графикте жіліктің артуымен фазаның өзгеруі көрсетілген.



2.28-сурет. Micro-Cap-да Чебышев сүзгісінің жиілік сипаттамасы

## 2.12-кесте

<b>Time Range</b>	5E-3	—	—	—
<b>Maximum Time Step</b>	2E-5	—	—	—
<b>Temperature</b>	27	—	—	—
<b>P</b>	<b>X Expression</b>	<b>Y Expression</b>	<b>X Range</b>	<b>Y Range</b>
1	T	v(Out)	0.005,0,0.001	2,-0.5,0.3
2	T	v(In)	0.005,0,0.001	2,-0.5,0.3

## 2.13-кесте

<b>Frequency Range</b>	1E5,500	—	—	—
<b>Temperature</b>	27	—	—	—
<b>Maximum Change</b>	1	—	—	—
<b>Noise Input</b>	1	—	—	—
<b>Noise Output</b>	10	—	—	—
<b>P</b>	<b>X Expression</b>	<b>Y Expression</b>	<b>X Range</b>	<b>Y Range</b>
1	f	db(v(Out))	1E5,500	25,-75,20
2	f	ph(v(Out))	1E5,500	0,-200,40

## БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ

1. Micro-Cap бағдарламасының мәзірінің қай командасы схема сипаттамаларын зерттеуге арналған тармақтардан тұрады?
2. Дифференциялайтын және интеграциялайтын тізбек арасында қандай айырмашылық бар?
3. Жалпы эмиттерлі транзисторды қосқан кезде күшейткіш схемасы қалай жұмыс істейді?
4. Жалпы базалық транзисторды қосу схемасының артықшылықтары мен кемшіліктерін атаңыз.
5. Эмиттерлі қайталағыш деген не?
6. Қуатты күшейткіш не үшін қолданылады?
7. Күшейткіштің қандай кластары бар?

8. Транзистор шуы қандай құрамдастардан тұрады?
9. Тиристор не ретінде пайдаланылады?
10. Операциялық күшейткіштердің негізгі параметрлері мен қолданылу саласын атаңыз.
11. Сүзгілер қалай жіктеледі?

# ЦИФРЛЫ СХЕМАТЕХНИКА НЕГІЗДЕРІ



Тарау

3-тарау. Логикалық функциялардың аппаратты іске асырылуы

4-тарау. Құрылғы жұмыстарының физикалық негіздері

5-тарау. Цифрлық құрылғылар

6-тарау. Жартылай өткізгішті сақтау құрылғылары

## ЛОГИКАЛЫҚ ФУНКЦИЯЛАРДЫҢ АППАРАТТЫ ІСКЕ АСЫРЫЛУЫ

### 3.1. ЛОГИКА АЛГЕБРАСЫНЫҢ ЗАҢДАРЫ

Цифрлық электронды схемаларды талдау және синтездеу үшін логика алгебрасының математикалық аппараты немесе бульдік алгебра кеңінен қолданылады. Логика алгебрасының функциясы тек екі мүмкін мәнді: 0 немесе 1 мәнін қабылдайды. Логика алгебрасының функциясын шынайылық кестесі деп аталатын кесте түрінде беру ыңғайлы. Кіріс  $A$  және  $B$  айнымалылары кезіндегі кез келген функцияның  $F$  кестелік тапсырмасының мысалы 3.1-кестеде берілген.

Шынайылық кестесі барлық мүмкін  $2^k$  логикалық айнымалылық мәндерінің жиынтығы мен әр жиынтыққа сәйкес келетін функция мәндерін қамтиды.

Цифрлық құрылғыларды құру үшін келесі функционалдық толық жүйелер қолданылады: ЖӘНЕ – НЕМЕСЕ – ЕМЕС, ЖӘНЕ — ЕМЕС (Шеффер штрихы), НЕМЕСЕ — ЕМЕС (Пирс бағыттауышы).

Ең төменгі базисты таңдау нақты цифрлық құрылғы құрылатын логикалық элементтің стандарт жиынтығын таңдаумен байланысты.

Негізгі логикалық операцияларды: терістеу (ЕМЕС), қосу (НЕМЕСЕ), көбейту (ЖӘНЕ) қарастырамыз.

3.1-кесте

$A$	$B$	$F$
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

ЕМЕС (терістеу) операциясы сәйкес айнымалының үстінен «—» символымен белгіленеді, логикалық қосу (дизъюнкция, НЕМЕСЕ операциясы) «+» символымен белгіленеді, логикалық көбейту (конъюнкция, ЖӘНЕ операциясы) «•» символымен белгіленеді. Логикалық мәндердің эквиваленттілігін белгілеу үшін « $\Rightarrow$ » теңдік белгісін пайдаланыңыз. 3.2, 3.3-кестелерде А, В айнымалылары үшін терістеу, қосу, көбейту логикалық операцияларының кестелік бейнесі берілген.

Инверсия операциясының кестелік бейнесі (3.2-кестесін қараңыз).

Дизъюнкция және конъюнкция операцияларының кестелік бейнесі (3.3-кестені қараңыз).

Қарастырылған логикалық операциялар үшін негізгілері 3.4-кестеде берілген аксиомалар (тепе-теңдіктер) мен заңдылықтар ақиқат. Тепе-теңдіктер мен заңдылықтардың алгебралық мәндері жұпмен берілгенін ескеру керек (3.4-кестені қараңыз). Егер аксиомада «1» ді «0» ге ауыстырса, ал НЕМЕСЕ операциясын ЖӘНЕ-ге ауыстырса, онда жұп болатын аксиоманы аламыз. Кері алмастыру да осылай ақиқат болады.

3.2-кесте

A	$F = A$
0	1
1	0

3.3-кесте

A	B	$F = A + B$	$F = AB$
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	1	1

Аксиомалар (тепе-теңдік)	$1 + A = 1;$	(3.1)
	$0 * A = 0$	
	$0 + A = A;$	(3.1)
	$1 * A = A$	
	$A + A = A;$	(3.1)
	$A * A = 0$	

3.4-кестенің соңы

	$A + A = 1$ $A * A = 0$	(3.4)
	$A = A$	(3.5)
Коммутативтілік заңы	$A + B = B + A$ $A * B = B * A$	(3.6)
Ассоциативтілік заңы	$A + B + C = A + (B + C)$ $A * B * C = A - (B * C)$	(3.7)
Дистрибутивтілік заңы	$A * (B + C) = (A * B) + (A * C)$ $A + (B * C) = (A + B) * (A + C)$	(3.8)
Қосарлау заңы (де Морган теоремасы)	$A + B = A * B$ $A * B = A + B$	(3.9)
Жұтылу заңы	$A + A * B = A$ $A * (A + B) = A$	(3.10)
Желімдеу заңы	$A * B + A * B = A$	(3.11)

Аталған ұқсастықтар мен заңдарды пайдаланып, жаңа логикалық мәндер алуға болады, сондай-ақ басқа заңдардың негізінде қандай да бір заңның дұрыстығын дәлелдеуге болады. Мысалы, дистрибутивтілік (3.8) пен ұқсастықтың (3.4) екінші заңы көмегімен келесі қатынасты аламыз:

$$A + AB = (A + A)(A + B) = A + B.$$

Дистрибутивтілік пен (3.8) ұқсастықтың (3.1), (3.3) бірінші заңын және ассоциативтілік заңын (3.7) пайдаланып, жұтылу заңының (3.10) дұрыстығына дәлел аламыз

$$A(A + B) = AA + AB = A + AB = A(1 + B) = A.$$

Осы ұқсастықтар мен заңдарды пайдалану логикалық функцияларды қысқартуға, яғни олар үшін барынша қарапайым формасы бар мәндерді табуға мүмкіндік береді.

Ассоциативтілік заңын пайдаланып, көп айнымалының ( $k > 2$ ) кез келген логикалық функциясын екі айнымалы функцияларының үйлесімі түрінде беруге болады. Екі айнымалының логикалық функцияларының толық жиыны  $2^{2^2} = 16$  3.5-кестеде берілген. Әр функция  $A, B$  екі айнымалымен мүмкін болар 16 логикалық операциялардың біреуін белгілейді және өзіндік атауы мен шартты белгісіне ие (3.5-кестені қараңыз).



Мысалы, НЕМЕСЕ операциясын орындау кезінде екі айнымалының теңсіздік сигналы іске қосылады:  $A \Phi B$  кезінде  $F_6 = 1$ ;  $A = B$  кезінде  $F_6 = 0$ . Теңмәнділік операциясын орындау кезінде айнымалылардың теңдігі сигналы іске қосылады:  $A = B$  кезінде  $F_6 = 1$ ;  $A \Phi B$  кезінде  $F_6 = 0$ . Барынша күрделі функциялар үшін: Тыйым, Импликация, Теңмәнділік, НЕМЕСЕ, Пирс және Шеффер функциясы үшін – олардың мәндерін қарапайым инверсия, дизъюнкция, конъюнкция операцияларының көмегімен береді.

### 3.5-кесте

Функция	Шартты белгілер мен алгебралық мәндер	Функция атауы
$F_0$	$F_1 = 0$	тұрақты 0
$F_1$	$F_1 = A * B$	Конъюнкция
$F_2$	$F_2 = A \rightarrow B = A * B$	Тыйым
$F_3$	$F_3 = A$	Ұқастық $A$
$F_4$	$F_4 = B \rightarrow A = A * B$	Тыйым
$F_5$	$F_7 = A + B$	Ұқастық $B$
$F_6$	$F_6 = A \Phi B = A * B + A * B$	НЕМЕСЕ (теңсіз мәнділік)
$F_7$	$F_7 = A + B$	Дизъюнкция
$F_8$	$F_8 = A \downarrow B = A + B$	Пирс бағыттаушы (НЕМЕСЕ - ЕМЕС)
$F_9$	$F_9 = A \sim B = A * B + A * B$	Теңмәнділік (эквиваленттілік)
$F_{10}$	$F_{10} = B$	Инверсия $B$
$F_{11}$	$F_{11} = B \rightarrow A = A + B$	Импликация от $B$ к $A$
$F_{12}$	$F_{12} = A$	Инверсия $A$
$F_{13}$	$F_{13} = A \rightarrow B = A + B$	Импликация от $A$ к $B$
$F_{14}$	$F_{14} = A / B = A * B$	Шеффер штрихы (И — НЕ)
$F_{15}$	$F_{15} = 1$	Тұрақтылық 1

Қайта түрленген логикалық мәндерді пайдаланып, екі айнымалы функцияларының арасындағы кейбір қатынастарды көрсетеміз:

$$F_2 = A \rightarrow B = AB = F_{13} = A \rightarrow B = A + B; \quad (3.13)$$

$$F_4 = B \rightarrow A = AB = F_{11} = B \rightarrow A = A + B; \quad (3.14)$$

$$F_6 = A \oplus B = AB + A * B = F_9 = A \sim B = AB + AB. \quad (3.15)$$

Бұл қатынастардың дәлдігі 3.4-кестеден көрінеді, сондай-ақ дуаль заңдарының көмегімен дәлелденеді.

Цифрлық құрылғы ең аз элементтер жиыны кезінде өзінің функционалдық мақсатын орындауы керек, ол үшін жетілдірілген дизъюнктивті қалыпты форма (ЖДҚФ) мен жетілдірілген конъюнктивті қалыпты форманы (ЖКҚФ) тауып, оларды барынша азайту керек.

## **3.2. ЛОГИКАЛЫҚ ФУНКЦИЯЛАРДЫ БАРЫНША АЗАЙТУ**

Логикалық функцияларды барынша азайту барлық мүмкін айнымалылар үйлесімін графикалық шаршы (торкөз) түрінде бейнелейтін Карно карталары көмегімен іске асырылады. Бұл кезде карта торкөздерінің координаттарымен анықталатын айнымалыларды көлденең де тігінен де бір торкөзден екіншісіне өткен кезде тек бір айнымалы ғана өзгеретіндей етіп орналастырады.

Егер қандай да бір функция үшін Карно картасын алу талап етілсе, алдымен бұл функцияны жетілдірілген дизъюнктивті қалыпты формада немесе шынайылық кестесі түрінде жазып алу керек.

Мысал ретінде 3.6-кестеде көрсетілген шынайылық кестесі бар  $F$  функциясын аламыз.  $A, B, C, D$  айнымалылары құрылғы кісірінде бәсеңдетілетін импульстардың кезектілігі болып табылады. Сандық құрылғы шығысында  $F$  функциясына сай келетін импульстар кезектілігін аламыз.

Берілген  $F$  (ЖДҚФ) функциясына арналған Карно картасы 3.7-кестеде берілген.

ЖДҚФ және ЖКҚФ барынша азайтылатын функциялардың орамын қалыптастыру белгілі бір ережелерге сай орындалады:

1) 1 және 0 аралас торкөздеріндегі барлық шаршылар біріктіріледі;

Кесте 3.6

Кірістер	Импульс номері															
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
A	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
B	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
C	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
D	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
F(қорытынды функция)	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1

Кесте 3.7

AB \ CD	00	01	11	10
00	ABCD	ABCD	ABCD	ABCD
01	ABCD	ABCD	ABCD	ABCD
11	ABCD	ABCD	ABCD	ABCD
10	ABCD	ABCD	ABCD	ABCD

2) 1 және 0 аралас торкөздерден барлық жолдар мен бағандар біріктіріледі;

3) 1 және 0 ден барлық көрші торкөздер біріктіріледі;

4) Бір торкөздер түрлі бірлестікке ене алады;

5) Жекелеген торкөздер, жолдар, бағандар егер олар картаның негізгі геометриялық өстеріне қатысты симметриялы орналасқан болса біріктіріледі.

Орамның әртүрлі нұсқасына арналған біріктірудің біреше нұсқасынан тұйықталған формалар алынып тасталады да, ең азы таңдалады. Бұл МДҚФ немесе МКҚФ болады. Ережелерді пайдаланып, орам теңдеуін құрамыз, алдында қарастырылған заңдарды (жұтылу заңы, желімдеу заңы, ЖДҚФ мен ЖКҚФ функциялары үшін де Морган теоремасы) пайдаланып, ізделген МДҚФ мен МКҚФ табамыз.

ЖДҚФ үшін карта бейнелейміз, берілген F функциясына сай Карно карталары торкөзіне бірліктерді жазамыз. F функциясының бірінші мәні 1, ABCD мәндері — нөлдер (3.6-кестені қараңыз), торкөзді табамыз да бірліктерді жазамыз, карта торкөздеріне бірліктерді жазамыз, мұнда функция 1 мәнін қабылдайды (3.8-кесте).

Кесте 3.8

$AB$	$CD$	00	01	11	10
00		1			1
01			1	1	1
11			1	1	
10			1	1	1

МДҚФ анықтаймыз, бірінші орам:

$$ABCD + ABCD + ABCD + ABCD = BCD(A + A) + \\ + BCD(A + A) = BCD + BCD = BD(C + C) = BD;$$

Екінші орам:

$$ABCD + ABCD + ABCD + ABCD = ABD(C + C) + \\ + ABD(C + C) = ABD + ABD = AD(B + B) = AD;$$

Үшінші орам

$$ABCD + ABCD + ABCD = ABCD + ABC(D + D) = ABCD + ABC;$$

төртінші орам:

$$ABCD + ABCD + ABCD = ABCD + ABC(D + D) = ABCD + ABC;$$

Бесінші орам:

$$ABCD + AbcD = ABD(C + C) = ABD \\ F = BD + AD + ABCD + ABC + ABCB + ABC + ABCD + ABC + ABD \\ = \\ = BD(1 + AC) + AD(1 + BC) + ABC + ABC + ABD = \\ = BD + AD + ABC + ABC + ABD;$$

МДҚФ функциясын аламыз:

$$F = BD + AD + ABC + ABC + ABD.$$

Берілген F (ЖКҚФ) функциясына арналған Карно картасы 3.9-кестеде берілген.

3.9-кесте

AB \ CD	00	01	11	10
00	$A + B + C + D$	$A + B + C + D$	$A + B + C + D$	$A + B + C + D$
01	$A + B + C + D$	$A + B + C + D$	$A + B + C + D$	$A + B + C + D$
11	$A + B + C + D$	$A + B + C + D$	$A + B + C + D$	$A + B + C + D$
10	$A + B + C + D$	$A + B + C + D$	$A + B + C + D$	$A + B + C + D$

ЖКҚФ арналған картаны бейнелейміз, Карно картасының торкөздеріне берілген F функциясына сай нөлдерді жазамыз. F функциясының екінші мәні 0-ге тең, A мәні – 1, BCD мәндері — нөлдер (3.6-кестені қараңыз), торкөзді табамыз да, нөлдерді қоямыз, сәйкесінше карта торкөздеріне нөлдерді жазамыз, мұнда функция 0 мәнін қабылдайды (3.10-кесте).

МКҚФ анықтаймыз:

*бірінші орам:*

$$(A + B + C + D) + B + C + D) + B + C + D) =$$

$$= (A + B + C + D)(B + B)[A + C + D] = (A + B + C + D)(A + C + D);$$

*екінші орам:*

$$(A + B + C + D)(A + B + C + D) = (A + B + D)(C + C) = (A + B + D);$$

*үшінші орам:*

$$(A + B + C + D)(A + B + C + D) = (A + B + D)(C + C) = (A + B + D);$$

*МКҚФ функциясын аламыз:*

$$F = (A + B + C + D)(A + C + D)(A + B + D)(A + B + D).$$

3.10-кесте

AB \ CD	00	01	11	10
00		0	0	
01	0			
11	0			0
12	0			

МДҚФ аппаратты іске асыру үшін бес көбейткіш пен бір сумматор қажет болады, МКҚФ үшін – төрт сумматор және бір көбейткіш керек болады.

Сигнал генераторы **Component ^ Digital Primitives ^ Stimulus Generators ^ Stim4** командасымен шақырылады. Шығыс импульстарының *A, B, C, D* кезектілігін баптаймыз. Генераторда импульс кезектілігін жазып қою керек, бұл жағдайда импульстар кезектілігі 100нс-ті құрайды:

```
.DEFINEIN1
+ 0NS 0
+ 100NS 1
+ 200NS 2
+ 300NS 3
+ 400NS 4
+ 500NS 5
+ 600NS 6
+ 700NS 7
+ 800NS 8
+ 900NS 9
+ 1000NS A
+ 1100NS B
+ 1200NS C
+ 1300NS D
+ 1400NS E
+ 1500NS F
+ 1600NS 0
```

Көбейткіш **Component > Digital Primitives > Standard Gates > And Gates** командасымен шақырылады. Сандар кіріс санын көрсетеді. Сумматор **Component > Digital Primitives > Standard Gates > Or Gates** командасымен шақырылады. Өткізгіш көмегімен схемада керекті біріктірулерді орындаңыз.

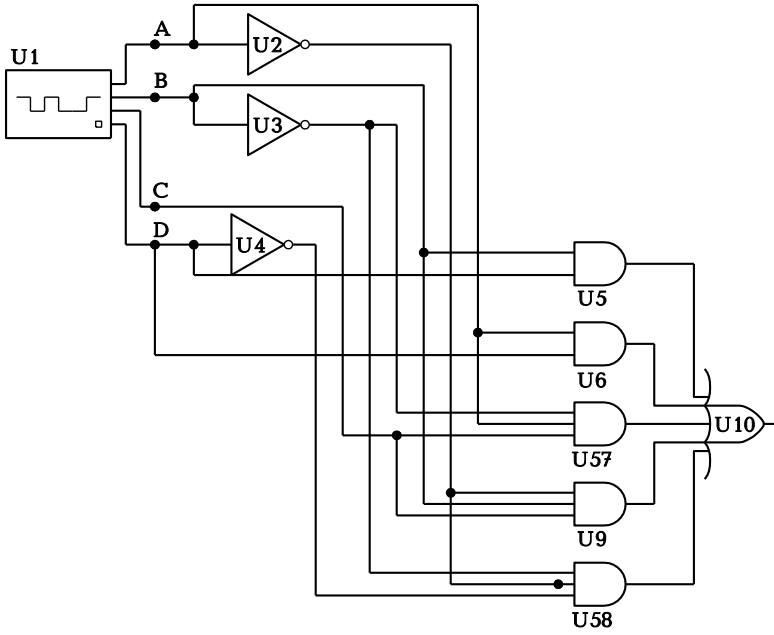
Іске асыру схемасы 3.1-суретті (МДҚФ) және 3.2-суретте (МКҚФ) берілген.

ЖӘНЕ – ЕМЕС, НЕМЕСЕ – ЕМЕС базистерындағы ең төменгі логикалық функцияларды синтездеу әдістемесі:  $A+B = A i B$  заңдары мен — Пирс бағыттауышын (НЕМЕСЕ – ЕМЕС) қолданудан тұрады;

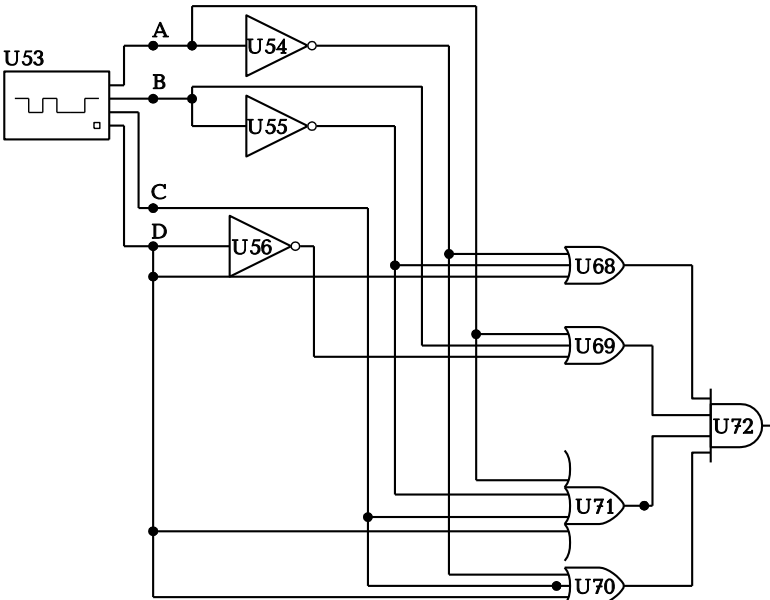
$A * B = AfB$  — Шеффер штрихі (ЖӘНЕ – ЕМЕС).

Функциялардың әрқайсысы жеке толық базистік жүйені құрайды. Ережелерді  $F$  функциясы мысалында қарастырамыз.

ЖӘНЕ – ЕМЕС, НЕМЕСЕ – ЕМЕС базистерін қайта түрлендіру үшін келесі логикалық алгебра заңдарын пайдаланамыз:



3.1-сурет. Микро-Сар-да МДҚФ іске асыру схемасы



3.2-сурет. Микро-Сар-да МКҚФ іске асыру схемасы

$$A+B = AB$$

$$AB = A+B$$

НЕМЕСЕ-ЕМЕС базисіндегі МДҚФ функциясына ауыстырамыз:

$$\begin{aligned} F &= BD + AD + ABC + ABC + ABD = (B+D) + \\ &\quad (A+D) + (A+B+C) + \\ &+ (A+B+C) + (A+B+D) = (B\downarrow D) + (A\downarrow D) + (A\downarrow B\downarrow C) + \\ &\quad + (A\downarrow B\downarrow C) + (A\downarrow B\downarrow D) = \\ &= (B\downarrow D) + (A\downarrow D) + (A\downarrow B\downarrow C) + (A\downarrow B\downarrow C) + (A\downarrow B\downarrow D) = \\ &= (B\downarrow D) \downarrow (A\downarrow D) \downarrow (A\downarrow B\downarrow C) \downarrow (A\downarrow B\downarrow C) \downarrow (A\downarrow B\downarrow D). \end{aligned}$$

Функцияның жалпы инверсиясы шығыста болуын болжайды

Логикалық инвертор схемасы.

НЕМЕСЕ-ЕМЕС базисіндегі МДҚФ функциясына ауыстырамыз:

$$\begin{aligned} F &= (A+B+C+D)(A+C+D)(A+B+D)(A+B+D) = \\ &= (A+B+C+D) + (A+C+D) + (A+B+D) + (A+B+D) = \\ &= (A\downarrow B\downarrow C\downarrow D) \downarrow (A\downarrow C\downarrow D) \downarrow (A\downarrow B\downarrow D) \downarrow (A\downarrow B\downarrow D). \end{aligned}$$

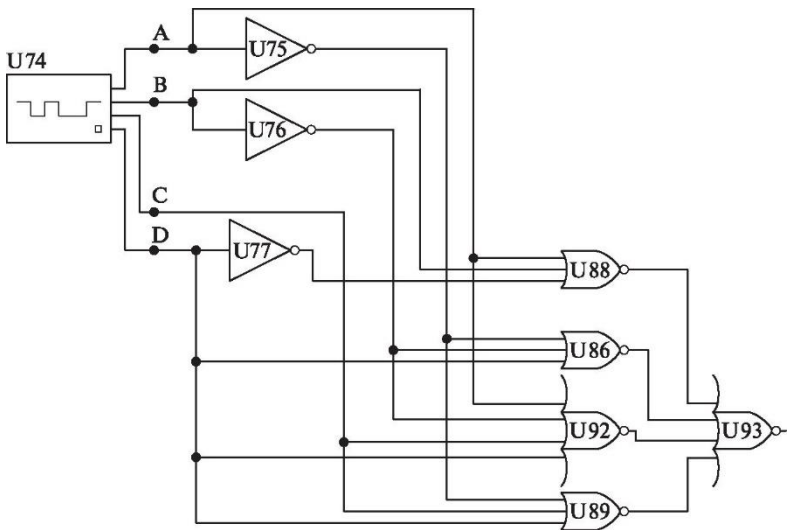
ЖӘНЕ-ЕМЕС базисіндегі МДҚФ функциясына ауыстырамыз:

$$\begin{aligned} F &= BD+AD+ABC+ABC+ABD = (BD)(AD)(ABC)(ABC)(ABD) = \\ &= (B/D)(A/D)(A/B/C)(A/B/C)(A/B/D) = \end{aligned}$$

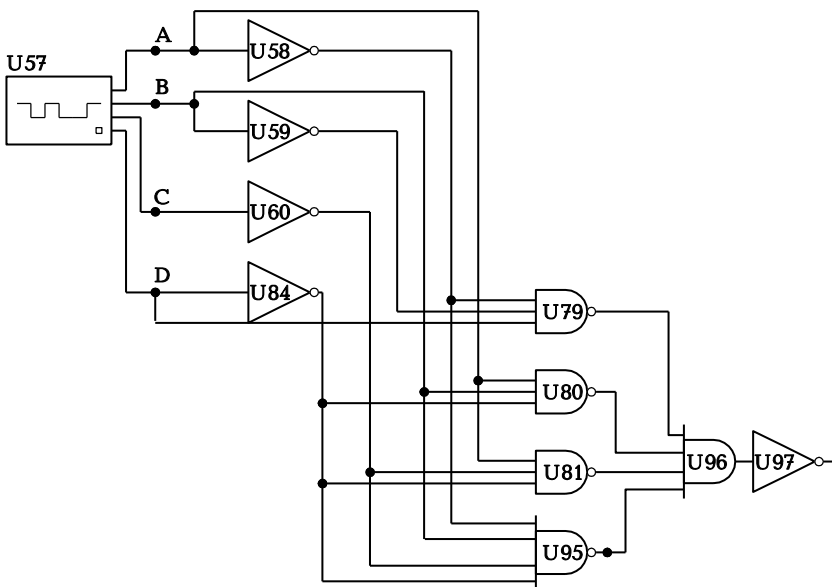
ЖӘНЕ-ЕМЕС базисіндегі МДҚФ функциясына ауыстырамыз:

$$\begin{aligned} F &= (A+B+C+D)(A+C+D)(A+B+D)(A+B+D) = \\ &= (ABCD)(ACD)(ABD)(ABD) = \\ &= (A/B/C/D)(A/C/D)(A/B/D)(A/B/D) = \\ &= (A/B/C/D)(A/C/D)(A/B/D)(A/B/D) = \\ &= (A/B/C/D) / (A/C/D) / (A/B/D) / (A/B/D). \end{aligned}$$





3.3-сурет. Micro-Cap-да NEMEC-EMEC базисінде МКҚФ іске асыру схемасы



3.4-сурет. Micro-Cap-да ЖӘНЕ-EMEC базисінде МКҚФ іске асыру схемасы

HEMECE – EMEC элементі Component  $\wedge$  Digital Primitives  $\wedge$  Standard Gates  $\wedge$  Nor Gates командасымен шақырылады. Сандар логикалық элементтің кіріс санын көрсетеді. ЖӘНЕ – EMEC элементі Component  $\wedge$  Digital Primitives  $\wedge$  Standard Gates  $\wedge$   $\wedge$  Nand Gates командасымен шақырылады. Элементтерді орналастырғаннан соң базистарда алынған функцияларға сай қажетті біріктірулерді орындаңыз.

HEMECE – EMEC базисінде МКҚФ іске асыру схемасы 3.3-суретте берілген. ЖӘНЕ – EMEC базисінде МКҚФ іске асыру схемасы 3.4-суретте берілген.

HEMECE – EMEC, ЖӘНЕ – EMEC базистарында МДҚФ схемасы осы элементтермен, бірақ өзінің ең төмен функциясымен құрылады.

Барлық схемалардағы шығыс сигналы берілген F функциясының мәндеріне сәйкес келуі керек.

## **БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ**

1. Қандай негізгі логикалық операциялар бар?
2. Дистрибутивтілік заңы формалумен қалай жазылады?
3. Де Морган теоремасын жазыңыз.
4. Желімдеу заңы формуламен қалай жазылады?
5. Қандай базис «Пирс бағыттауышына» сай келеді?
6. Қандай базис «Шеффер штрихына» сай келеді?
7. Логикалық функцияларды барынша азайту процедурасын түсіндіріңіз.

## ҚҰРЫЛҒЫЛАР ЖҰМЫСЫНЫҢ ФИЗИКАЛЫҚ НЕГІЗДЕРІ

### 4.1. КІЛТТІ РЕЖИМІНДЕГІ ТРАНЗИСТОР ЖҰМЫСЫН ЗЕРТТЕУ

Кілтті режимде биполярлық транзистор қаныққан (тұйықталған кілт) немесе бөлінген (тұйықталмаған кілт) режимінде жұмыс істейді. Қаныққан режимде екі айнымалы да (база-коллектор және база-эмиттер) ашық, ал бөлінген режимде – жабық.

Ашық транзистор белсенді режимде немесе қаныққан режимде бола алады. Электронды кілттер үшін белсенді режим тиімсіз болады, себебі бұл режимде коллекторда айтарлықтай қуат таралады. Сондықтан белсенді режим тек ауыспалы үдерістерде ғана рұқсат етіледі.

Электронды кілттерді жобалаудың қажетті бөлігі болып олардың қайта қосылу және энергия жоғалту жылдамдығын анықтайтын динамикалық қасиеттерін бағалау табылады.

Кілтті режимдегі транзистор жұмысы келесі кезектілікте жүзеге асырылады:

1) транзистор жабық, база тогы коллектордың кері тогымен анықталады, базада заряд жоқ деуге де болады, кілт шығысында жоғары деңгейде;

2) кілт кірісінде потенциал секірмелі артады, кіріс сыйымдылығы зарядтала бастайды. база мен коллектор токтары база-эмиттер айнымалысында кернеу бөлінген (қосылу тежелген кезде) кернеуден аспайынша өзгермейді;

3) бөлінген кернеу артқан сәтте эмиттер айнымалысы ашылады, транзистор белсенді режимге көшеді. Базада инжектрленетін негізгі емес тасымалдағыштар базаның тепе-теңдік күйін бұзады, заряд жинала бастайды. Коллектор ауданына тасымалдағыштардың экстракциялануына негізделетін коллектор тогы пропорционалды түрде артады. Қосылу уақыты қаныққан режимге өту уақытымен

анықталады;

4) Қаныққан режимге кірген соң сыртқы токтар мен кернеудер тұрақты болып қалады, бірақ базадағы заряд аз жылдамдықпен болса да арта береді. Қаныққан режиміне өтуге сәйке мәннен артатын заряд артық заряд деп аталады;

5) Әлеуеттің кілт кірісіндегі секірме тәрізді өзгерісі кезінде база тогы да тез азаяды, база зарядының тепе-теңдік күйі бұзылады және оның таралуы басталады. Транзистор заряд шекті мәнге дейін төмендегенше қаныққан болып қала береді, одан кейін транзистор (қосуды тежеу уақытында) белсенді режимге өтеді;

6) Белсенді режимде база заряды мен коллектор тогы транзистор бөлінген режимге ауысқанша азая береді. Бұл сәтте кілттің кіріс кедергісі артады. Бұл кезең қосылу уақытымен анықталады;

7) Транзистор бөлінген режимге өткен соң шығыстағы кернеу артуын жалғастырады, себебі жүктеу, монтаж сыйымдылығы және база-коллектор сыйымдылығы зарядталады.

Биполярлық транзистор кілтіндегі айнымалы үдерістер 4.1-суретте берілген.

Айнымалы үдерістің толық ағымын екі кезеңде қарастыруға болады: транзисторды қосу және оны өшіру.

Бірінші кезеңді қарастырайық:

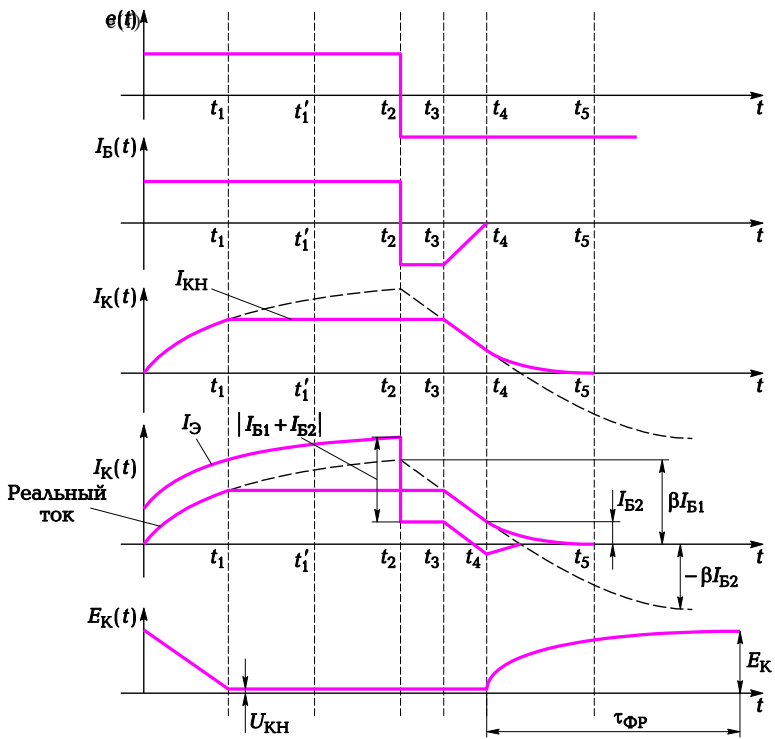
- интервал  $t_0—t_1$  — қосылу (транзистор жұмысының белсенді режимі);
- интервал  $t_1—t_1'$  — базада зарядты орнату интервалы ( $I_{B1}$  » шекті).

Қосу кезеңінде эмиттер тогы алдымен серпіліспен  $I_{B1}$ , мәніне дейін өзгереді, коллектор тогы артпайды, ол инертті.  $I_K$   $I_{Э}$  ге қосылады, яғни коллектор тогы өсе бастайды. Бұл  $t_1$  нүктесіне дейін болады, ол – қаныққандағы кіріс нүктесі. Токтың теріс түсіп кетуі кезінде  $I_{Э}$  және  $I_K$  өзгермейді.

$t_1$  кезінде кернеу  $U_{КН} = 0,2$  В. Бұл кезеңде қосылу режимі аяқталды.

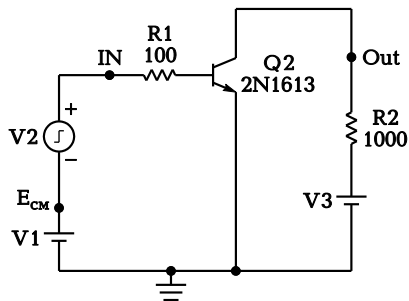
Екінші кезеңді қарастырайық:

- интервал  $t_2—t_3$  — зарядты тарату аймағы қосылу кезеңінде (қаныққан режимнен шығу уақыты). Бұл транзистордағы ең әлсіз орын;
- интервал  $t_3—t_4$  — транзисторды қосу интервалы, бұл уақытта транзистор  $t_4$  нүктесінде эмиттерлі айнымалы  $I_{Э} = 0$  өшірілгенге дейін белсенді режимде жұмыс істейді.



4.1-сурет. Биполярлық транзисторда кілттегі ауыспалы үдерістер

Эмиттер айнаымалысы өшірілгенге дейін ( $t_4$  нүктесі) ток  $I_R(t)$  азаяды да эмиттер арқылы екі ток өтеді:  $I_{B2}$  және  $I_{Э} = I_K$ .



4.2-сурет. Micro-Cap-да биполярлы транзистордегі кілт схемасы

Токтың теңдігі кезінде  $I_K = I_{B2}$ , онда ток та  $I_{\Delta} = 0$ ;

■ интервал  $t_4—t_5$  — бұл динамикалық бөлінудің интервалы. Айнымалы үдерістің коллекторлы тогы коллекторлық диод арқылы өтеді де, базадан артық тасымалдағыштарды лақтырып, кезенді жабады. Транзистор жабылғанда,  $C_{БК}$  және  $C_{ПАР}$  сыйымдықтарының әсері басталады.  $U_{КЭ}$  кернеуі тұрақты уақытпен  $E_K$  дейін артады:

$$\tau_{ФР} = (C_{БК} + C_{ПАР}) * R_K$$

транзисторды қосу кезеңінде белгілердің ауысуы орын алады. База тізбегіне кері бағытта  $I_{B2}$  ток өтеді.

Micro-Cap бағдарламасында биполярлық транзистордағы кілт жұмысын қарастырайық кілт схемасы 4.2-суретте берілген.

Орын ауыстыру  $V1=0,78$  кернеу көзімен беріледі. Қорек кернеуі  $V3=10$  көзімен беріледі. Сигналдың импульсті көзінің параметрлері  $VZERO=0$ ,  $VONE=0.38$ ,  $P1=P2=0$ ,  $P3=P4=0.4U$ ,  $P5=10u$ .

Ауыспалы үдерістерді зерттеу параметрлері: Time Range —  $0.6U$ , Temperature —  $27$ . Зерттелетін нүкте параметрлері 4.1-кестеде берілген.

Импульс аяқталған соң транзистор  $20$  нс шамасында қаныққан режимде болады, бұл кезде базада зарядтың таралуы орын алады. Бұл үдеріс коллекторлық тізбектегі кедергіге байланысты. Резистор кедергісін ауыстырыңыз:  $R2=2000$ . Импульс ұзақтығын екі есе азайтыңыз:  $VZERO=0$ ,  $VONE=0.38$ ,  $P1=P2=0$ ,  $P3=P4=0.2U$ ,  $P5=10u$ .

Схеманың осындай параметрлері кезінде базада зарядтың таралу ұзақтығы шамамен  $90$  нс-ті құрайды, бұл  $200$ нс-ке тең импульс ұзақтығымен салыстырғанда едәуір.

4.1-кесте

P	X Expression	Y Expression	X Range	Y Range
1	T	V(Ecm)	0.6U,0,0.1e-6	1,0,0.5
1	T	v(IN)	0.6U,0,0.1e-6	2,0,0.5
1	T	v(OUT)	0.6U,0,0.1e-6	10,0,1

Аналогты сигналды цифрлық сигналға ауыстыру үшін оны алдымен дискреттеу керек. Дискреттеудің теориялық негізі Котельников теоремасы болып табылады: шекті спектрлі сигнал ( $P_{\text{макс}}$ ) келесі жиілікте ( $FJ$ , кемінде сигналдың жоғары жиілігінен екі есе үлкен жиілікте толықтай өз есптерімен анықталады  $P_d > 2P_{\text{макс}}$ .

Қазіргі байланыс техникасында цифрлық технологияға жаппай көшу байқалады. Бұл кезде бастапқы сигналдарды сандық түріне айналдыру орын алуда. Цифрлық сигналдарды алу үдерісі екі кезеңнен тұрады: Котельников теоремасы бойынша сигналдарды дискреттеу және сигналдарды кванттау.

Сигналдарды кванттау жекелеген дискретті мәндерді бірліктің қосарланған жүйесінде дербес код берілген стандартты квантты шамаларға түрлендіруден тұрады. Кодтық топ деп аталатын қосарланған сандардың кезеектілігі сандық сигналды құрайды.

Цифрлық сигнал — дискретті сигналдың сигнал әсер ететін уақыт сәтімен анықталатын дельта-функция амплитудасы. Дельта-функция — шексіз кіші қызметтің функциясы.

Сигналдарды сандық түрге түрлендіру кезінде «кванттау шуы» деп аталатын ауытқулар туындайды. олар сигналдардың нақты амплитудалары мен кванттық деңгей мәнінің сәйкессіздігімен түсіндіріледі. Кванттау шуын азайту үшін кванттау деңгейінің санын арттыру керек. Заманауи байланыста көбінесе 256 деңгей пайдаланылады, бұл сегіз разрядты кодқа сәйкес келеді.

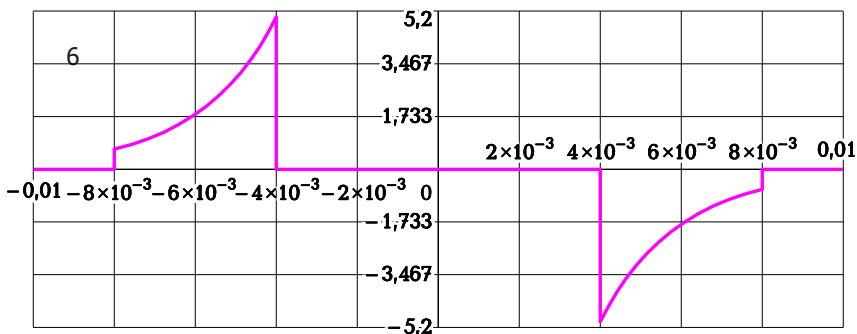
Сигнал дискреттеу мысалын қарастырайық. Экспоненциалды сигналды дискреттейміз. Экспоненциалды сигнал  $s(f)$  4.3-суретте көрсетілген. Дискретті сигнал алудың қарапайым құрылғысы болып электронды басқарылатын кілт табылады. Сигнал спектрі бойынша шекті жиілікті анықтайды, одан кейін дискреттеу кезеңін анықтайды.

Цифрлық сигналды мына формуламен анықтаймыз

$$S(n) = T_s S(nT_s) u(n), \quad (4.2)$$

мұндағы  $T_s$  — дискреттеу кезеңі;  $S(nT_s)$  — дискреттелген сигнал;  $u(n)$  — арнайы функция.

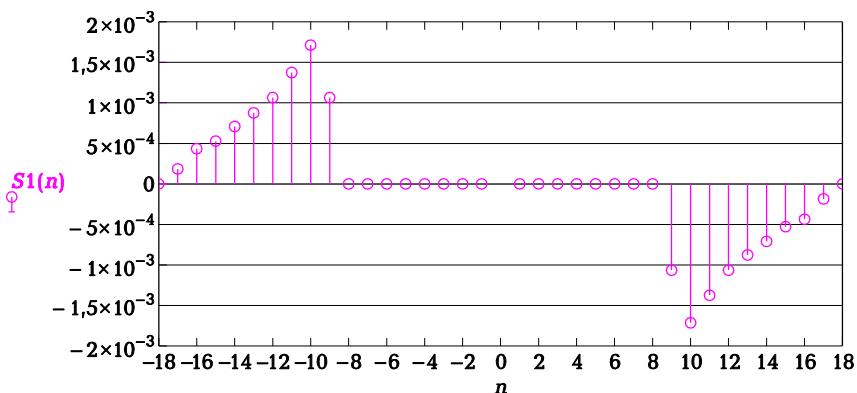
$u(n)$  функциясы шеткі сигнал дискретін ауыстыру дұрыстығын ескереді. Шеткі дискреттер цифрлық сигналға ауыстырғанда жарты амплитудаға ие болады.



4.3-сурет . Экспоненциалды сигнал қисығы  $s(t)$

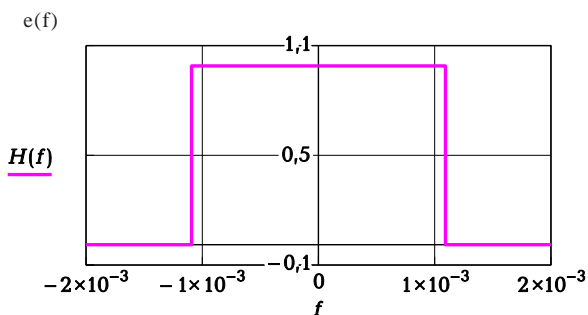
Цифрлық сигнал  $S(n)$  4.4-суретте көрсетілген.

Дискреттіктен аналогты сигналды алу төменгі жиілік сүзгісі арқылы қалпына келтірумен жүзеге асырылады. Аналогты сигналды жақсы түрде қалпына келтіру үшін дискреттеу жиілігінің жартысына тең шекті жиілікті, идеалды төменгі жиілік сүзгісі пайдаланылады. Сүзгінің жиілікті сипаттамасы 4.5-суретте көрсетілген. Дискреттеу кезеңі өседі, бұл кезде кодталатын есеп саны аз болады. Дискреттеу жиілігін азайтқан кезде қалпына келтірілген сигнал 4.7-суретте көрсетілген. Графиктерді салыстыру кезінде дискреттеу жиілігінің аз болғанында қалпына келтірілген сигнал айтарлықтай байқалатын ауытқуға ие болады. Ауытқу болған кезде дыбысты өңдеу кезінде ақпараттық хабарламаны бұрмалайтын шу туындайды.

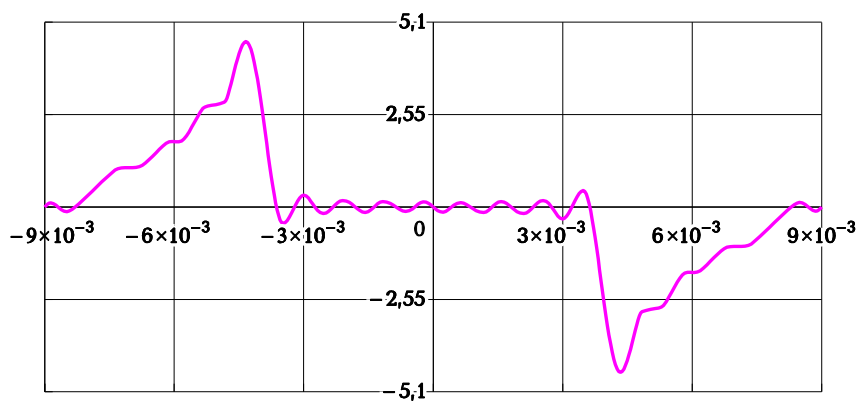


4.4-сурет. Цифрлы сигнал  $S(n)$

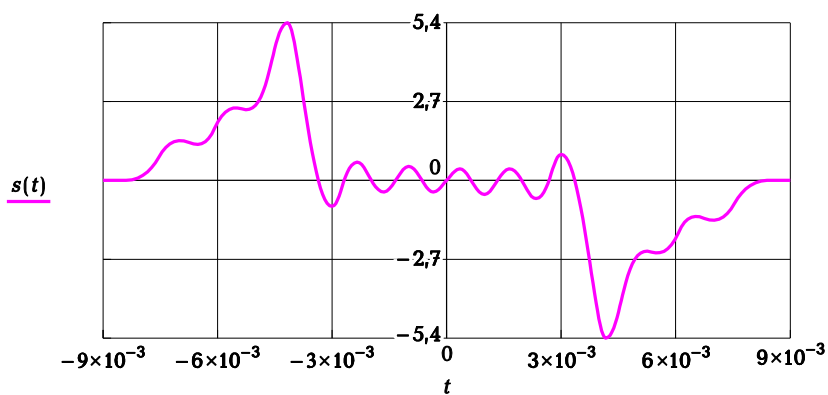




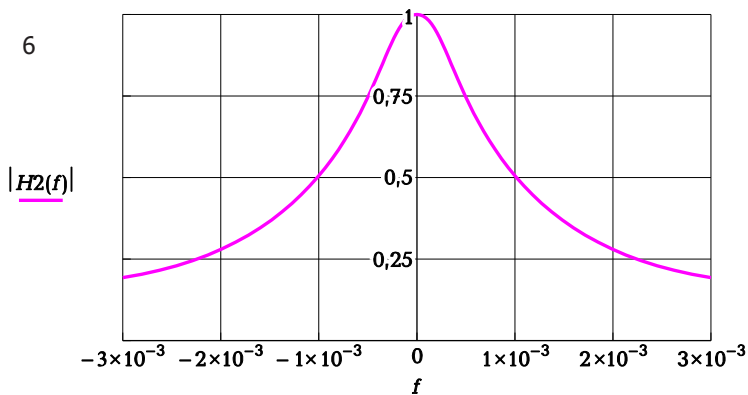
4.5-сурет. Идеальды сүзгінің жиілік сипаттамасы



4.6-сурет. Уақыт аймағында қалпына келтірілген сигнал



4.7-сурет. Дискреттеу жиілігінің азаюы кезінде қалпына келтірілген сигнал



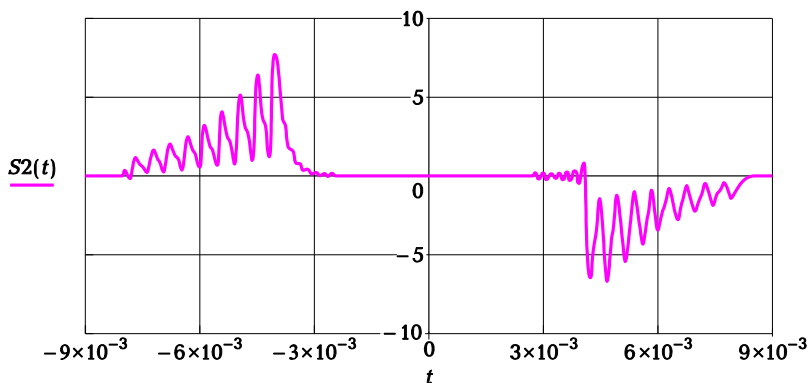
4.8-сурет. Нақты сүзгінің жиілік сипаттамасы

---

Қалпына келтіру кезінде идеальды жиілік сипаттамасы бар сүзгі қолданылғанын ескеру керек. Нақты сүзгінің жиілік сипаттамасын қар астырамыз (4.8-сурет).

Қалпына келтіру нәтижесінде 4.9-суретте көрсетілген сигналды аламыз. Сигналда нақты сүзгі параметрлеріне тәуелді ауытқу байқалады.

---



4.9-сурет. Нақты сүзгіні пайдалану кезінде қалпына келтірілген сигнал

### 4.3. СҰРЫПТАУ ЖӘНЕ САҚТАУ ҚҰРЫЛҒЫСЫ

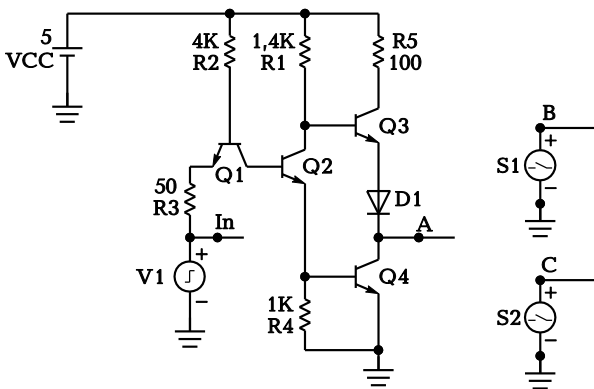
Электроникадағы сұрыптау және сақтау құрылғысы белгілі бір уақыт кезеңінде кірістегі кернеуін жадта сақтау схемасын білдіреді. Құрылғы көптеген аналогты-цифрлық түрлендіргіштердің құрамдас бөлігі болып табылады.

Ақпаратты жинау және оны одан әрі түрлендіру кезінде көбінесе уақыттың қандай да бір сәтінде аналогты сигнал мәнін сақтап қою керек болады. Кейбір аналогты-цифрлық түрлендіргіштердің типтері, мысалы, егер олардың кіріс сигналдары түрлендіру кезінде кезекті жуықтау сақталмаған болса, мүлдем болжауға келмейтін қателіктер беруі мүмкін. Цифрлық-аналогты түрлендіргіштердің кіріс кодын ауыстыру кезінде разрядтардың орнатылуы бір мезгілде болмағандықтан шығыс кернеудің шығыны байқалады.

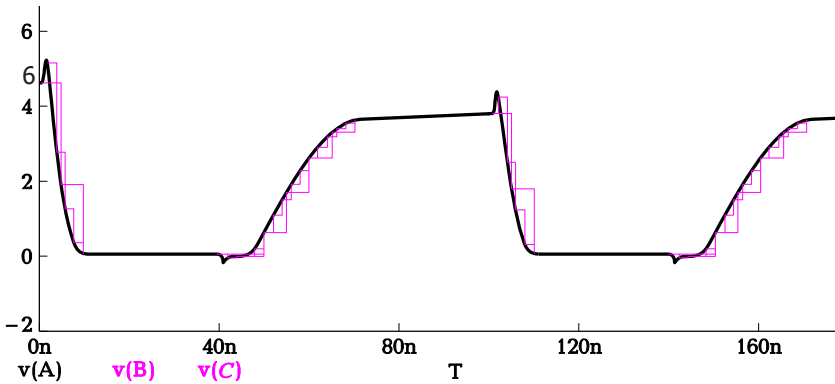
Бұл құбылысты болдырмас үшін орналастыру кезінде де САТ шығыс сигналын да сақтап қою керек. Осы функцияны орындайтын сұрыптау және сақтау құрылғысы сұрыптау (бақылау) уақыты интервалында шығыста кіріс аналогты сигналын қайталауы керек, ал сақтау режимі қосылған кезде сұрыптау сигналы түскенге дейін шығыс кернеуінің соңғы мәнін сақтап қою керек.

Micro-Cap бағдарламасында ССҚ жұмысының талдауын жүргіземіз.

Сұрыптау және сақтау құрылғысының схемасы 4.10-суретте көрсетілген.



4.10-сурет. Micro-Cap-да сұрыптау және сақтау құрылғысының схемасы



4.11-сурет. Сұрыптау және сақтау құрылғысының уақытша сигналы

Схеманың негізгі элементтері – кілттер, транзистор, сигналдың импульсты көзі, диод.

S1, S2 кілттері **Component > Analog Primitives > Miscellaneous > Sample and Hold** командасымен шақырылады. S1 кілтінің параметрлері: INPUT\_EXPR=V(A), PERIOD=5ns. S2 кілтінің параметрлері: INPUT\_EXPR=V(A), PERIOD=2ns.

Транзистор моделі — QN.

Сигналдың импульсті көзінің параметрлері V1: VZERO=0, VONE=3.5, P1=1000P, P2=2N, P3=40Ч P4=8Ш, P5=100N.

Диод моделі — D.

Уақытша сипаттаманы зерттеудің баптаулары 4.2-кестеде берілген

4.2-кесте.

Time Range	200n	—	—	—
Maximum Time Step	100n	—	—	—
Temperature	27	—	—	—
P	X Expression	Y Expression	X Range	Y Range
1	T	v(A)	2e-007,0,4e-8	8,-2,2
1	T	v(B)	2e-007,0,4e-8	8,-2,2
1	T	V(C)	2e-007,0,4e-8	8,-2,2

Уақытша сигнал графигі 4.11-кестеде көрсетілген. Графиктен дискреттеу кезеңі аз болған сайын, цифрлық сигнал нақты бола бастайды.  $S^{(f)}$  нс кезеңі кезінде сигналдың едәуір дәрекі дискреттелуі орын алады.

#### 4.4. ТРИГГЕРЛЕР

Бір тұрақты қалыптан екіншісіне ауысуы және цифрлық ақпараттық сигналдың түсуі бойынша қалпын өзгертуі мүмкін цифрлық құрылғы триггер деп аталады. Триггер екі тұрақты қалыптың біреуінде ұзақ уақыт болады да кіріс ақпараттық сигнал әсерінен оларды кезектестіреді.

Басқару тәсілі бойынша триггерлер екі класқа бөлінеді:

- синхронды, шығыс сигналы синхросигнал (ешқандай ақпараты жок) әсерінен өзгереді;
- асинхронды, шығыс сигналы кіріс ақпараттық сигналы әсерінен өзгереді.

Логикалық байланысты ұйымдастыру тәсілі бойынша триггерлер мына типтерге жіктеледі:

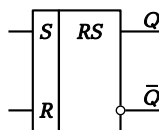
- $RS$  — «1» және «0» қалыптарын бөлек орнатумен;
- $D$  — ақпаратты бір кірісті қабылдаумен;
- $T$  (ақпараттық) — есепті кіріспен;
- $JK$  (әмбебап) —  $D$ -,  $RS$ -,  $T$ -триггерлердің қасиеттерін қамтиды.

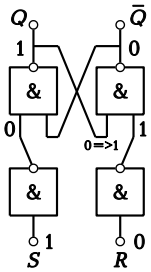
Іске қосылу тәсілі бойынша триггерлер былай жіктеледі:

- Деңгейі бойынша, егер кірісте «1» орнатылса, онда триггер әске қосылады да осы қалыпта болады;
- Фронт бойынша, сигнал деңгейі өткелден асқан кезде импульс фронтында триггер іске қосылады.

Асинхронды  $RS$ -триггер екі  $S$  және  $R$  кіріске және екі  $Q$  және  $\bar{Q}$  шығысқа ие.  $S$  кірісі (ағылшынша *set* — орнату),  $R$  кірісі (ағылшынша *reset* — түсіру). Триггердің тура шығысын  $Q$ -мен, ал инверсті шығысын  $\bar{Q}$ -мен белгілейді.

4.12-сурет.  $RS$ - триггерінің шартты графикалық кескіні





4.13-сурет. Асинхронды RS-триггерінің ЖӘНЕ-ЕМЕС элементтеріндегі схемасы

RS-триггерінің шартты графикалық бейнесі 4.12-суретте берілген.

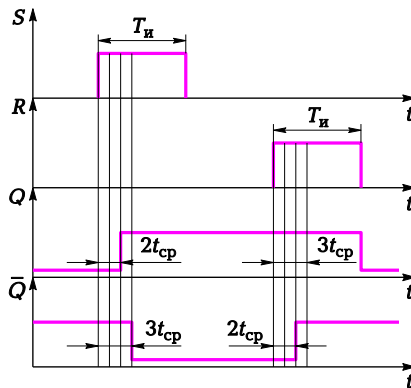
Кіріс сигналдарының нұсқалары мен шығыстағы нәтижесі

- $S = 1$  және  $R = 0$  кезінде  $Q = 1$ ;
- $S = 0$  және  $R = 1$  кезінде  $Q = 0$ ;
- $S = 1$  және  $R = 1$  (шығыста белгісіздік қалпы);
- $S = 0$  және  $R = 0$  (алдыңғы қалыпты сақтайды).

ЖӘНЕ-ЕМЕС элементтеріндегі асинхронды триггер схемасы 4.13-суретте берілген. Триггер жұмысын түсіндіретін уақытша диаграммалар 4.14-суретте берілген.

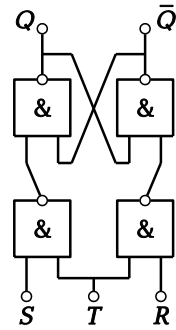
- Асинхронды RS-триггерінің негізгі параметрлері:
- $n_{mp} = n_{ЛЭ} - 1$  — триггердің жүктемелік қабілеті;
- $m_{mp} = m_{ЛЭ}$  — кіріс бойынша тармақталатын коэффициент;
- $T_{зд} = 2t_{cp}$  — сигналды тежеу уақыты;
- $T_{зд} = 2t_{cp}$  — сигналдың ұзақтығы;
- $F_{max} = \frac{1}{T_H + t_{cp}}$  — импульстарды бақылаудың ең жоғары жиілігі.

Кез келген триггерді қосқан кезде логикалық мән тура шығыста анықталмаған.  $Q$  дәл орнатылуын (әдетте «0») қамтамасыз ететін шараларды қарастыру керек.



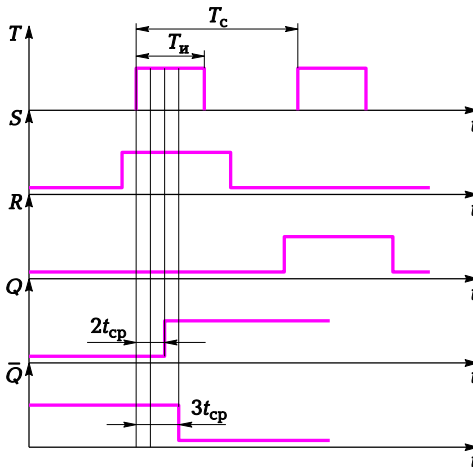
4.14-сурет. Асинхронды RS-триггері жұмысының уақытша диаграммалары

4.15-сурет. Синхронды RS-триггерінің схемасы

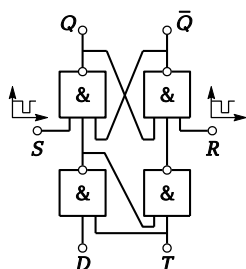


Триггер шығыс деңгейінің бастапқы қалпын беру керек. Ол үшін триггерде теріс полярлық қысқа орнатқыш импульсын беру үшін орнатқыш кірістері болады.  $S$  кірісі бойынша берген кезде  $Q$  шығысында 1 болады, орнатқыш импульсын  $R$  кірісінде берген кезде шығыста 0 болады.

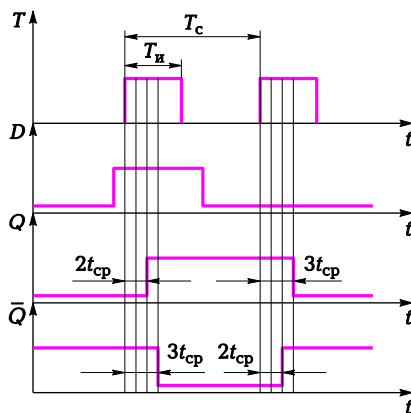
Синхронды RS-триггер. Бастапқы шарттары  $Q = 0$  және  $Q = 1$ . Синхронды RS-триггер жұмысының ерекшеліктері логикалық деңгейлер синхросигналға тәуелсіз уақыт бойынша орнатылатындығында. ЖӘНЕ-ЕМЕС элементтеріндегі синхронды триггер схемасы 4.15-суретте берілген. Триггер жұмысын түсіндіретін уақытша диаграммалар 4.16-суретте көрсетілген.  $T$  кірісте сигналы болмаған жағдайда, яғни  $T = 0$  кезінде  $R$  және  $S$  кірістерінде сигналдардың өзгерісі триггер қалпын өзгерте алмайды.  $T = 1$  шешуші сигналы пайда болған сәттен бастап ЖӘНЕ-ЕМЕС кіріс элементтері инвертор функциясын орындайды. Бұл кезде триггер қалпы  $S$  және  $R$  кірістеріндегі сигналдар мәнімен анықталатын болады.



4.16-сурет. Синхронды RS-триггері жұмысының уақытша диаграммалары



4.17-сурет. D-триггерінің схемасы



4.18-сурет. D-триггері жұмысын түсіндіретін уақытша диаграммалар

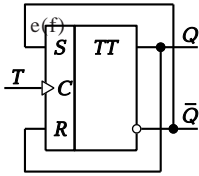
RS-триггерлер схемасы D, T, және JK триггердік схемасын құруға арналған негізді құрайды.

*D-триггер*. D-триггер — D ақпараттық кірістен, T синхросигнал кірісінен, екі Q және  $\bar{Q}$  шығыстан тұратын триггер (4.17-сурет). D-триггер (ағылшынша *delay* — тежелу). RS-триггерлер негізінде алынады. Шығыстағы сигнал синхросигналдан бір такт тежеліп пайда болады. S және R — бастапқы деңгейді теріс полярлық импульсты шығыста орнату кірістері. D-триггер орнату режимінде ғана жұмыс істейтін, яғни  $R = 1, S = 0$  және  $R = 0, S = 1$  сигнал үйлесімінде жұмыс істейтін RS-триггеріне сәйкес келеді. Ақпаратты сақтауды ұйымдастыру үшін T кірісі пайдаланылады (сақтау режимі  $T = 0$ ). D-триггері жұмысын түсіндіретін диаграмма 4.18-суретте берілген.

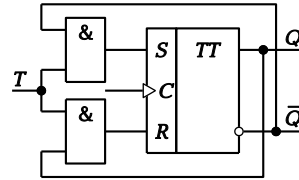
*T-триггер*. T-триггер — бір T ақпараттық кірістен, екі Q және  $\bar{Q}$  шығыстан тұратын триггер. T-триггер (ағылшынша *tumbler* — лақтырғыш) сандық жүйе импульстарын есептеуіштерде кеңінен қолданылады. Триггер ( $T_n$ ) синхрондайтын импульс келген сайын тура шығыста өз қалпын өзгертіп отырады. T-триггер — бұл есепті кірісі бар (бірразрядты есептеуіш) триггер.

RS-триггерінен алынған синхрондалмаған T-триггерінің шартты белгісі 4.19-суретте берілген. Кіріс бойынша  $T = 1$  сигналы түскен кезде C екітактілі RS-триггерінде алдыңғы қалыпқа қарама-қарсы қалпын жазуға әкеледі.





4.19-сурет. синхронданбаған Т-триггерінің шартты графикалық бейнесі.



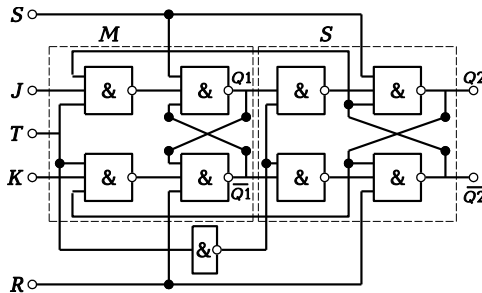
4.20-сурет. Т-триггердің синхронданған бейнесі

Триггер шығысындағы сигнал сигналдың әрекеті аяқталғанда ғана  $T = 1$  өзгереді.

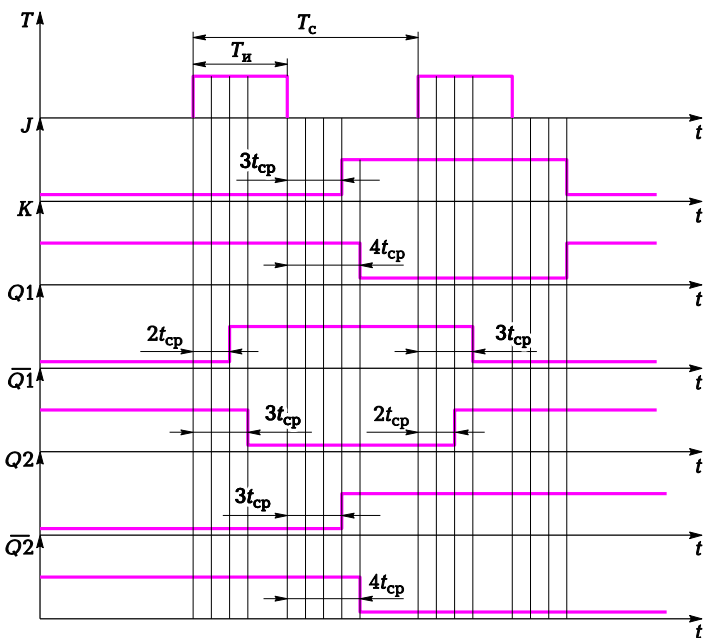
Синхронданған екітактілі RS-триггер схемасында (4.20-сурет) бірретік кіріс сигналы  $T$   $C = 1$  кезінде жоғары кернеумен беріледі. Ақпаратты жазу  $C = 1$  кезінде жүзеге асырылады. Күйдің ауысуы синхрондау импульсы әрекеті аяқталғаннан соң  $C = 1$  орын алады.  $T = 1$  кезінде триггер күйі қарама-қарсылыққа өзгереді, ал  $T = 0$  кезінде өзгермейді.

**JK-триггер.** JK-триггер — екі  $J$  және  $K$  кірісі, синхрондау кірісі және  $Q$  және  $\bar{Q}$  екі шығысы бар синхронды триггер. Триггер егер  $J = S$ , ал  $K = R$  болса, RS-триггер сияқты жұмыс істейді,  $J$  және  $K$  кірістерінде 1 пайда болғанда шығыста өз күйін кері бағытқа өзгертеді, яғни Т-триггер сияқты әрекет етеді. JK-триггер интеграл логикалық элементтер жүйесінде триггердің кең таралған типі болып табылады.

JK-триггерлері асинхронды және синхронды болады. Триггерді құрудың негізгі типі – бұл триггердің үш түрін: *инверторлы MS-триггері* (деңгей бойынша жұмыс істейді),



4.21-сурет. JK-триггер схемасы



4.22-сурет. Ж-триггер жұмысын түсіндіретін диаграммалар

тоғыспалы байланысты MS-триггер (деңгей бойынша жұмыс істейді), үш RS-триггеріндегі MS-триггер (фронт бойынша жұмыс істейді) пайдаланатын MS (Master-Slave)- триггері.

Триггер екі кезектес жалғанған RS- триггерлерінде құрылады. Триггер схемасы 4.21-суретте берілген. JR-триггер жұмысының диаграммасы 4.22-суретте көрсетілген.

Бастапқыда ақпарат M-триггерге жазылады да, Q1 және Q1 шығыстарында көрінеді. Екінші S-триггерге екінші RS-триггердің синхрондау импульсының блокталуына байланысты өтпейді (екінші триггер синхросигнал кезінде блокталады). Синхрондау импульсы аяқталған соң синхроимпульс фронты артында екінші S-триггер ашылады және Q1 және Q1 мәндері өзгеріссіз өтеді де, екінші триггер шығысындағы Q2 және Q2-ге жазылады. Егер синхросигнал  $T = 1$ , онда бірінші триггер жұмыс істейді. Қандай жағдайда да  $T_{\text{синхр}} \geq 2t_{\text{ср}}$ -ден артық болуы керек.

## **БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ**

---

1. Электронды кілт әрекетінің принципін түсіндіріңіз.
2. Кілтті режимдегі транзисторды зерттеу схемасын салыңыз.
3. Котельников теоремасын құрыңыз.
4. Кванттық сигнал дегеніміз не?
5. Триггер дегеніміз не?
6. Қандай триггерлер болады?
7. JK-триггер жұмысын түсіндіріңіз

## САНДЫҚ ҚҰРЫЛҒЫЛАР

### 5.1. ДЕШИФРАТОРЛАР

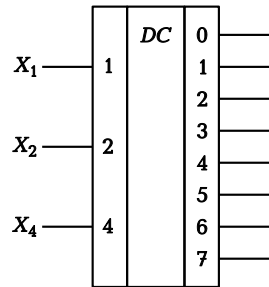
Дешифратор — с  $n$  кіріс бар функционалды торап, онда қарастырылатын әр кіріс қос айнымалыға (кіріс жиынына) бір қоздырғыш шығыс сәйкес келеді. Егер қозу қалпына логикалық 1 сәйкес келсе, онда шығыс *тура (инверсті)* деп аталады. Әр мүмкін болап кіріс жиынына реакция қарастырылған дешифраторда  $w$  шығыс саны  $w = 2^n$  теңдігімен анықталады. Мұндай дешифратор кіріс жиындарының кейбіреуіне ғана реакция беретін *толық емеске* қарағанда *толық* деп аталады.

Мұндай дешифраторда шығыстар қозғыш шығыс нөмерін көрсететін есептеудің қосарланған жүйесіндегі тұтас сан ретінде кіріс айнымалының жиынтығын білдіріп, 0 ден  $2^{n-1}$  дейінгі сандармен нөмерленеді. Бұл кезде толық дешифратор шығысының мәні үшін қысқартылған мәндерін  $w$  жазуға болады.  $n = 3$  және  $w = 8$  болсын, онда дешифратор шығыстарын тура деп есептесек, мынаны аламыз:

$$\left. \begin{aligned} y_0 &= x_0 x_1 x_2 \\ y_1 &= x_0 x_1 x_2 \\ y_2 &= x_0 x_1 x_2 \\ &\dots \\ y_7 &= x_0 x_1 x_2 \end{aligned} \right\}$$

Әр қайта қосқыш функцияны жеке элементте, мысалы ЖӘНЕ элементінде іске асырып, құрылымы жағынан айтарлықтай қарапайым дешифратор аламыз, оны сызықты деп атайды (5.1-сурет). Сызықты дешифраторды сондай-ақ ЖӘНЕ-ЕМЕС элементтерінде іске асыруға болады. Бұл кезде оның шығысында функциясы емес инверсиясы алынады, себебі барлық таңдалмаған шығыстар 1 қалпында болады

да, бір  $x$  таңдап шығыс 0 қалпында болады.  
 5.1-сурет. Сызықты дешифратордың графикалық белгіленуі



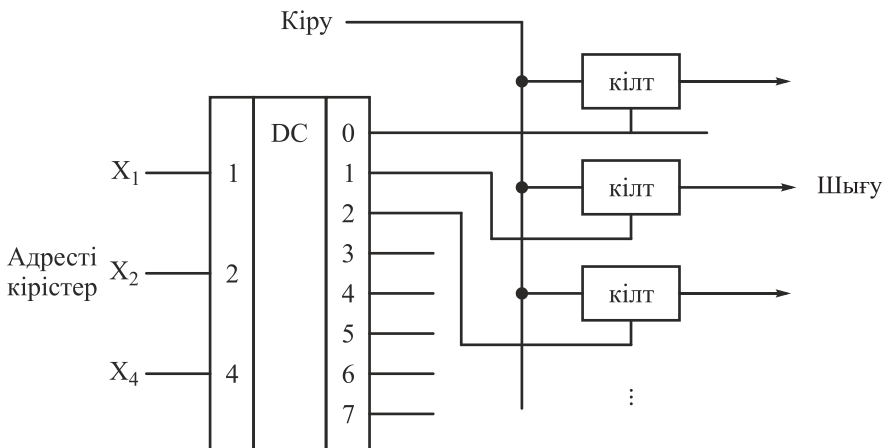
Бұл жағдайда дешифратордың шартты бейнесі кезінде оның шығыстарын инверсия символдарымен белгілеу керек. Тура шығыстарды іске асыру үшін дешифраторды инвертормен толықтыру керек.

Дешифратордың кірісі мен шығысын байланыстыратын мәндерде тек кіріс айнымалылар ғана емес, олардың инверсиялары да қатысады. Сәйкесінше элементтер шығысына кіріс айнымалының тура мәнін де, инверсиялы мәнін де беру керек. Сондықтан не дешифратор кірісін қосфазалы етіп орындау керек, не дешифратор ішінде сигналдарды инверттеу керек. Сызықты дешифраторда әр кіріс ЖӘНЕ-ЕМЕС элементтерінде  $w/2$ -мен жалғанған. Сондықтан дешифратор кірісінде дешифратордың кіріс сигнал көзіне жүктемесін азайтуға мүмкіндік беретін буферлік элементтерді қосу тиімді болады.

Дешифратор кез келген көпшығысты комбинациялық логикалық схема ретінде кірістен шығысқа дейін сигналдың кез келген өту жолында түрлі тежеулерге ие болуы мүмкін. Бұл жерде кіріс айнымалыларының мәні ауысқан кезде дұрыс сигналдар дешифратор шығысында бірден орналаспайды да, жалған шығындар туындауы да мүмкін. Сондықтан дешифраторда шығыс сигналын стробтау құралы болғаны дұрыс. Ол үшін ЖӘНЕ-ЕМЕС элементтерін дешифрленетін кодтың разрядынан бірлікке көп кіріс санымен орындайды, сонда қосымша кірісте С стробтайтын сигнал беріледі. Бұл сигнал ЛЭ үлкен санына келтірілетінін ескеріп, дешифратор кірісінде әдетте стробтау кірісін инверсті ететін қосымша элемент (инвертор) қойылады.

Стробтау дешифраторын стробтау кірісіне  $w$  каналдардың бірінен берілетін кіріс сигналын бағыттайтын құрылғы ретінде пайдалануға болады, онда канал нөмері кіріс 4-разрядты қосарланған кодпен берілген. Мұндай құрылғына демультиплексор деп атайды.

Дешифраторлар сандық құрылғыдан баспа қағазда сан мен мәтінді басып шығаратын құрылғыларда пайдаланылады, кірістегі қосарланған сан оның белгілі бір шығысында сигналдың туындауын болдырады. Дешифратор демультиплексордың ажырамас бөлігі болып табылады.



5.2-сурет. Демультимплексордың функционалды схемасы

Демультимплексордың бір ақпараттық кіріс және бірнеше шығыстары бар және берілген адреспен шығыстың бірінде кірісті коммутациялауды жүзеге асырады. Демультимплексордың функционалды схемасы 5.2-суретте көрсетілген.

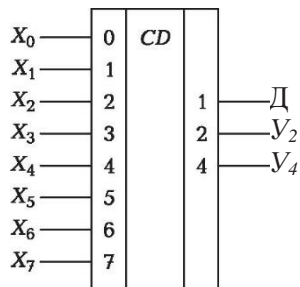
Демультимплексор шығысы кілтпен басқарылатын дешифратордан тұрады. Адрестік кіріске берілген шығыс тізбегінің нөмерін анықтайтын кодтық комбинацияға байланысты дешифратор сәйкесінше кілтті ашады, демультимплексор кірісі оның белгілі бір шығысына жалғанады, сөйтіп, кіріс сигналын шығысқа беру жүзеге асырылады.

## 5.2. ШИФРАТОРЛАР

Шифратор — орындайтын түрлендіру функциясы бойынша дешифраторға қарсы құрылғы. Толық шифратор  $n$  шығысынан және  $w = 2^n$  кірісінен тұрады (5.3-сурет). Шифратордың шығыс сигналы цифрлық интерпретацияда қозғыш кіріс нөмеріне сәйкес келеді.

Шифратор схемасын құру үшін оның шығысында қос айнымалыны құру заңдылығын қарастырамыз. Салмағы 1 болатын, шығыс кодының кіші разрядына сәйкес келетін шығысы кез келген тақ кіріс қозған кезде 1 мәнін қабылдауы керек. Сәйкесінше, ол кірісіне барлық тақ нөмерлі, яғни нөмерінің қос белгісі кіші разрядта 1 ге ие кірістер жалғанған НЕМЕСЕ ЛЭ шығысы болуы керек.

5.3-сурет. Шифратордың графикалық белгіленуі



Салмағы 2 болатын келесі кіріс  $y_2$  2,3,6,7 нөмерлі, яғни, екінші белгілері үлкен разряд бойынша бірлікке ие нөмерлі кіріске сигнал берген кезде қозуы керек. Сәйкесінше  $y_2$  де  $w/2$  кірістермен НЕМЕСЕ элементімен құрылады. Сөйтіп жалпы алғанда  $y_k$   $w/2$  кіріс санымен НЕМЕСЕ элементімен құрылады.

Шифраторды практикалық іске асыру кезінде ЖӘНЕ-ЕМЕС элементтерін пайдалану тиімді болып шығуы мүмкін. Онда конъюнкция мен дизъюнкция операцияларының дуальдігімен сәйкес кіріс айнымалыларды инверсиямен алған дұрыс.

Қарастырылып отырған қарапайым шифратор келесідей кемшіліктерге ие:

- Кіші сыйымдылықты шифраторларды өзара жалғап, ақпараттық сыйымдылықты (кірістер мен шығыстар санын) өсіру мүмкін емес;
- Шифратордың дұрыс жұмысы үшін әрқашан кірістерінің біреуі қозған болуы керек. Басқа барлық жағдайларда шығыста алынатын сигнал кірістегі нақты жағдайды білдірмейді. Мысалы, қозған кірістер болмаса, онда шығыс сигнал нөлдік кіріс қозған жағдайдағыдай болады.

Бұл кемшіліктер *артықшылықты* деп аталатын, айтарлықтай күрделі шифраторда болмайды. Бұндай шифратор қарастырылған шифратордай, бір кіріс қана қозған кезде жұмыс істейді. Бірнеше кіріс қозған жағдайда шығыста қозған кіріс нөмерлерінің кішісін көрсететін сан қалыптасады. Мәселен, егер 3,5,6 кірістер қозған болса, шығыста 3 саны қойылады.

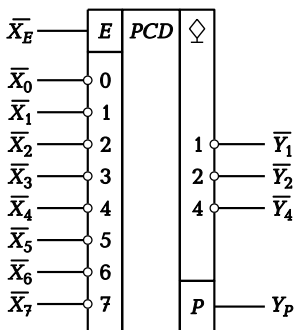
Қозған кірістер болмаған жағдайды ерекшелеу үшін артықшылықты шифраторларда қозбаған белгісі бар шығыс деп аталатын Р қосымша шығысы болады. Осы шығыста қалыптасатын қосарланған айнымалы кемінде бір кіріс қозған кезде 0 мәнін қабылдайды, керісінше болса 1 мәнін қабылдайды. Инверсті ( $n = 5$ ) кірісті және ( $w = 8$ ) шығысты артықшылықты шифратордың шартты белгіленуі 5.4-суретте көрсетілген. Шифратордың ақпараттық сыйымдылығын өсіруді мүмкін ету үшін оған Е қосымша рұқсат кірісі енгізілген. Осы мақсатта  $y_1$ ,  $y_2$ ,  $y_4$  шығыстарын не ашық коллектормен, не үш қалыпта орындайды.  $X_E$  айнымалысы рұқсат

кірісінде 1-ге тең болса, шифратор қарастырылып отырған ережеге сай қызмет етеді. Керісінше жағдайда Р шығысында сигнал 1 мәнін иеленеді де, қалған шығыстар қозбаған қалыпқа (өтпеген) көшіріледі.

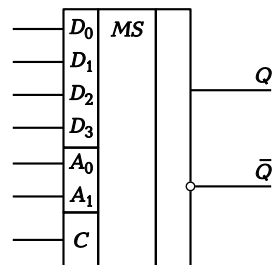
Шифраторлар сандық ақпаратты ақпараттық жүйеге енгізу құрылғыларында пайдаланылады. Мұндай құрылғылар әр пернесі шифратордың белгілі бір кірісімен байланысты болатын пернетақтамен жабдықтала алады. Таңдалған пернені басқан кезде сигнал шифратордың сәйкесінше кірісіне беріледі де, оның шығысында перне символына сәйкес келетін қосарланған сан пайда болады. Шифраторлар мультиплексорлар құрамына кіреді.

Мультиплексор — бірнеше кірістердің біреуін талдауды жүзеге асыратын және оны өзінің шығысына жалғайтын құрылғы. Мультиплексордың шартты белгіленуі 5.5-суретте берілген. Мультиплексор бірнеше ( $D_0, D_1, \dots$ ) ақпараттық кірістерден ( $A_0, A_1, \dots$ ) адрестік шығыстардан, стробты сигналды беретін кірістен,  $Q$  бір тура шығыс пен  $\bar{Q}$  инверсті шығыстан тұрады.

Стробты сигнал болмаған кезде ( $C = 0$ ) кіріс пен шығыс арасындағы байланыс та болмайды.  $C = 1$  кезінде шығысқа  $D_n$  ақпараттық кірістердің нөмері қосарланған түрде адресі кірісте жазылғанынан логикалық деңгей беріледі. Мысалы,  $A_0A_1 = 11_2 = 3_{10}$ ,  $Q$  шығысына  $3_{10}$ , яғни  $D_3$  адресі ақпараттық кіріс сигналы беріледі.



5.4-сурет. Артықшылықты шифратордың графикалық бейнесі



5.5-сурет. Мультиплексордың графикалық бейнесі



Әр ақпараттық кіріске нөмер (адрес) беріледі. Стробты сигналды С шығысқа беру кезінде мультиплексор адресі қосарланған кодпен адресі кірісте берілетін кірістердің біреуін таңдайды да, оны шығысқа жалғайды.

### 5.3.

### РЕГИСТРЛЕР МЕН ЕСЕПТЕУІШТЕР

**Регистрлер.** Регистр — сөздерді қабылдау, сақтау және тасымалдау операцияларын орындауға арналған құрылғы. Ең көп таралғаны статикалық регистрлер. Мұндай регистрге жазылған сөздердің әр разрядына статикалық регистр негізінде жасалған регистр разряды сәйкес келеді. Регистр разрядтары сөздегі разрядтар нөмерлері ретімен нөмерленеді. Сондай-ақ қос айнымалының мәндерді сақтау функциясы конденсатормен немесе сирек жағдайда индуктивтілікпен жүзеге асырылатын динамикалық регистрлер де қолданылады. Конденсаторда кернеуді, индуктивтілікте токты сақтау интервалы өзіндік разрядпен шектелетіндіктен, динамикалық регистрлерде ақпаратты сақтайтын регенерация (қалпына келтіру) операциясы қарастырылған.

Регистрден сөздер әдетте комбинациялық логикалық схемаға түседі, онда сөздермен логикалық операцияларды жүзеге асырады. Бір немесе бірнеше сөзбен берілетін операциялар нәтижесі нәтиже регистріне жазылады. Регистрде ішкі тежеуішті триггерді қолданған кезде операция нәтижесі операнда регистріне (операция жасалған сөздердің үстіне) қайта енгізілуі мүмкін.

Сөздерді жазу тәсіліне қарай регистрлер параллельді, кезекті және параллельді-кезекті болып бөлінеді. Параллельді регистрде сөздерді жазу регистрдің барлық разрядтарына параллельді формада жазылады. Кезекті регистр үлкен разрядтан бастап кіші разрядқа дейін сөздерді кезекті жазумен сипатталады. Параллельді-кезекті регистр сөздерді қабылдау және жеткізудің параллельді де кезекті де формаларына ие.

**Параллельді статикалық регистр.** Параллельді регистр регистрге жазылатын сөздерді қабылдау үшін дербес ақпараттық кірістен, синхрондау және басқарудың жалпы сигналынан тұратын триггерлердің жиынтығын білдіреді. Жалпы алғанда регистрдің әр разряды регистр кірісіне жалғанған ақпарат көзінің санына сай бірнеше ақпараттық кірістен тұруы мүмкін.

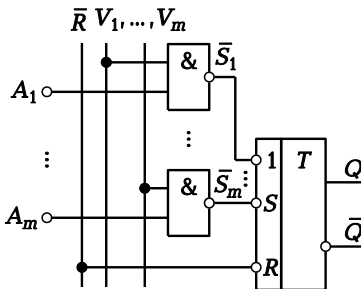
Параллельді регистрлерде ақпаратты жазу және оқу үдерісі әдетте уақытқа бөлінеді, бұл регистр разрядтарында триггерлік

схеманы пайдалануға мүмкіндік береді.

Регистр разрядтарының кірісіне ақпарат түсетін каналдарының санына байланысты регистрлер бірфазалы және қосфазалы болып бөлінеді. Бірфазалы регистрде кіріс сөзін қабылдау разряды үшін бірсымды тізбек пайдаланылады, сол арқылы қос айнымалының мәнін білдіретін сигнал беріледі. Қосфазалы регистрде екісымды тізбек қолданылады, ол арқылы екі сигнал: тура және инверсті сигнал беріледі.

Параллельді регистрлер асинхронды принциппен де, синхронды принциппен де құрылуы мүмкін. Соңғы жағдайда тактілейтін импульстар басқару сигналдарын стробтайды. Бұл басқару сигналдарын қалыптастыру үдерісінде туындайтын жалған импульстардың әсерін жойып, құрылғының ақауға төзімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Асинхронды регистрді қарастыру кезінде регистр ішінде басқару сигналдары триггерлердің оның разрядтарында қайта қосылу кезектілігін бере отырып, тактілеу функциясын орындайтынын ескеру керек. Екітактілі бірфазалы регистрді қарастырайық.

Регистр  $A_1, A_2, \dots, A_m$  ақпараттық кірісінен және  $R, V_1, V_2, V_3, \dots, V_m$  басқару шығыстарынан тұрады. Регистрде  $A_1$  сөз жазу үшін екі импульстің кезектілігін алдымен  $R$  басқару кірісіне, содан кейін  $V_j$  басқару кірісіне беру керек.



5.6-сурет. Екітактілі бірфазалы регистрдің графикалық кескіні

Бірінші импульс бойынша регистр қалпын 0-ге түсіру микрооперациясы орындалады, ал екіншісі бойынша регистрге  $A_1$  сөзі жазылады.

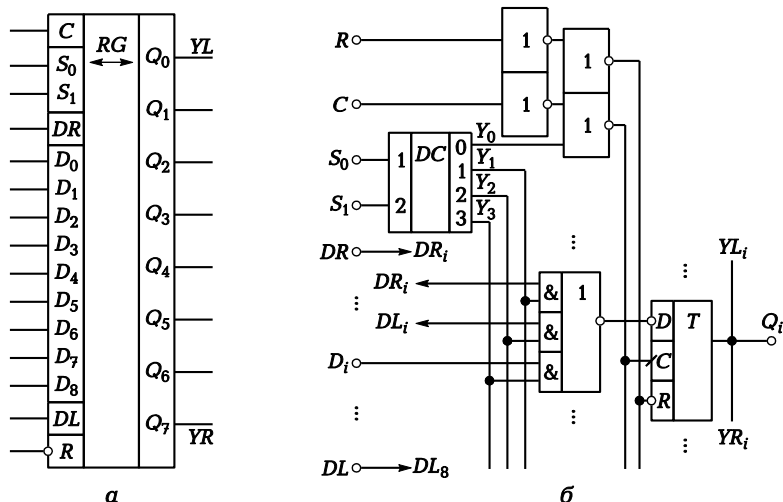
5.6-суретте ЖӘНЕ-ЕМЕС элементіндегі регистр разрядының логикалық схемасы көрсетілген. Разряд  $S$  орнатқыш кірісінің саны, сәйкесінше ЖӘНЕ-ЕМЕС кіріс шұраларының саны да арттырылған екітактілі триггерден тұрады. Синхронды типті регистрде басқарушы сигналдар  $V_j$ ,  $V_2$ ,  $V_m$  барлық ЖӘНЕ-ЕМЕС кіріс шұраларында бір мезгілде бәсеңдейтін тактілеуші импульспен стробталады.

Кезекті статикалық регистрлер. Кезекті статикалық регистрлер сөзді бір разрядқа жылжытуға арналған. Сондықтан мұндай регистрлерді жылжытушы деп те атайды. Мына микрооперациялар болады: оңға жылжыту және солға жылжыту. Оңға жылжыту микрооперациясы регистрдегі сөз разрядын разрядтың реттік санының артуы жағына қарай жылжытудан тұрады, яғни микрооперацияны орындау нәтижесінде  $k$ -й разряды ( $k + 1$ ) қалпына түседі. Регистрде солға жылжыту микрооперациясы разряд нөмері кемуді жағына қарай орындалады. Өзінің функционалды мақсатына қарай кезекті регистрлер бірбағытты жылжыту регистріне және реверсивті регистрге бөлінеді.

*Реверсивті регистр* екі  $D_k$ ,  $D_L$  ақпараттық кірістен және екі  $Y_R$ ,  $Y_L$  ақпараттық шығыстар тұрады. Басқару сигналдарының сипаттамасына байланысты екі  $V_L$ ,  $V_R$  симметриялы басқару кірісі бар немесе бір  $S_R$  белгілі және бір  $V$  басқарушы кірісі бар реверсивті регистрлер құруға болады. Бірінші типті реверсивті регистр  $V_L = 0$  кезінде оңға,  $V_R = 0$  кезінде солға бірбағытты жылжытуы бар регистр ретінде жұмыс істейді.

Параллельді-кезекті регистрлер. Параллельді-кезекті регистрлер сөзді параллельді жазу және жылжыту регистрлерінің қасиеттерін үйлестіреді. Әдетте мұндай регистрлер 0 де барлық разрядтардың орнатқыш асинхронды түсіру кірісінен тұрады. 5.7-суретте синхронды типті басқару тізбекті бір разрядты (5.7, а сурет), екі  $S_0$ ,  $S_j$  басқару сигналды (5.7 б сурет) параллельді-кезекті регистрдің шартты белгіленуі және функционалды схемасы көрсетілген. Басқарушы сигналдарының мәніне тәуелсіз регистр үш микрооперациялардың кез келгенін орындай алады: оңға жылжыту, солға жылжыту, параллельді жазу. Режимдері 5.1-кестеде берілген.

Сақтау режимінде микрооперациялардың ешқайсысы да орындалмайды. Бұл режим басқарушы кодты дешифратордың шығысынан  $Y_0$  сигналының жалғыз мәнін беру кезінде НЕМЕСЕ-ЕМЕС элементтері арқылы синхроимпульстің өтуін оқшаулауды іске асырады.



5.7- сурет. Параллельді-кезекті регистр

Дешифратордың  $Y_u, Y_2, Y_3$  шығыстары үш  $DR_i, DL_i, D_i$  сигналдың бірінің 1-разрядынан D-триггер кірісіне өтуді қамтамасыз ететін НЕМЕСЕ-ЕМЕС логикалық элементінде коммутатормен басқарылады. Таңдалған сигнал синхроимпульс берілген кезде триггер орнатылатын қалыпты, сәйкесінше орындалатын микрооперацияны анықтайды. Сақтау режимінде триггер қалпы өзгере алмайтын жағдайда  $Y_1, Y_2, Y_3$  айнымалылардың мәні кездейсоқ болуы мүмкін.

**Есептеуіштер.** Есептеуіш — импульс санын есептеуге арналған құрылғы. Есептеуіштер радиотехниканың, қолданбалы электрониканың және есептеуіш машиналарының түрлі салаларында кеңінен пайдаланылады.

5.1-кесте

$S_0$	$S_1$	Режим
0	0	Сақтау
с	1	Оңға жылжыту
1	0	Солға жылжыту
1	1	Параллельді жазу

Есептеуіштің негізгі сипаттамалары жылдам әрекеті мен ақпараттық сыйымдылығы болып табылады. Жылдам әрекеті екі параметрлермен:  $f$  — есептеудің максималды жиілігімен (немесе есептеудің минималды кезеңімен  $T_c = 1/f$ ) және  $T_{\text{уст}}$  — импульсті соңғы есептеудің түсуімен және шығыс кодты орнату сәті арасындағы уақытша интервалға тең орнату уақытымен анықталады.

Ақпараттық сыйымдылық есептеуіш есептей алатын импульстердің ең жоғары санына тең есеп модулімен  $m$  (ц) анықталады.

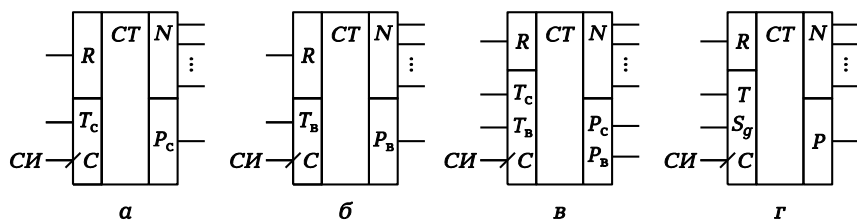
Есептеуіш 0, 1, 2 және т.б. мәндерін қабылдайтын кодталған сандық  $N$  кодты ішкі қалпы бар автоматты білдіреді.  $N$  коды есеп нәтижесін білдіреді де есептеуіштің шығыс коды (сөзі) болып табылады.  $N = 0$  қалпы бастапқы деп аталады. Әдетте есептеуіштерде орнатқыш кірісіне басқарушы сигналды беру кезінде орындалатын және есептеуіштің кез келген ағымдық қалыптан бастапқыға ауысуына тұратын «0» орнату» микрооперациясын қарастырады.

Өз қолданысы бойынша есептеуіштер қосатын, азайтатын және реверсивті болып бөлінеді. Қосатын есептеуіштерде кірістегі бірреттік сигнал код мәнін бірге арттырады, ал азайтатын есептеуіште – кодты бірге азайтады, реверсивті есептеуіш басқарушы сигналдарға байланысты қосатын да, азайтатын да болып жұмыс істей алады.

Бұл қарапайым анықтамалар есептеуіш толып қалған жағдайда,  $N$  коды максималды мәнге (немесе минималды мәнге) жеткенде және оң (не кері) бағыттағы одан арғы қалыпты есептеу мүмкін болмайтын жағдайда есептеуіш жұмысын сипаттамайды. Есептеуіштерде сигналдары толып кету жағдайының туындауын көрсететін арнайы шығыстар қарастырылған. Толып кету шығысы деп аталатын мұндай шығыстардың болуы есептеуіштердің ақпараттық сыйымдылықтарын арттыра отырып, оларды жалғауға мүмкіндік береді.

Реверсивті есептеуіш жұмысын қарастырайық. Бұл құрылғы импульстарды қосу және азайту операцияларын орындайды. Басқарушы сигнал сипатына қарай есептеуіштерді екі есептеу кірісімен және бір есептеу кірісімен, бір кіріс белгісімен деп бөледі.

Бірінші типті реверсивті есептеуіш  $T_c$  қосудың есептік кірісінен,  $P_c$  қосуды ауыстыру шығысынан,  $T_b$  азайтудың есептік кірісінен,  $P_b$  азайтуды ауыстыру шығысынан тұрады. Есептеуіш  $T_b = 0$  кезінде қосатын,  $T_c = 0$  кезінде азайтатын есептеуіш ретінде жұмыс істейді.



Сурет 5.8. Синхронды есептеуіштердің графикалық бейнесі

Екі есептік кіріс бойынша бірлікті бір мезгілде беруге әдетте тыйым салынады. Тыйым болмаған кезде  $T_c T_b = 1$  кезінде есептеуіш есептеу операциясын орындамағаны, яғни  $P_c = P_b = 0$  и  $N(t + 1) = N(t)$  дұрыс.

Екінші типті реверсивті есептеуіш  $T$  есептік кірісінен,  $P$  ауыстыру шығысынан және есеп бағытын басқаратын  $S_g$  белгілік кірістен тұрады. Есептеуіш  $S_g = 0$  кезінде қосатын,  $S_g = 1$  кезінде азайтатын есептеуіш ретінде жұмыс жасайды.

Қарастырылған есептеуіштердің кез келгені синхронды және асинхронды принцип бойынша іске асырыла алады. Синхронды есептеуіштер синхронды (тактілейтін) триггерлерде құрылады. Есептеуіштің шартты белгіленуі оның ақпараттық сигналдың белгілі бір жиынымен функционалды спецификациясын білдіреді:  $T_c$  қосатын есептеуіште (5.8, а сурет),  $T_b$  азайтатын есептеуіште (5.8, б сурет)  $T_c$ ,  $T_b$  екі есептік кірісті реверсивті есептеуіште (5.8, в сурет),  $T$ ,  $S_g$  басқарушы кірісті реверсивті есептеуіште (5.8, г сурет). Әр есептеуіш ақпараттық кірістен басқа  $C$  тактілейтін кіріске ие, онда дискретті уақытта берілетін тактіленетін импульстердің кезектілігін беру керек болады.

Асинхронды есептеуіштер асинхронды триггерлерде немесе синхрондау кірісі ақпараттық ретінде пайдаланылатын асинхронды режимде жұмыс істейтін синхронды триггерде құрылады. Асинхронды есептеуіштердің ақпараттық кірістері мен шығыстарының саны, олардың пайдаланылу мақсаты синхронды есептеуіштердің кірістері мен шығыстарына ұқсас.

## **БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ**

---

1. Дешифратор дегеніміз не?
2. ЖӘНЕ-ЕМЕС элементтерінде сызықты дешифраторды қалай белгілейді?
3. Демультимплексор жұмысының принципін түсіндіріңіз.
4. Шифратор дегеніміз не?
5. Шифраторларды қайда қолданады?
6. Мультиплексатор дегеніміз не?
7. Регистр неге арналған?
8. Регистрлер қалай жіктеледі?
9. Есептеуіш дегеніміз не?

## ЖАРТЫЛАЙ ӨТКІЗГІШТІ ЖАДТА САҚТАУ ҚҰРЫЛҒЫЛАРЫ

### 6.1. ЖАРТЫЛАЙ ӨТКІЗГІШТІ ЖАДТА САҚТАУ ҚҰРЫЛҒЫЛАРЫНЫҢ ЖАЛПЫ СИПАТТАМАЛАРЫ

Кодты сөздердің шағын массивтерін сақтау үшін регистрлерді пайдалануға болады. Ондаған сөздерді сақтау керек болған жағдайда регистрларды қолдану үлкен аппараттық шығынға әкеледі. Сөздердің үлкен массивін сақтау үшін арнайы микросхема қолданылатын жадта сақтау құрылғыларын (ЖСҚ) құрады, схемаларының әрқайсысында жүздеген миллион бит көлемді ақпарат сақтауға болады.

Орындайтын функцияларына қарай жадта сақтау құрылғыларының келесі типтері болады:

- Оперативті жадта сақтау құрылғылары (ОЖСҚ);
- Тұрақты жадта сақтау құрылғылары (ТЖСҚ);
- Қайта бағдарламаланатын тұрақты жадта сақтау құрылғылары (ҚБЖСҚ).

*ОЖСҚ* сандық құрылғы процессорының жоғары қарқынды жұмысында сақталған ақпаратты таңдау және жаңалау керек болғанда пайдаланылады. Осының салдарынан ОЖСҚ жұмыстың үш режимінде қарастырылады: ЖСҚ жүгінбеген кезде сақтау режимі, сақталған сөздерді оқу режимі, жаңа сөздерді жазу режимі. Бұл кезде оқу және жазу режимінде ОЖСҚ жоғары жылдам әрекетпен жұмыс істеуі керек. Цифрлық құрылғыларды ОЖСҚ деректер (шығыс деректер, деректерді өңдеудің аралық және соңғы нәтижелерін) мен бағдарламаларды сақтау үшін пайдаланылады.

*ТЖСҚ* кейбір кезінде жазылған, қорек көзі өшірілгенде бұзылмаған ақпаратты сақтауға арналған. ТЖСҚ-да жұмыстың екі режимі қарастырылады: жоғары жылдам әрекетпен сақтау режимі және оқу режимі жазу режимі қарастырылмайды. ТЖСҚ ұзақ уақыт жұмыс істейтін, түрлі шығыс деректері кезінде бір алгоритм



бойынша әрекетті бірнеше қайтара орындайтын мамандандырылған сандық құрылғыларда бағдарламаны сақтау үшін пайдаланылады.

ҚБЖСҚ сандық құрылғылардың қызмет ету үдерісінде ТЖСҚ ретінде қолданылады. Ол ТЖСҚ-нан бір кезде енгізілген ақпаратты жаңалауға қол жеткізілетіндігімен ерекшеленеді, яғни онда жазу режимі қарастырылады. Алайда ОЖСҚ-ға қарағанда ақпаратты жазу ҚБЖСҚ-сын цифрлық құрылғыдан ажыратуды талап етеді, арнайы жазуға арналған құрылғыларды (бағдарламалағыштарды) пайдаланып жүзеге асырылады. Қайта бағдарламаланатын ЖСҚ ТЖСҚ-на қарағанда қымбатырақ, оларды бағдарламаны ретке келтіру үшін қолданылады, одан кейін оларды арзан ТЖСҚ-на ауыстыруға болады.

ЖСҚ жылдам әрекеттері екі параметрмен сипатталады:

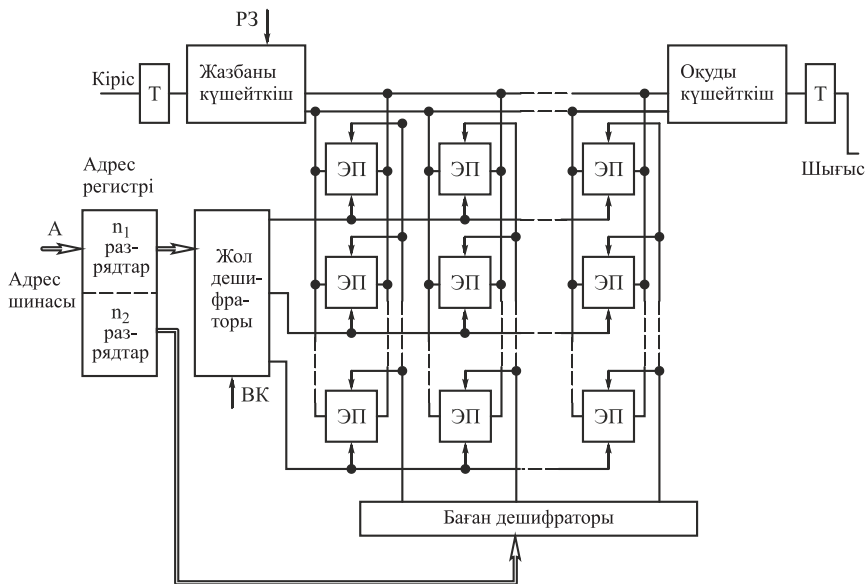
1) Таңдау сигналын беру сәті мен шығыста оқылған деректердің пайда болуы арасындағы уақыт интервалынан тұратын таңдау уақытымен;

2) Жазу кезінде таңдау сигналын беру сәті мен жадқа келесі кіру мүмкін болатын сәт арасындағы ең төмен шекті уақытпен анықталатын жазба циклімен.

Жадта сақтау құрылғылары ЖСҚ микросхемасының бірігуімен анықталатын біртегіс жиынымен құрылады. ЖСҚ әр микросхемасы айналыс уақыты мен сыйымдылығынан басқасы тұтынатын қуатымен, қоректік кернеу жиынымен, корпус типімен (шығыс санымен) сипатталады. ҚБЖСҚ микросхемалары қосымша онда жазылған ақпараттың сақталу уақытымен (ол уақыт аяқталған соң ұяшықта сақталып тұрған ақпарат өздігімен өзгере алатын уақытпен), қайта жазу циклінің шекті (одан кейін микросхема жарамсыз деп танылатын) санымен сипатталады.

## **6.2. ОПЕРАТИВТІ ЖАДТА САҚТАУ ҚҰРЫЛҒЫСЫ**

ОЖСҚ микросхемасының типтік құрылымы 6.1-суретте келтірілген. Ақпарат жинақтағышта сақталады. Ол жолдар мен бағандар бойында орналасқан жад элементтерінен (ЖЭ) құралған матрицаны білдіреді. Жад элементі 1 бит ақпаратты (логикалық «0» немесе логикалық «1») сақтай алады. Сонымен қатар ол үш режимнің кез келгенінде: ол микросхема кірісі мен шығысында өшетін сақтау режимі, ЖЭ-дегі ақпарат микросхема шығысына берілетін оқу режимінде; ЭЖ-ға микросхема кірісінен жаңа түскен ақпарат жазылатын жазу режимінде элементті орнату үшін басқару тізбегімен жабдықталған.



6.1-сурет. ОЖСҚ микросхемасының құрылымы

КТ – кристалды таңдау, ЖР – жазбаға рұқсат ету  
 Әр ЖЭ-ге нөмер беріледі (адрес). Қажет етілген ЖЭ табу үшін жинақтағыштағы ЖЭ қалпына сәйкес келетін жол мен баған көрсетіледі. ЖЭ адресі қосарланған сан түрінде адрес регистріндегі адрес шинасы бойынша қабылданады. Адрес разрядтарының саны жинақтағыш сыйымдылығымен байланысты. Жинақтағыштың жол саны мен баған саны  $2^n$ -ге тең.

Адрес регистрінің регистр разрядтары екі топқа бөлінеді: бір топ  $p_1$  разрядтарынан тұрады, ЖЭ жинақтағышта орналасқан жолдың қосарланған нөмерін анықтайды, екінші топ  $p_2$  разрядтарынан тұрады, таңдалған ЖЭ орналасқан бағанның қосарланған нөмерін анықтайды. Адрес разрядының әр тобы сәйкес дешифраторға беріледі: жол дешифраторы және баған дешифраторы. Бұл кезде дешифратордың әрқайсысы өзінің бір шығыс тізбегінде «1» деңгейін (дешифратордың басқа шығыстарында «0» деңгейі орнатылады) құрады, таңдалған ЖЭ жол мен баған тізбектері бойынша бір уақытта «1» деңгейінің әсерінде қалады. Мазмұнын оқу кезінде ЖЭ оқу күшейткішіне және одан шығыс триггерге (Т) және микросхема шығысына беріледі.

Жазба режимі сигналдың жазбаға рұқсат беретін (ЖР) кіріске берілуімен орнатылады. ЖР кірісіндегі деңгей «0» кезінде жазба күшейткіші ашылады, деректер кірісінен ақпарат таңдалған ЖЭ-ге түседі де онда сақталады.

Көрсетілген үдерістер кристалды таңдау (КТ) кірісінде «0» белсенді деңгейі әрекет еткен жағдайда орындалады. Бұл кірісте «1» деңгейі болғанда дешифратордың барлық шығыстарында «0» деңгейі орнатылады және ЖР сақтау режиміне түседі.

ОЖСҚ микросхемалары разрядтылықты өсірумен және санды өсірумен жад сыйымдылығының өсуіне қол жеткізеді. Сөйтіп микросхемаларды сәйкесінше санын олардың белгілі бі қосындысында пайдаланып, қажетті деңгейде ұйымдасқан жад құруға болады.

Заманауи компьютерлердің оперативті жадының ең көп таралған типі болып DDR табылады.

*DDR SDRAM* (Double Data Rate Synchronous Dynamic Random Access Memory) — кездейсоқ қолжетімді және деректерді еселенген жылдамдықта беретін синхронды динамикалық жад, есептеуіш техникаларында оперативті және бейне жад түрінде пайдаланылады. Ол SDRAM жадын ауыстырды.

Жұмыстың қосарланған жылдамдығына SDRAM-дағы фронт бойынша ғана емес, тактілік сигналдың түсуі бойынша да деректер мен командалар есебінен қол жеткізіледі. Осының арқасында деректерді беру жылдамдығы жад шинасының тактілік сигналының жиілігі артпай-ақ еселенеді. Сөйтіп, DDR жұмысы кезінде 100 МГц жиілігінде 200 МГц тиімді жиілігін алады.

DDR 2,5 В жұмыс кернеуіне ие (әдетте процессор қозғалысы артқанда көбейеді) және жадтың қарастырылып отырған түрлерінен электр энергиясының шағын тұтынушысы болып табылады. Жадтың бұл типі одан әрі дамыды.

DDR2 — заманауи компьютерлерде пайдаланылатын жадтың ең көп таралған түрі. Бұл оперативті жадтың ең ескі де түрі емес, бірақ ең жаңа да түрі емес. DDR2 DDR-ге қарағанда тез жұмыс істейді, алдыңғы үлгіге қарағанда деректерді беру жылдамдығы да тез. DDR2 1,8 В тұтынады, DDR секілді әдетте процессор қозғалысы артқанда кернеуі де өседі.

DDR3 — DDR2-дің одан ары қарай дамытылған түрі болып табылатын оперативті жад типі. Жад 240 контактілі және контакт жолағындағы бір аралықты (жүйелік тақтадағы модульдің жалғыз дұрыс қалпын орнатуға арналған кілтті) DIMM-модуль түрінде орындалады. Модульдер өзара көлемі мен өткізгіш қабілетіне қарай ерекшеленеді. DDR3 типінің жады DDR2 –мен салыстырғанда энергияны шамамен 30...40% -ға аз тұтынады, бұл қорек кернеуінің

төмендеуімен, едәуір үлкен тактілік жиілікпен және жылуды аз бөлуімен негізделеді.

### **6.3. ТҰРАҚТЫ ЖАДТА САҚТАУ ҚҰРЫЛҒЫЛАРЫ**

ТЖСҚ ОЖСҚ тәрізді ұяшықтардан тұрады, ол ұяшықтарға жүгінгенде мазмұнын шығаруға болады. ОЖСҚ қарағанда ұяшықтарында ақпарат бір рет қана жазылады, одан кейін пайдалану үдерісінде тек оқу режимінде ғана қолданылады.

Ақпаратты енгізу тәсіліне қарай ТЖСҚ екі түрге бөлінеді:

- Дайындаушы кәсіпорында маскамен бағдарламаланатын ТЖСҚ;
- Пайдаланушы бағдарламалайтын ТЖСҚ.

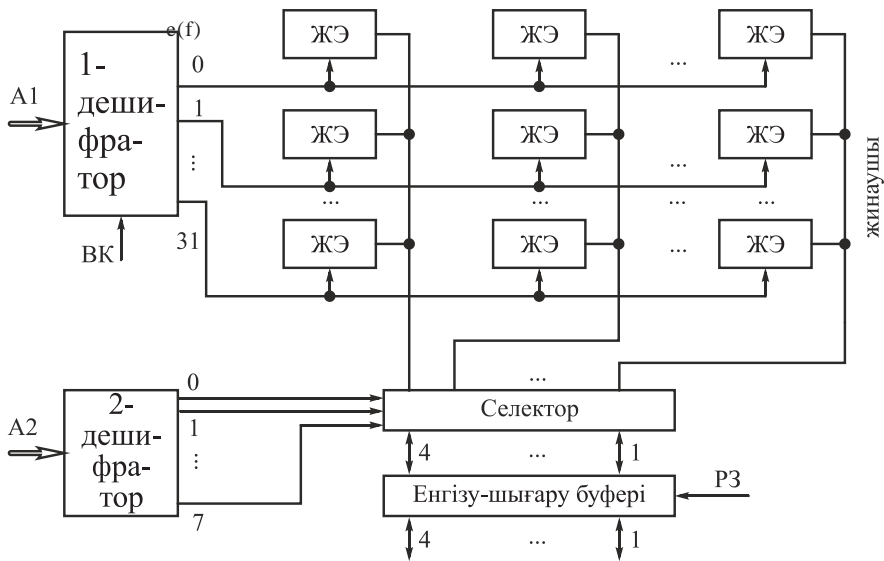
*Маскамен бағдарламаланатын* ТЖСҚ-да ақпарат сәйкес фотошаблон көмегімен микросхема дайындау үдерісінде енгізіледі. Енгізудің мұндай тәсілі онда жазылған бір ақпаратпен ТЖСҚ ірі партиясын шығару керек болған жағдайда жарамды. Өнеркәсіп мұндай ТЖСҚ, мысалы белгілі бір қос-ондаған кодтарды және т.б. қосарланған кодқа түрлендіргіш ретінде қолдану үшін шығарады. Кіріс кодты комбинация онда ұяшық адресі болып, ал ұяшықтың мазмұны шығыс кодты комбинация болып (мысалы, қос-ондаған кодты комбинация болып табылатын) қызмет етеді.

Пайдаланушы бағдарламалайтын ТЖСҚ-да ақпаратты жазу арнайы құрылғылардың (бағдарламалағыштар) көмегімен тікелей пайдаланушы жүзеге асырады. Бағдарламалағыш микросхемаға пернетақтада терілетін немесе алдын ала перфотаспада сынамамен енгізілетін ақпаратты жазуға арналған кернеуді береді. Бұл кернеулермен жад элементтеріндегі еритін жалғастырғышты күйдіру жүзеге асырылады. ТЖСҚ-ға бір рет жазылған ақпарат кейін өзгертіле алмайды. ТЖСҚ мазмұнын өзгерту қажет болғанда бұрын жазылған ақпараты бар микросхеманы жаңасына ауыстырып, оған жаңа деректерді жазады.

Пайдаланушы бағдарламалайтын ТЖСҚ құрылымы 6.2-суретте берілген. ОЖСҚ сияқты жинақтауыш матрица жолдар мен бағандарды құрайтын жад элементтерінен тұрады, бірақ ОЖСҚ қарағанда жинақтауыштан оқыған кезде жад элементінің тұтас жолының мазмұны беріледі. Бұндай жол әдетте бірнеше сөзден тұрады.

Селектордың көмегімен жолдан керек етілген сөз ерекшеленеді де беріледі.

Жүгіну кезінде сөз адресі ескерілуі керек. Бұл адрес А2 және А1 разрядтардың екі тобына бөлінетін сегіз разрядтан тұрсын:



6.2-сурет. Пайдаланушы бағдарламалайтын ТЖСҚ құрылымы

бесразрядты топ  $A1$  және үшразрядты топ  $A2$ .  $A1$  тобы дешифраторға 1 беріледі де, ол жинақтауыштың  $2^5 = 32$  жолдарының біреуін таңдайды. Жол мазмұны 32 биттен немесе сегіз төртразрядты сөзден тұрады. Жолдағы сөз нөмері  $A2$  тобымен жазылады. Дешифратор 2 бұл адресі топы өзінiң сегіз шығыстарының бірінде сигналға түрлендіреді. Сондықтан селектордағы сигналға жол мазмұнынан қажетті, ол буфер арқылы микросхемаға кіріс-шығыс буфері арқылы берілетін сөз бөлінеді.

### 6.3. ҚАЙТА БАҒДАРЛАМАЛАНАТЫН ТҰРАҚТЫ ЖАҚТА САҚТАУ ҚҰРЫЛҒЫЛАРЫ

Қайта бағдарламаланатын ТЖСҚ онда жазылған барлық ақпараттарды белгісіз ұзақ уақытқа және қорек көзі ажыратылғанда да сақтай отырып, ТЖСҚ барлық қасиеттерін иеленеді. Сонымен қоса, олар жазылған ақпаратты өшіріп, жаңа ақпараттың жазылуына да рұқсат етеді. Алайда егер оқу микросекунд кезінде жүргізілсе, жазу уақыты біршама көбірек болады.



6.3-сурет. Ақпаратты электрлік жазбасы бар жад элементі

Ақпаратты электрлік жазатын және ультракүлгін жарығымен өшіретін жад элементі жұмысының принципін қарастырамыз.

VT1 транзисторы жад элементін сұрыптау үшін қызмет етеді. Ақпаратты сақтау VT2 транзисторында жүзеге асырылады. VT2 транзисторының ерекшелігі оның оқшауланған қақпағының VT1 ағынының р-л ауысуына айтарлықтай үлкен кернеу берілгенде ағында электрон инжекциясы орын алады, содан кейін заряд ағында ұзақ уақыт бойында сақталады. Ағындағы теріс заряд саңылауларды тарта отырып, VT1 бастау мен VT2 ағын арасында өткізгіш р-каналын құрады.

Транзистор VT1 транзисторы «0» қалпына түседі. Егер р-л ауысуларына жоғарылатылған кернеу қосылмаса, ағында заряд болмайды, транзистор өткізбейтін қалыпта болады.

Ақпаратты өшіру бір микросхемада сәйкес кернеуді берумен, екіншілерінде микросхема корпусындағы мөлдір кварцты қақпақ арқылы ультракүлгін сәулені берумен жүзеге асырылады.

Шамамен 10 минут әсер ететін кернеу не жарық сәулесінің әсерінен транзистор ағынындағы заряд шешіледі де, жинақтауыштың барлық транзисторлары өткізбейтін қалыпқа түседі. Қалыпты бөлме жарығы транзистор қалпына әсер етпейді.

Қайта бағдарламаланатын ТЖСҚ ТЖСҚ-нан қымбаттау, оларды жадта қай ақпарат сақталуы керектігін нақтылау қажет болған жағдайда, сандық құрылғыны ретке келтірерде пайдаланады. Ретке келтірген соң ҚБЖСҚ-сын арзан ТЖСҚ-ға ауыстыруға болады.

## **БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ**

1. Жадта сақтау құрылғыларының қандай типтері бар?
2. ОЖСҚ қандай типтері ЭЕМ жады ретінде пайдаланылады?
3. ОЖСҚ құрылымының жұмысын түсіндіріңіз.
4. ТЖСҚ құрылымының жұмысын түсіндіріңіз.
5. ҚБЖСҚ жұмысының ерекшеліктері қандай?
6. ҚБЖСҚ-да жадты өшіру қалай жүзеге асырылады?
7. ТЖСҚ мен ҚБЖСҚ қайда қолданылады?

# ЦИФРЛЫҚ-АНАЛОГТЫ, АНАЛОГТЫ-ЦИФРЛЫҚ ТҮРЛЕНДІРГІШТЕР. ЭЛЕКТРОНИКАДА СХЕМАЛАРДЫ ҚОЛДАНУ



Тарау

7-тарау. Цифрлық-аналогты түрлендіргіштер (ЦАТ)

8-тарау. Аналогты-цифрлық түрлендіргіштер (АЦТ)

9-тарау. Micro-Sar-да ЦАТ үлгілеу

10-тарау. Micro-Sar-да түрлі қолданыстағы схемаларды үлгілеу

## ЦИФРЛЫҚ-АНАЛОГТЫ ТҮРЛЕНДІРГІШТЕР (ЦАТ)

### 7.1. ЦАТ ТИПТЕРІ

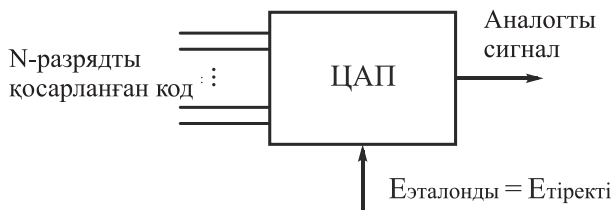
САТ шығысында оның кірісіндегі кодқа сәйкес аналогты кернеу қалыптастырады (7.1-сурет). Қосарланған кіріс коды параллельді немесе кезекті болуы мүмкін. ЦАТ түрлі дәрежедегі ауытқуы бар кодты түрлендіреді, кейін бұл ауытқуларды жою аса қиын болады.

ЦАТ аналогты сигнал дәрежесімен басқарылатын құрылғылы цифрлық басқару жүйесін байланыстыру үшін пайдаланылады. Сонымен бірге, ЦАТ аналогты-цифрлық құрылғылар мен түрлендіргіштердің көптеген құрылымдарының құрамдас бөлігі болып табылады.

ЦАТ типтері:

- Резисторлы матрицалы ЦАТ разрядты тізбектерінде параллельді резистор қосылған. Олардың номиналдары қосарланған заң бойынша орнатылады (сұрыпталады) (бұл құрылымы бойынша ең төмен жиілікті, ең бірінші ЦАТ);
- $R$  —  $2R$  матрицалары базасындағы күрделі кернеулі ЦАТ (айтарлықтай кең таралған). Оның шығысында масштабталған инверттелмеген күшейткіші бар. ЦАТ артықшылығы – үлкен кең жолақтылығы; кемшілігі – ОҚ пайдалану өз шектеулерін тудырады (ток дрейфтері, өткізу жолағының шектелуі);
- $R$  —  $2R$  матрицалы және инверттейтін ОҚ кірісіндегі ток жиыны бар САТ. Артықшылығы: алдыңғы ЦАТ-қа қарағанда айтарлықтай кең жолақты; кемшілігі: ОҚ пайдалану мұнда да өз шектеулерін орнатады. ОҚ әсерін жою үшін кең жолақты ЦАТ-та  $R$  —  $2R$  матрицасы мен әр разрядта токтың дискретті генераторларын пайдаланады. Сөйтіп, жиынтықтау шығыста жалғанатын кабель алдында емес, ОҚ кірісінде жүзеге асырылады;





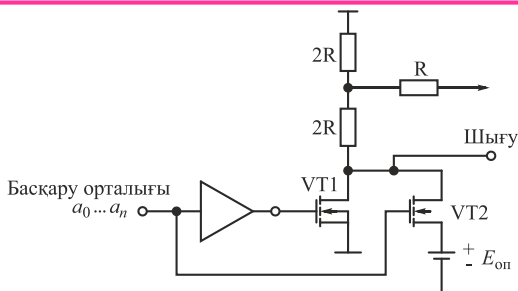
7.1-сурет. Цифрлық сигналды аналогты сигналға түрлендіру

- $R$  —  $2R$  матрицалы және әр разрядта ток генераторы бар ЦАТ. ОҚ болмағандықтан, барынша кең жолақты.
- сигма-дельта ЦАТ, ол 24-разрядты ЦАТ құруға мүмкіндік береді (акустикада қолданылады) және минимальды өзіндік шуға ие болады.

ЦАТ дыбысталу сапасын анықтайтын маңызды сипаттамасы болып дискреттеу жиілігі мен разрядтылығы табылады.

## 7.1. ЦАТ ТІЗБЕКТЕРІН СХЕМАЛЫҚ ІСКЕ АСЫРУ

КМОЖ элементтерінде құрылған бір разрядты ЦАТ схемасын қарастырамыз. КМОЖ (кремний, металл, оксид, жартылай өткізгіш) – кілт рөлін орындайтын транзисторлар (7.2-сурет), биполярлық транзисторлардан айырмашылығы токты мүлде тұтынбайды деуге болады ( $I_{\text{базы}} = 0$ ). Әдетте, КМОЖ-транзисторлар аз қуатты, кілтті режимде олар биполярлы транзисторлардан әлдеқайда жақсы. КМОЖ-транзисторлар схемасында басқару шиналарының сигналдарымен басқарылады, бұл кезде бір транзисторға сигнал фазада, екіншісіне қарсы фазада келеді, бұған инверторды тізбекке қосу есетінен қол жеткізіледі.



7.2-сурет. КМОЖ-транзисторларда бір разрядты схемалы іске асыру

Тұйықталмаған қалыпта КМОЖ-транзисторларының кедергісі шексіздікке тең, тұйықталған қалыпта кедергі нөлге тең. Қуатты тұтыну «0»-ден «1»-ге не «1»-ден «0»-ге ауысу сәтінде ғана туындайды.

Micro-Cap бағдарламасында коммутация сигналдары ретінде STIM моделі қызмет етеді, бұл қосарланған кодты генератор. Оның көмегімен қажетті разряд санын іріктеуге болады, бастысы шығысында сатылы сызықты функция болатындай фазалауды таңдау.

### 7.3. R-2R МАТРИЦАЛЫ ЖӘНЕ ТОК ГЕНЕРАТОРЛЫ ЦАТ

Оның ерекше қыры – ОҚ болмауы және салдарынан ең жоғары кең жолақтылыққа қол жеткізу мүмкіндігі. Мұндай САТ әдетте 75, 100, 200 Ом (беріліс желісінің сипаттамалы кедергісі) жүктемемен жұмыс істейді. Оның құрылымы 7.3-суретте бейнеленген.

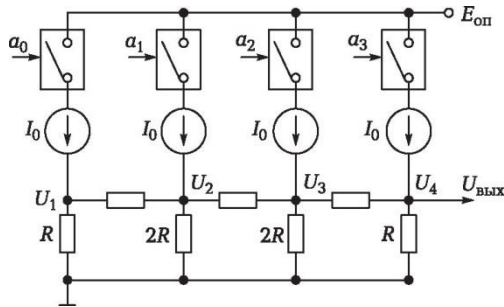
ЦАТ  $R$  —  $2R$  матрицасына ие. Оның ерекшелігі шеткі резисторлары ток қосылған матрицадағыдай  $2R$  номиналды емес,  $R$  номиналдарына ие. Матрица тораптарында ток генераторлары (ТГ) қосылған. қоректік кернеу өзгерген кезде ТГ өзінің шығыс тогы мәнін өзгертпейді. ТГ  $a_0... a_3$  разрядтарымен басқарылатын кілттер арқылы қосылған.  $E_{оп}$  эталонды кернеу құрады. Қандай кілт жабық болуына байланысты сол не басқа ТГ жұмыс істейді де,  $U_1$ ,  $U_4$  тораптарында кернеу құрады. Бұл кернеулердің әрқайсысы келесі торапқа түскенде екі есе кішірейеді:

$$U_{ВЫХ} = \frac{U_1}{2 * 2 * 2} + \frac{U_2}{2 * 2} + \frac{U_3}{2} + U_4$$

Тораптардағы кернеулер өзара тең  $U_1 = U_2 = U_3 = U_4$  (басқа қосылған көздер болмаған жағдайда). Схема торабындағы кернеулер неге тең екенін көрейік.

$U_1$  торабына арналған эквивалентті схема:

$$U_1 = I_0 \frac{R + 2R}{R + 2R} = \frac{2}{3} RI_0$$



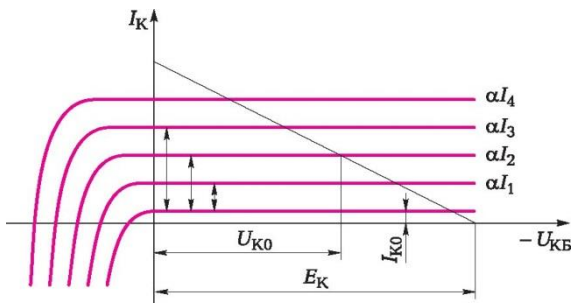
7.3-сурет. Ток генераторлы ЦАТ схемасы

САТ шығысындағы кернеуді қарастырамыз:

$$U_{\text{ВЫХ}} = I_0 R \frac{2}{3} \sum_{j=1}^n 2^{-(n-j)}$$

Бұл схеманың жиілік қасиеттерін қарастырамыз. ТГ айнымалы үдерістерсіз тұрақты деңгейді құрады, инерциялылық кілтті және схеманың әр элементінің паразитті сыйымдылықтарын құрады. ТГ дифференциальды каскадтарда құрылады. ТГ оған жалғанған кернеуге тәуелсіз берілген токты беретін құрылғы.

Егер эмиттер тізбегінде  $I_{\text{Э}}$  тогы жүрсе, коллектордан  $\alpha I_0$  ( $\alpha = 0,99$ ) тогы өтеді. Эмиттер тізбегінде ток өзгергенде коллектор тізбегіндегі ток та өзгереді.  $E_K$ -дан ток  $J_n$  арқылы өтіп, онда жерге қатысты  $u_{KB} = E_K - U_R$  кернеуін құрады. Ток артқан кезде коллектордағы кернеу түседі. Графикада ЖБ схема үшін шығыс коллекторлық сипаттама бейнеленген (7.4-сурет).



7.4-сурет. ЖБ схемасы бойынша транзистордың шығыс коллекторлық сипаттамасы

Коллекторлық сипаттама графикасында жұмыс нүктелерін анықтау үшін  $E_K$  шегереміз, одан әрі  $E_K/L_n$  нүктесін белгілейміз, сөйтіп  $L_n$  жүктеме сызығын құрамыз. Ол тармақты қиып өтіп, жұмыс нүктелерін бейнелейді. ИКБ кернеуін өзгерткенде,  $I_0$  ток өзгермейді. Реттік коллектор тізбегінің ішкі кедергісі 2МОм.

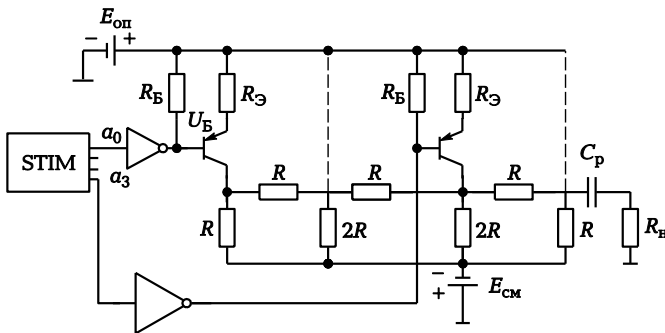
ТГ әдетте база бойынша ашылып, жабылады. Базаға басқару көзі де жалғанады.

## 7.4. ЖАЛПЫ БАЗАЛЫ СХЕМА БОЙЫНША ТРАНЗИСТОРДАҒЫ ЦАТ

ЦАТ схемасы 7.5-суретте берілген.

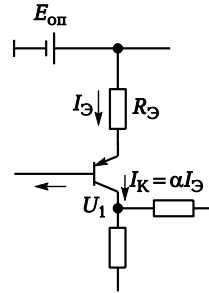
Схема жұмысының принципі: идея әр транзисторды ашып, жабудан тұрады, бірақ олар ЖБ схемасы бойынша жұмыс істеуі керек. STIM (сигнал генераторы) аламыз. Ол «1» (3,5...4,5 В) және «0» (0,2 В) сандық деңгейін құрады.  $u_B = 0,2$  В жағдайын қарастырамыз. ЖБ-мен схеманың басты белгісі – база тізбегіндегі өте аз немесе нөлге жуық кедергі. 7.6-суретте ток өтуін талдауға арналған схемалардың бөлігі көрсетілген. Транзистор эмиттерінің тоғын анықтаймыз:

$$I_{Э} = \frac{E_{оп} - U_{ЭБ0} - E^K}{R_{Э}}$$



7.5-сурет. ЖБ схемасы бойынша қосылған транзистордағы ЦАТ схемасы

7.6-сурет. ЦАТ разряды схемасында токтың өтуі



$U_j$  торабындағы кернеу мынаған тең

болады: 
$$U_1 = \frac{2}{3} I_{э0} \alpha R.$$

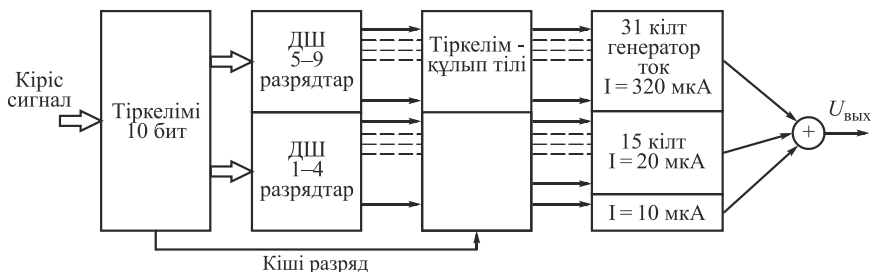
$I_{э}$ , біліп,  $U_j$  торабындағы кернеуді табуға болады. Одан әрі формула бойынша  $U_{\text{вых}}$  есептеп, схеманың максимальды шығыс кернеуін анықтайды. Егер үлкен оң кернеу берсек (логикалық бірлікті), онда ЖБ схемасында ток бойынша шығыста нөлді аламыз (ток логикалық нөл болғанда ғана жүреді). Егер  $E_{\text{см}}$  болмаса, онда ток матрицада кернеудің түсуін болдыратын еді де, сонымен коллекторда плюстік кернеу құратын еді, яғни транзистор терең қаныққан режимге ауысатын еді.  $E_{\text{см}}$  терең қаныққандық болмас үшін теріс кернеу береді. Шығысқа тұрақты құрамдасты өткізбеу үшін  $C_p$  керек.  $C_p$  және  $R_n$  шығыста дифференциальды тізбекті құрайды. Сондықтан т тұрақты уақытты дұрыс таңдау керек.

## 7.5. ЦАТ АУЫТҚУЫН ТАЛДАУ

ЦАТ шығысындағы шу жартылай өткізгіштегі физикалық үдерістермен туындайтын түрлі себептер бойынша пайда болуы мүмкін.

Лақтырындылар (импульсті ақаулар) — САТ түрлі разрядтарындағы аналогты кілттің тұйықталу және ашылу синхрондылығы болмауы есебінен шығыс кол мәнін ауыстыру кезінде туындаған шығыс кернеудегі ірі қысқа ұшқындар немесе сәтсіздіктер.

ЦАТ разрядының соңғы саны сигнал жиілігі жолағында шу кернеуінің қолданыстағы мәнімен бағаланатын кванттау шуының туындауына әкеледі. Қарастырылған құрылымдардағы ЦАТ шығысындағы аналогты сигнал ең жоғары амплитудасы жоғары разряд іске қосылғанда пайда болатын лақтырындыларға ие болады. Бұл құбылыспен күресу үшін аналогты сигналдар формасына жоғары талап кезінде САТ сегменттеу құрылысы әзірленді (7.7-сурет).



7.7-сурет. Сегменттелген ЦАТ құрылымы

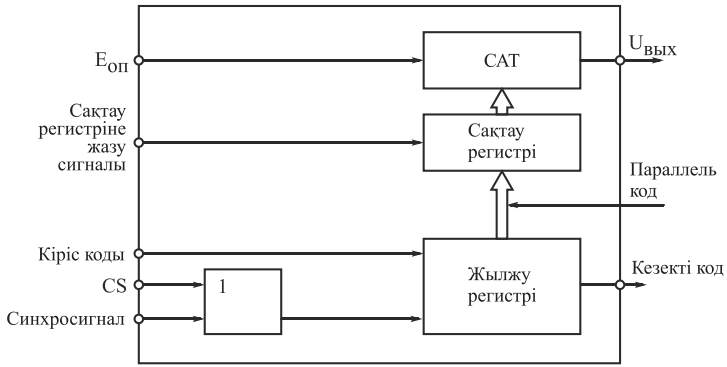
Лақтырындыны болдырмас үшін қосарланбаған ток генераторларының есебінен шығыстағы токтың өсуі қолданылады.

Дешифраторлар регистрден түсетін 30-разрядты кодты дешифрлайды, бірінші дешифратор кіріс сигналының (10-биттік) кешігуді болдырады және оны керекті шина санына бөледі. Шиналардағы ақпарат «ілемек» регистрінде жазылады. Регистр ақпаратты жазған сәтте ол ток генераторына сигнал береді (ТГ қосады) және жүйе кіріс кодын өндейді. Ешқандай матрица жоқ, бірақ кілтті басқару сигналы пайда болатын ондаған шиналар бар. шығыс сигналында ақаулар бар, бірақ олардың шамасы 3 %-дан аспайды.

Лақтырындылар оны жойып жіберетін сыйымдылықтар минимумға жеткізілетін жылдам әрекет ететін ЦАТ-қа тән. Лақтырындыларды болдырмаудың түбегейлі тәсілі болып сұрыптау құрылғысын – сақтауды пайдалану табылады.

## 7.6. ЦАТ ИНТЕРФЕЙСТЕРІ

Цифрлық-аналогты түрлендіргіштің маңызды бөлігін цифрлық интерфейс, яғни кілтті басқару кірістері мен цифрлық сигнал көздерінің байланысын қамтамасыз ететін схемалар құрайды. Цифрлық интерфейс құрылымы ЦАТ-тың кіріс коды көзіне, мысалы микропроцессорға не микроконтроллерге қосылу тәсілін анықтайдысандық интерфейс қасиеттері ЦАТ шығысындағы сигнал қисық сызығының формасына тікелей әсер етеді. Мәселен, түрлендіруші кілттерін басқару кірісіне кіріс сөздің түсу уақытының әртүрлілігі тар лақтырындылардың туындауына әкеледі.

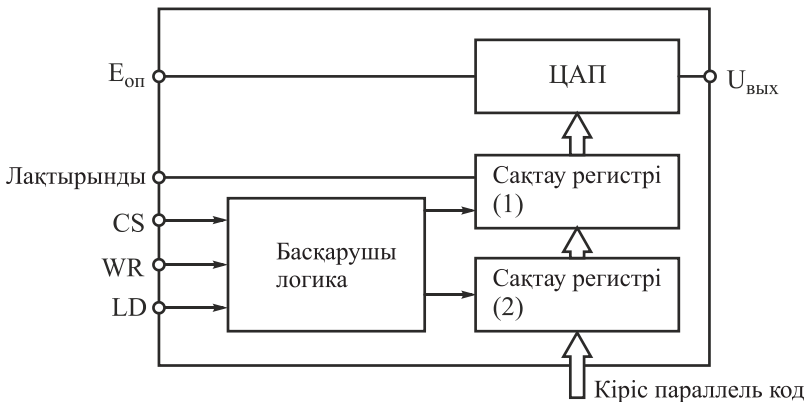


7.8-сурет. кезекті интерфейссті ЦАТ құрылымы

CS — кристалды таңдау  $E_{оп}$  — матрица қорегінің кернеуі

ЦАТ келесі интерфейс типтеріне ие: кезекті және параллель. Кезекті ЦАТ құрылымы 7.8-суретте берілген.

ЦАТ параллель кодта жұмыс істейді. Кірісіне кезекті код түседі. Бірінші регистр кезекті кодты параллельге айналдырады. Кіріс сөзі шығысы ЦАТ кілттерімен тікелей басқарылатын сақтау регистріне жазылады, кезекті кодты жазу кезінде синхросигнал керек. Синхросигнал кезекті код сигналын тактілейді. CS бірнеше ЦАТ бір мезгілде жұмыс істеп тұрса, дәл осы ЦАТ кристалын таңдауға мүмкіндік береді. ЦАТ тұрақтылығы мен кіріс деңгейі толықтай  $E_{оп.}$ -ге байланысты.



7.9-сурет. Параллель интерфейссті ЦАТ құрылымы:

CS — кристалды таңдау; WR — кодты жазу; LD — сақтау регистріне жазу сигналы

Параллель интерфейсты ЦАТ құрылымдық схемасы 7.9-суретте көрсетілген.

Регистрлер параллель кодты сақтауға арналған. Бірінші регистр кіріс шиналарының өткізу жолағынан ауытқыған оң және теріс импульстар фронтындағы айырмашылықты айтарлықтай азайтады, яғни фронтардың әртүрлілігін жояды. Екінші регистр қалған теңсіздікті жояды да САТ-та сигнал береді. Регистрлердің басқа мақсаты – кіріс коды пайда болуы мен шығыстағы аналогты сигнал арасындағы жазбаны тежеу.

## **7.7. МАХІМ ФИРМАСЫНЫҢ АТЦ**

МАХІМ — АҚШ фирмасы, АҚШ-та үш, Филиппин мен Таиландта бір-бірден зауыттары бар, сауданың 70 %-ы АҚШ-тың аумағынан тыс жүзеге асырылады.

ЦАТ қорек кернеуінің номенклатурасы айтарлықтай кең. Микросхемалар екіполярлы және бірполярлы қорекпен шығарылады. Екіполярлы қоректі микросхемалар заманауи техникада шектеулі қолданыста. Әдетте, «МХ» префиксіне ие ерте модельдер. Олар негізінен бастапқы буын өнеркәсіптік жүйелерде қолданылады. Бірполярлы микросхемаларды, өз кезегінде, жоғары қоректік кернеуі бар микросхемаларға (12-15 В-қа дейін), +5 және одан да көп қоректік кернеулі микросхемаларға, 2,5-3,3 В-қа дейінгі немесе 5 В-қа дейінгі қоректік кернеуде жұмыс істеуге қабілетті төмен қоректік кернеуі бар микросхемаға бөлінуге болады. Жоғары қоректік кернеулі микросхемалардың заманауи бұйымдарда қолданысы шектеулі, себебі ол әзірлеушіні бірнеше қоректік кернеуді пайдалануға міндеттейді, ал ол номенклатураның қысқаруы мен қоректік кернеулердің төмендеуінен тұратын заманауи тенденцияға қарсы келеді. Заманауи және қайта әзірленетін бұйымдарда +5 В және одан төмен кернеулі сандық-аналогты түрлендіргіш микросхемасы кеңінен қолданылады, мұнда төмен қоректік кернеуде жұмыс істейтін бұйымдар барынша перспективті болып саналады.

Бұл микросхемалардың негізгі параметрлері 7.1-кестеде берілген. Алдыңғы үш микросхемалар (МХ7523, МХ7524, МХ7528) ток шығысына және кеңейтілген 5...15 В қоректік кернеу диапазонына ие, қалған төрт микросхемалар кернеу шығысына ие және бір +5 В қоректік кернеуде немесе +5 В кернеулі екі қорек көзінен жұмыс істейді.



кесте 7.1

Тип	Разрядтылық, бит	Канал саны	Шығыс типі	Қорек кернеуі, В	Ең жоғары тұтыну тогы мальный	Типтік орнату уақыты	Тірек кернеуінің көзі	Корпус
МХ7523	8	1	Ток	5:16	100 мкА	0,15 мкА	Сыртқы	РДР16
МХ7524	8	1	Ток	5:15	500 мкА	0,25 мкА	Сыртқы	РДР16
МХ7528	8	2	Ток	5:15	100 мкА	0,35 мкА	Сыртқы	РДР20
МАХ505	8	4	Кернеуі	+5, +5	10 мА	6 мкА	Сыртқы	РДР24
МАХ506	8	4	Кернеуі	+5, +5	10 мА	6 мкА	Сыртқы	РДР20
МАХ503	10	1	Кернеуі	+5, +5	400 мкА	25 мкА	Сыртқы	РДР24
МАХ530 <sup>9</sup>	12	1	Кернеуі	+5, +5	400 мкА	25 мкА	Сыртқы	РДР24

7.2-кесте

Шығыс	Атауы	MX7523		MX7524	
01	OUT1	Алғашқы инверсті ток шығысы			
02	OUT2	Екінші инверсті емес ток шығысы			
03	GND	Жалпы қорек шығысы			
04	DB7	Деректердің үлкен жетінші биті			
05	DB6	Деректердің алтыншы биті			
06	DB5	Деректердің бесінші биті			
07	DB4	Деректердің төртінші биті			
08	DB3	Деректердің үшінші биті			
09	DB2	Деректердің екінші биті			
10	DB1	Деректердің бірінші биті			
11	DB0	Деректердің кіші нөлдік биті			
12	CS/	Пайдаланылмайды		Кристалдарды	
13	WR/	Пайдаланылмайды		Жазбаларды	
14	Vdd	Қорек кернеуі			
15	Vref	Тірек кернеу			
16	Rfb	Кері байланыс резисторы			

Барлық микросхемалар тірек кернеуінің сыртқы көзін пайдалана алады, ал MAX503 және MAX530 микросхемаларда сонымен бірге тірек кернеуінің орнатылған көзі болады.

Бірінші цифрлық-аналогты түрлендіргіш MX7523 жоғары өнімділікті, CMOS (КМОЖ) технологиясы бойынша орындалған. Бұл микросхема танымал AD7523 микросхемасымен ұқсас. Микросхема кіріс кодын буферлемейді, сәйкесінше ол жазбаны стробтау сигналына ие болмайды. Кодтың кез келген өзгерісі 8-битті кіріс шинасына сол сәтте (150 нс ішінде) шығыс тогының орнатылуын тудырады. Микросхема 200кГц-ға дейінгі жиілікте жұмыс істей алады. Микросхема шығыстарының бақылануы 7.2-кестеде берілген.

Екінші микросхема MX7524 сипаттамасы жағынан MX7523 микросхемасына ұқсас, тек оның код сақтауға арналған кіріс буфері болады. Сәйкесінше, басқарудың екі кірісі: CS іріктеу және WR

жазба кірісі болады. Шығыс тогын орнату уақыты бұл микросхема үшін үлкен және 400 нс-ті құрайды, оның шығыстарын бақылау да 7.2-кестеде берілген.

Үшінші микросхема МХ7528 токты шығысты қосарланған цифрлық-аналогты түрлендіргіш болып табылады және құрылымы жағынан МХ7524 микросхемасына ұқсас. Оның шығыс тогын орнату уақыты да 400 нс-ті құрайды.

МАХ505 және МАХ506 микросхемалары қарастырылып отырған цифрлық-аналогты түрлендіргіштер тобының арасында айтарлықтай қызығушылыққа ие, себебі олардың әрқайсысы корпустарында кернеу шығысы бар төрт тәуелсіз каналға ие. МАХ505 микросхемасы әр канал үшін тіректі кернеудің тәуелсіз кірісіне ие, ал МАХ506 микросхемасы тіректі кернеудің бір ортақ кірісіне ие. Шығыс кодын орнату уақыты 6 мкс-тен артпайды.

Екі цифрлық-аналогты түрлендіргіштер де +5 В бірполярлы қоректік кернеуден де, +5 В екіполярлы кернеуден де жұмыс істеуге мүмкіндік береді. Микросхеманың қоректің бірполярлық көзінен қоректенуі кезінде қоректің теріс көзінің шығысы  $V_{SS}$  (3) аналогты АGND (және сандық DGND) ортақ жетекті шығысымен жалғанған болуы керек. МАХ505 микросхемаларының ерекшеліктері болып деректерді қосарлы буферлеу және барлық аналогты шығыстарда шығыс кернеуін ауыстыру сәтін сырттай синхрондауға мүмкіндік табылады. Ол үшін LDAC (белсенді төмен) кірісі қарастырылған. Егер бұл кірісте «0» кернеуі орнатылған болса, онда кіріс код алдымен кіріс регистрге түседі де, содан кейін бірден сәйкес каналдың шығыс регистріне түседі. Бұл кірісте («0»-ден «1»ге ауысу) кернеудің оңтайлы түсуі кезінде шығыс регистрлер алғашқы регистр кодтарының мәнін жадта сақтайды. Осы кіріске қысқа теріс импульс кезектілігін беріп барлық шығыстағы ақпарат ауысуын синхрондауға болады.

МАХІМ фирмасымен барлығы 23 параллель толық разрядты интерфейсті цифрлық-аналогты түрлендіргіштер шығарылады.

10, 12, 13 және 14 разрядты микросхемалар шығарылады. Бұл кезде 12 разрядты микросхемалар ішінде каналдар саны 1 не 2 ні құрауы мүмкін, 13 және 14-разрядты микросхемаларда да канал саны 1-ден 8-ге дейін, ал 10 разрядты микросхемалар тек бір каналды болып шығарылады.

МХ7520/ МХ7530/МХ7533 және МХ7521/МХ7531/МХ7541(А) сандық-аналогты түрлендіргіштердің микросхемалары CMOS (КМОЖ) технологиясы бойынша орындалған, қарапайым жоғары өнімділікті 10- және 12 разрядты ЦАТ болып табылады. МХ7545А микросхемасы CMOS (КМОЖ) технологиясы бойынша орындалған

12-разрядты ЦАТ-тың буферленген нұсқасы болып табылады. Буферлік регистрде кіріс кодын жазу үшін CS және WR кірістеріне бір мезгілде «0»-ді беру керек. Шығыс токты орнату уақыты – 1 мкс.

## **БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ**

---

1. ЦАТ қандай типтері бар?
2. Ток генераторлы ЦАТ схемасының жұмысын түсіндіріңіз.
3. ЖБ схемасы бойынша транзистордағы ЦАТ қандай принцип бойынша жұмыс істейді?
4. ЦАТ шығысындағы қалдықтарды қалай азайтуға болады?
5. ЦАТ интерфейсінің кезекті құрылымын сызыңыз.
6. ЦАТ интерфейсінің параллельді құрылымын сызыңыз
7. ЦАТ негізгі параметрлерін атаңыз

## АНАЛОГТЫ-ЦИФРЛЫҚ ТҮРЛЕНДІРГІШТЕР (АЦТ)

### 8.1. АЦТ ТИПІ

Аналогты-цифрлық түрлендіргіштер (АЦТ) аналогты (үздіксіз) сигналдарды цифрлық формаға түрлендіруге арналған. Аналогты сигналды түрлендіру белгілі бір уақыт сәтінде болады, оны есептеу нүктесі деп атайды. Уақыт бірлігіндегі есеп саны дискреттеу (түрлендіру) жиілігін анықтайды, ол өз кезегінде АЦТ жылдам әрекетімен және пайдалану шарттарымен анықталады.

Аналогты-цифрлық түрлендіргіш цифрлық формадағы сигналды өңдеу, сақтау немесе жіберу талап етілген жерде қолданылады. Жылдам бейне АЦТ-да, мысалы TV-тюнерде пайдаланылады. Баяу орнатылған 8-, 10-, 12- және 16-битті АСТ микроконтроллер құрамына кіреді. Өте жылдам АЦТ цифрлық исциллографияларда қолданылады.

АЦТ келесі топтарға бөлінеді:

- Сатылы мерзімдеу кернеулі кезекті АЦТ (кезекті есепті АЦТ). Оның сипаттамалары: бұл күрделі схема және шағын жылдам әрекетті. Түрлендіру ұзақтылығы:

$$T_{\text{преобраз}} = T_{\text{такта}} * 2^N$$

мұндағы  $N$  — разрядтылық;

- кезекті жуықтас АЦТ, күрделілігі бойынша біріншімен бірдей, бірақ айтарлықтай тез әрекетті. Түрлендіру ұзақтығы:

параллель АСТ, ең жылдам әрекетті;

- Біріктіруші АЦТ. Онда ток матрицасы мен генераторлары жоқ, бірақ ОҚ біріктірушісі режимінде жұмыс істейтіндері бар. біріктіруші АСТ-ның айтарлықтай кең таралған типі –

$$T_{\text{преобраз}} = T_{\text{такта}} N$$

қосарланған біріктіруші АЦТ;

- сигма-дельта- АЦТ(С-Д-АЦТ) сигма-дельта модуляторды пайдаланады. Пайдаланған модулятор типі бойынша бұл АЦТ бірнеше класқа бөлінеді. Олардың ең үздіктері шығысында 24 разрядты қамтамасыз ете алады. Енгізілетін шуды барынша азайту үшін АЦТ-да децимация және передискреттеу операцияларын іске асыру үшін сандық сүзгілер қолданылады. Дыбыстық техникада пайдаланылады.

## 8.2. САТЫЛЫ МЕРЗІМДЕУ КЕРНЕУЛІ КЕЗЕКТІ АЦТ

Сатылы мерзімдеу кернеулі АЦТ баяу өзгеретін сигналдарды түрлендіруге қолданады.

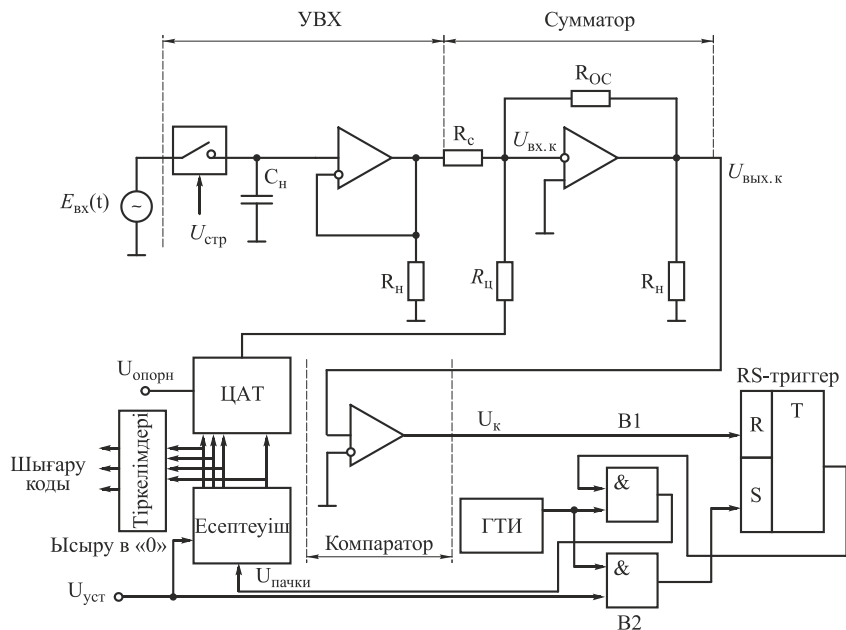
Сатылы мерзімдеу кернеулі АЦТ құрылымдық схемасы 8.1-суретте берілген.

Құрылғы жұмысын түсіндіретін сигналдар 8.2-суретте берілген.

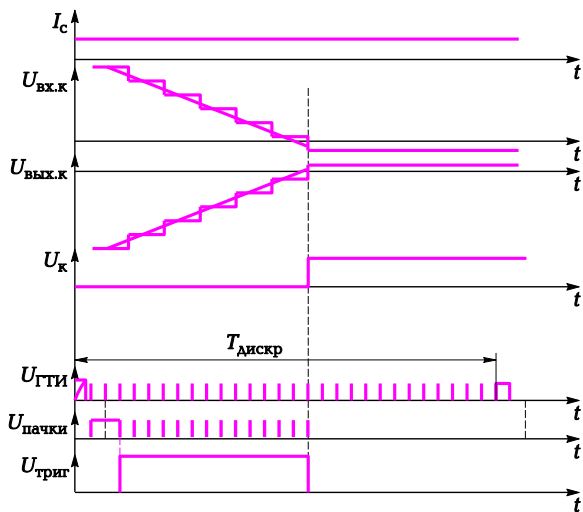
Құрылымның аналогты және сандық бөліктері бар.

Аналогты бөлікте пропорционал типті ССҚ қолданылады, операциялық күшейткіш  $K_{OC} = 1$ . Операциялық күшейткіш үлкен кіріс кедергісін құру үшін және ССҚ шығысында кіші шығыс кедергісін құру үшін керек. Ол сондай-ақ ССҚ шығыс кернеуін  $R_c$  және  $R_d$  резисторлар тогына айналдыруға мүмкіндік береді.  $R_c$  және  $R_d$  резисторларының номиналдары әр кіріс бойынша беріліс коэффициенттер бірдей болуы және кірістер бойынша өтетін сигналдардың қарапайым қосылысы орын алуы үшін тең болуы керек. Резисторлар тогы инвертирленген типті масштабты күшейткішті білдіретін сумматорда қосылады. Бұл құрылым нөлдік кіріс кедергісіне ие.

АЦТ-та кіріс сигналы тогымен салыстырғанда кері ағатын токтың полярлығы болады. Онда сумматор шығысында келесі қатынастарды аламыз:



8.1-сурет. Кезекті есепті АЦТ құрылымы



8.2-сурет. Кезекті есепті АЦТ жұмысын түсіндіретін сигналдар

$$U_{\text{вых}\Sigma} = U_{\text{вых}} = (I_c - I_{\text{ц}})R_{\text{ос}}$$

Компаратор кірісінде сатылы кернеуді қалыптастыру аралығында теріс сигнал болады, ол АЦТ мен сигнал тогының әртүрлілігі. Сөйтіп, компаратор кірісінде түрді деңгей қалыптасады.  $I_{\text{цап}}$   $I_c$  мәніне жеткен және оны бір квантқа асқан кезде компаратор сөнеді. Компаратор сигнал ыесептеуіш импульстарының бумасын құру үшін қажет.

Цифрлық бөлігі келесі түрде жұмыс істейді: тактілік импульстар генераторы (ТИГ) импульстар тарағын қалыптастырады, олар В1 және В2 шұраларға түседі. В1 ТИГ импульстары оң болған кезде оларды өткізеді. Триггер оң импульстар шығарады да олар В1ге түседі. Импульстар В1ден шығады да есептеуішке түседі. Ол импульс санын белгілейді де, оның шығысында сызықты өспелі кол қалыптастырады, ол шина бойынша ЦАТ-қа түседі. ЦАТ салыстыру нүктесіне түсетін токты қалыптастырады.  $i_{\text{устр}}$  және  $i_{\text{вых}}$  импульстар бумасын компаратормен шектейді. Есептеуіш компараторды оң кернеу бере бастағанда тоқтатады. Қандай жағдайда да тек бір импульс жоғалады. Жоғары нақтылық үшін жоғары сезімтал компараторды алу керек.

Цифрлық құрылым тек  $i_{\text{уст}}$  орнату импульсы түскен кезде ғана жұмыс істей бастайды, ол есептеуіштегі алдыңғы код мәнін нөлге теңестіреді. Қателіктерді жою үшін тек тактілік сигналды өткізетін В2 қойылады.

Егер әр орнату импульсында есеп жүргізу керек болса, онда есептеуішке буманы нөлденген есептеуіш кезінде беру керек. Сондықтан импульстың алдыңғы фронтында есептеуіш нөлденеді де, оның артқы фронтында есептеуішке берілетін есеп импульстары бумасы қалыптаса бастайды.

Уақыттың бастапқы сәтінде  $i_{\text{уст}}$  орнату импульсы ЦАТ кірісінде ( $U_{\text{цап}} = 0, u_{\text{ax}} = \text{max}$ ), компаратор шығысында – логикалық «0» (минустық кернеу) пайда болады. ССҚ сигнал таңдауды қалыптастырады.

Сатылы мерзімдеу кернеулі АЦТ схемасының ерекшелігі тек оң сигнал кодталатындығында, себебі кіріс сигналын оң салаға жылжыту керек, яғни кіріс сигнал модулін кодтау керек. Негізгі қолдану саласы болып төмен жиілікті сигналдарды өңдеу табылады.



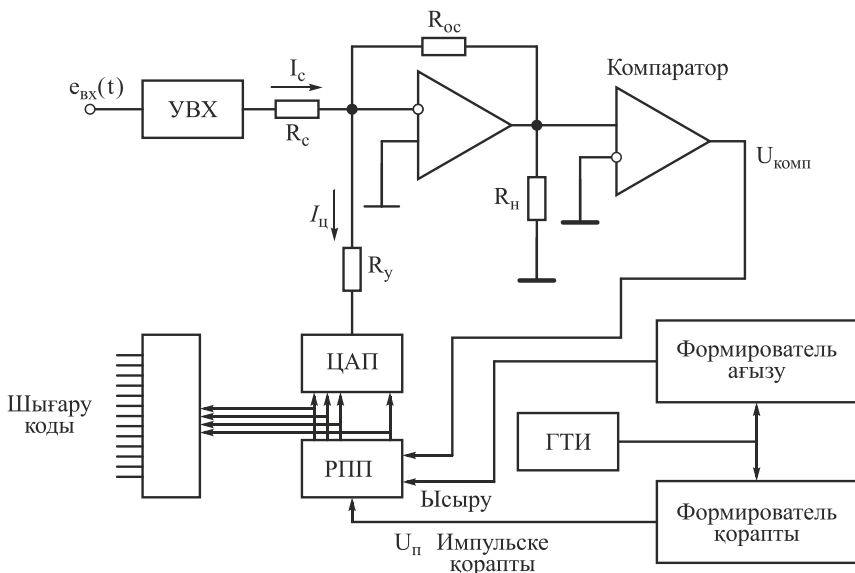
### 8.3. КЕЗЕКТІ ЖУЫҚТАУ АЦТ

Бұл класс АЦТ-ы кезекті-параллель және біріктіруші АЦТ арасындағы жылдам әрекеті, құны мен шешу қабілеті бойынша аралық орынды алады. Олар басқару, бақылау және сигналдарды цифрлық өңдеу салаларында кең қолданылады.

Кезекті жуықтас АЦТ құрылымдық схемасы 8.3-суретте берілген. Кернеу графигі 8.4-суретте көрсетілген.

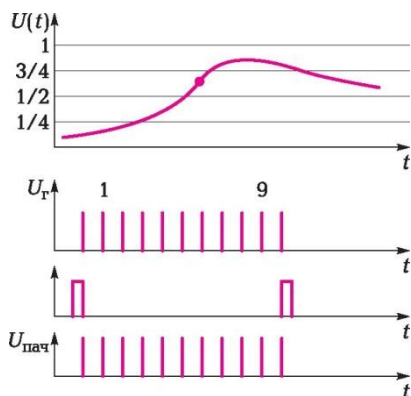
АЦТ-ны кезектес қосылған кезекті жуықтау регистрі (КЖР) басқарады.

$Y_c = Y_y$  кезіндегі құрылым жұмысын қарастырамыз. Жұмыс басында жылжыту регистрінде барлық разряд бойынша бір мезгілде код жазылады: үлкен разрядта «1» және қалған разрядтарда «0». Онда бірінші импульсте ЦАТ бумалары ең жоғары мүмкін құлаштың жартысын бір сәтте береді. Егер  $e_{вх}(t)/2$ -ден жоғары болса, компаратор шығыста КЖР сақтау регистріне түсетін «0» және оның үлкен разрядта (триггерде) шығысында «1» қалыптастырады.



8.3-сурет. Кезекті жуықтау АЦТ құрылымдық схемасы:

ССҚ — сұрыптау және сақтау құрылғысы; КЖР — кезекті жуықтау регистрі; ТИГ — тактілік импульс генераторы



8.4-сурет. Кезекті жуықтау АЦТ кернеуінің графиктері

КЖР жылжыту регистрінен және сақтау регистрінен тұрады. Егер  $e_{\text{вх}}(\xi)1/2$ -ден жоғары болса, ЦАТ регистрі кірісіне «1» орнатылады. Бұл бірлік САТ үлкен разрядында ағымдағы сұрыптауды кодтау аралығының соңына дейін қалады.

КЖР бумасының екінші импульсы бойынша «1»-ді келесі разрядқа жылжытады, сондықтан да шығыста екі бірлік:  $N$ - разрядта және  $(N - 1)$ -разрядта бірлік аламыз. Екінші разрядта «1» сақталмайды, себебі ЦАТ шығысындағы жиынтық деңгей кіріс сигналы деңгейінен асатын болады және ЦАТ регистрі орнатылған 1-ді компаратор сигналы бойынша жояды да, разрядта «0»-ді қалдырады.

Буманың үшінші импульсі түскен кезде «1» келесі разрядқа  $(N - 2)$  жылжиды. Енді  $N$ ,  $N - 1$  және  $N - 2$  разрядтары жұмыс істейді. Егер енді ЦАТ шығысындағы үш разрядтың жиынтық деңгейі кіріс сигналының деңгейінен жоғары болса, онда КЖР  $N - 2$  разрядының шығысында да «0» орнатылады, егер төмен болса «1» және т.б. орнатылады.

Сөйтіп, КЖР екінші шығыс регистрінде (ЦАТ регистрінде) кодтау интервалының соңында барлық разрядтар бойынша нөлдер мен бірліктердің сәйкес жазбасы қалады, ол ЦАТ кернеуін бір дискрет айырмашылығындағы сұрыптау нүктесінде  $e_{\text{вх}}(\xi)$  кернеуіне барынша жақындауын камтамасыз етеді.

Барлық үдеріс сұрыптау стробының көрші импульстарының арасында қанша есеп импульсы өтсе, сонша уақытқа созылады. Есеп импульсының саны разряд санына тең. Стробтау импульстарының арасындағы аралық дискреттеу уақытын анықтайды.

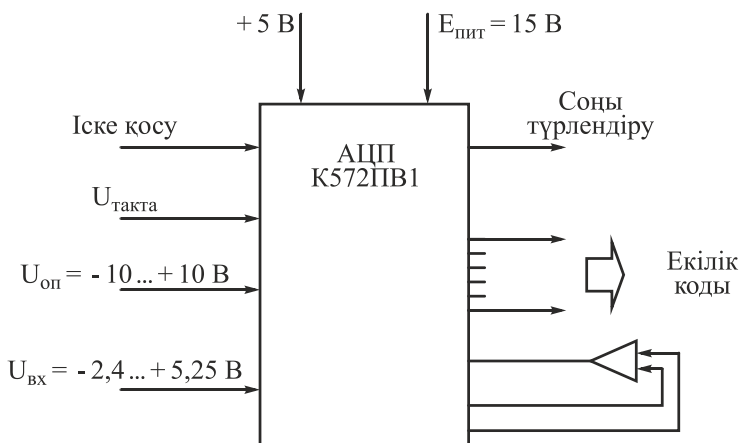
## 8.4. КЕЗЕКТІ ЖУЫҚТАУ АЦТ-НЫҢ ПРАКТИКАЛЫҚ СХЕМАСЫ

К572ПВ1 АЦТ қосылуының құрылымдық схемасы 8.5-суретте берілген.

Әр 5 мкс-те тактілік импульс туындайды, бір разрядқа екі такт жұмсалады, сыртқы компаратор пайдаланылады. Кіріс сигналының деңгейі  $-2,4... +5,2$  В құрайды, осы шекте аналогты сигнал кодталады (кодтау жылдамдығы 80 мкс, паспорт бойынша 110 мкс — бұл 10 кГц). Тірек кернеу ішкі ЦАТ-қа беріледі, оң және теріс сигнал кодталатындықтан,  $-10$ -дан  $+10$  В-қа дейінгі  $U_{оп}$  тірек кернеуін қамтамасыз ету керек.

Сөйтіп, кезекті жуықтау АЦТ ерекшелігі болып бірнеше килогерцті құрайтын дискреттеудің шағын жиілігі табылады. Бұл класс АСТ артықшылығы салыстырмалы түрдегі қарапайым құрылым болып табылады, ол түрлендіру үдерісінің орындалысының кезекті сипаттамасымен анықталады.

АЦТ жобалау кезінде РЭА түрі мен қолданылу шарттарына байланысты оларға сыртқы тұрақсыздандырғыш факторларына: климаттық, биологиялық, механикалық, электрлік (электрлік тесіп өту) радиациялық факторларға төзімділігіне талап қойылады. АЦТ және ЦАТ интеграл схемаларына әсер деңгейі сәйкес нормативті-техникалық құжаттарда беріледі және қаттылық деңгейі бойынша ерекшеленеді.



8.5-сурет. Кезекті жуықтау АЦТ қосылуының құрылымдық схемасы

*Климаттық факторларға қоршаған орта (кейбір жағдайларда*

интеграл схемасының корпусындағы) температурасы немесе жылу соққысы, төмен не жоғары атмосфералық қысым, ылғалдылық, тұзды тұманның, қыраудың, құмның, белсенді заттектердің болуы жатады.

АЦТ ИС корпусы бетіндегі температура көрсетілген ТЖ салыстырғанда температураның едәуір кең диапазонында пайдалану кезінде термостаттау қажеттілігі туындаған жағдайда бақыланады. ИС РЭА герметтелген блоктары құрамында қызмет етеді, ол үшін ортаның ішкі температурасы туралы ақпаратты аду қиындайды. Үлкен қуаттылықты ИС қосымша салқындатуды талап етеді.

Барынша белсенді *биологиялық факторларға* химиялық заттек (метаболиттер) бөлетін, қышқыл құрамдас, металл коррозиясы мен интеграл схемасы корпусының диэлектрик материалдарының ыдырауын тудыратын зенді жатқызуға болады.

Пайдалану және тасымалдау кезінде ИС мен РЭА-ға әсер ететін *механикалық факторларға* діріл, бірреттік және көпреттік соққылар, сызықтық және шарықтаған соққы жылдамдығы, акустикалық шу (дыбыстық қысыт) жатады.

ИС және РЭА-ны электрлік тесіп өтуден қорғау үшін кремний стабилитроны, варисторды, шектеуші диодты, еріткіш сақтандырғыштарды, интеграл схемасын жобалау және дайындаудың схемотехникалық және технологиялық тәсілдерін пайдаланады.

*Радиациялық факторларға* жасанды және табиғи иондайтын сәулелер жатады. Импульсты және үздіксіз иондайтын сәулелерді жіктейді. Екеуін де ядролық энергетикалық құрылғы көмегімен имитациялауға болады.

## **8.5. ПАРАЛЛЕЛЬ АЦТ**

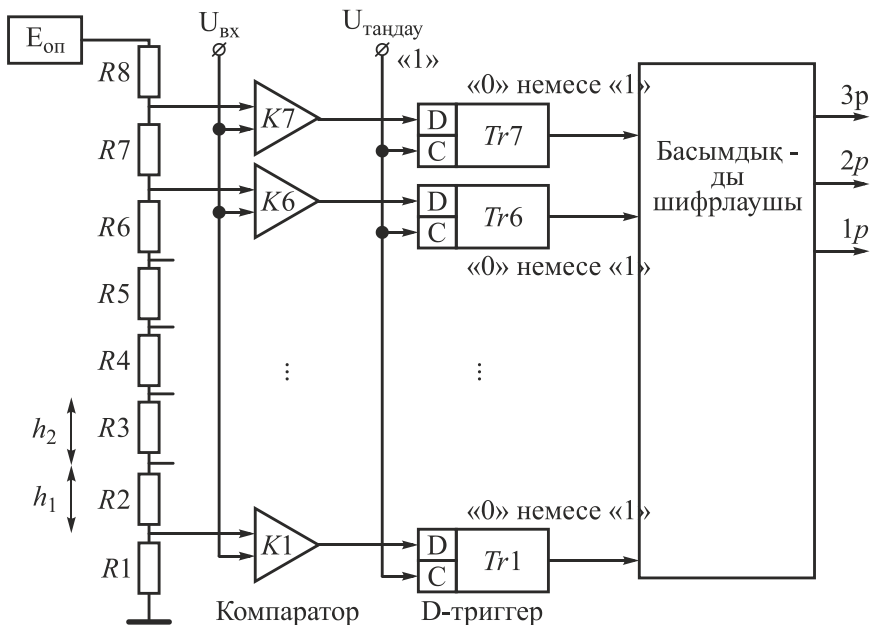
---

Параллель әрекетті АЦТ резисторлы матрицаны, компараторды, D-триггерлерді, артықшылықты шифраторды пайдаланады. Мұндай түрлендіргіштердің негізгі кемшілігі болып күрделі аппараттық іске асыру табылады.

Бұл типті АЦТ кіріс сигналы көзіне параллель жалғанған компаратор жиынының көмегімен бір мезгілде сигналды кванттауды жүзеге асырады.

Параллель АЦТ құрылымы 8.6-суретте берілген.

Матрица компаратор кірісіне түсетін тірек кернеуін құрады.



8.6-сурет. Паралель АЦТ құрылымдық схемасы

Шығыстар саны  $2^N - 1$  ( $N$  — кіріс тогының разрядтылығы). Разрядтар қанша болса — компараторлар мен D-триггерлер сонша. Аналогты-цифрлық түрлендіргіштер нәтижесі, әдетте жадта сақтау құрылғысына жазылады, қате мән алу мүмкіндігі бар. Бұл мәселені, мысалы сұрыптау-сақтау құрылғысының (ССҚ) көмегімен шешуге болады. Паралель АЦТ кейбір интеграл микросхемалар (ИМС), мысалы MAX100 сұрыптау уақыты шамамен 0,1 нс болатын жоғары жылдамдықты ССҚ-мен жабдықталады.

ССҚ-сыз АЦТ бірден код береді, ол да кіріс сигналды сұрыптау жасай алады. «1» триггер кірісіне түседі, егер оның кірісінде строб болса, «1» D-триггер кірісіне өтеді. Одан әрі сигнал нөлден максимумға дейін барлық триггерлерді пайдаланып өтеді. Шифратор триггер сигналының қосарланған кодының бірнеше разрядын құрады. Құрылым  $S$  кірісіне тактілік стробтау сигналын беруге, сөйтіп кіріс сигналды стробтауға мүмкіндік жасайды.

Кейбір АЦТ-да (мысалы, MAX1151) паралель аналогты-сандық түрлендіргіш кезінде мүмкін болар ақауды төмендету үшін екітактілі ағымды пайдаланады, онда алдымен компараторлар шығысының қалпы сақталады, содан кейін шығыс регистрінің синхрокірісіне белсенді фронтты беріп, артықшылықты шифратор қалпын құрған соң онда АЦТ шығыс сөзі жазылады.

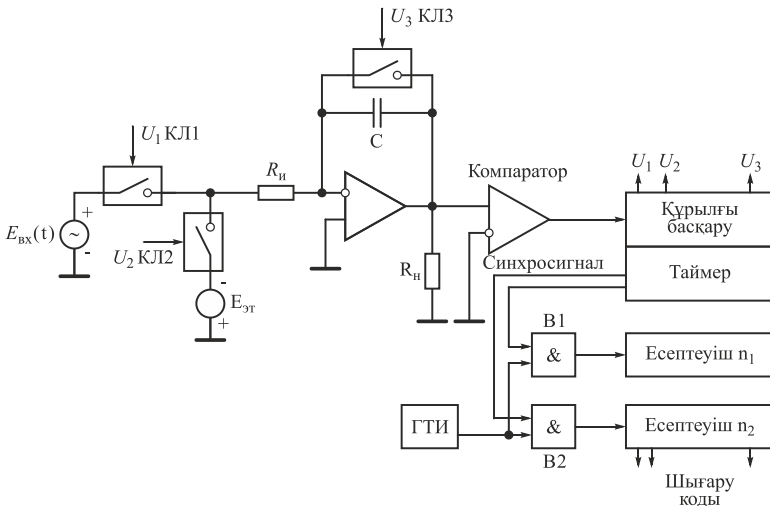
Компараторларының бір мезгілдегі жұмысының арқасында параллель АЦТ ең жылдам болып табылады. Мысалы, MAX104 типті 8-разрядты түрлендіргіш 1,2 нс-тен аспайтын сигналдың өтуін тежеу уақыты кезінде секундына 1 млрд есеп алуға мүмкіндік береді. Бұл схеманың кемшілігі – жоғары күрделілігі.

## 8.6. ҚОСАРЛАҒАН БІРІКТІРУШІ АЦТ

Қосарланған біріктіруші АЦТ температураның кең аралығында өнеркәсіптік ақау жағдайында түрлендірудің жоғары дәлдігін қамтамасыз етеді және өлшеу техникалары мен басқарудың автоматтандырылған жүйелерінде белсенді қолданылады.

Қосарланған біріктіруші АЦТ құрылымдық схемасы 8.7-суретте берілген.

Кіріс сигнал СӨКГ (сызықты өзгертін кернеу генераторы) біріктіріледі. Кіріс сигнал  $l_1$  есептеуішімен қалыптастырылатын белгілі бір уақыт аралығында біріктіріледі, бұл аралық  $T_1$  (КЛ1 кілті — жабық, КЛ2, КЛ3 кілттері — ашық).  $T_2$  аралығында кері бағыт белгісінің эталон кернеуі біріктіріледі. Кілттер аралықтан аралыққа қайта қосылуды жүзеге асырады.  $T_2$  аралығында тек біріктіруші шығысындағы кернеу нөлге жеткенде компаратор іске қосылады да, В2 вентилін жабады.



8.7-сурет. Қосарланған біріктіруші АЦТ құрылымдық схемасы

Бұл сәт компаратормен сақталады, В2 вентилінде логикалық нөл қалыптасады да,  $n_2$  есептеуіш жабылады. ТИГ  $n_1$  және  $n_2$  есептеуіштеріне түсетін импульсті өндіреді. Басқару құрылғысы кілт жұмысын басқарады. Т ұзақтылығы  $n_1$  есептеуішпен жазылып, орнатылады. Есептеуіш 4 092 –ге дейінгі импульстарды есептеуге бапталған, одан әрі  $T_2$  аралығы қосылады (КЛ1 — ашық, КЛ2 — жабық).

Біріктіруші конденсаторы разрядталады да, нөлдік сызықты қиған кезде компаратор іске қосылады, басқару құрылғысы арқылы сигнал шұраға барады да,  $n_2$  есептеуішін жабады. Сөйтіп біріктірушідегі деңгей мәні  $T_2$  аралығы есептеуішінің импульс мәніне ауысады. 4096 импульс санаған сәтте кілттер коммутациясы асталады. Пропорционалды  $n_2$  импульс саны сигнал кодын сипаттайды.

$T_3$  аралығында (тек КЛ3 жабық) АЦТ автоматты дәлдемесі жүргізіледі. Бұл аралықта ОҚ кіріс параметрлерімен туындаған біріктіру ақаулары жойылады. ОҚ-да 1 нА паразитті кіріс тогы болады, біріктіру кезінде бұл ток конденсаторды зарядтайды. Транзистордың кіріс тогы дрейфімен туындаған кіріс кернеу 2 мкА/град.-ты құрайды, ол сонымен бірге біріктіру мәнін ауытқытады.  $T_3$  аралығында кодтау аралығындағы бұл ақауларды жоятын ТКБ (теріс кері байланыс) қосылады да, ОҚ-мен туындаған паразитті құбылыстың орны толтырылады.

$T_2$  кезінде  $e_{вх}$  өшеді,  $E_{эт}$  қосылады, барлық автоматика қақта қосылады.  $E_{эт}$  әрқашан қарсы фазалы бағытта (бұл функцияны компаратор басқарады, ол кіріс сигналының полярлығына әсер етіп, КМОЖ кілттерін  $E_{эт}$  кіріс сигналды қарсы фазада болатындай етіп басқарады)  $T_2$  аралығында конденсатор нөлге дейін разрядталады. Одан әрі басқару құрылғысы сигнал береді де В2 шұрасын жабады, сөйтіп есептеуішке импульстардың түсуін болдырмайды.  $n_2$  есептеуішінде импульс саны  $n_2$  болады.  $n_2$ , есептеуіші  $n_2$  импульс санын санап, оларды қосарланған код түрінде береді.

Нәтижесінде уақытша және температуралық элементтер дрейфінің әсері толықтай жойылады. Барлық тұрақсыздық тірек кернеуінің тұрақтылығына байланысты болады. Бұл тәсіл 12- және 14-разрядты АЦТ құруға мүмкіндік береді. Сондай-ақ бірнеше нанометр ОҚ паразитті кіріс тогы болады. ОҚ кіріс каскадтары құратын кіріс кернеуінің дрейфіне ие, олар бірнеше микровольтты құрайды. Бұл АЦТ-да температуралық ауысқу компенсациясы бар.

## 8.7.

## ДРЕЙФТИК КЕРНЕУ МЕН ТОКТЫҚ ӘСЕРІН ТОЛТЫРУ ТІЗБЕГІ

Дрейф — электронды құрылғы шығысында кернеу не токтың бастапқы мәнінің өздігінен туындайтын ауытқуы. Бұл әсер кірісте сигнал болмаған кезде де байқалады. Нөлдік дрейфі кіріс сигналымен туындағандай болып пайда болатындықтан, оны шынайы сигналдан ажырату мүмкін емес. Нөлдік дрейфтің болуын негіздейтін көптеген себептер бар. оларғ қорек көзінің тұрақсыздығы, транзисторлар мен резисторлар параметрлерінің температуралық және уақытша тұрақсыздығы, төмен жиілікті шулар, ақаулар және нысаналаулар. Аталған себептердің арасында дрейф тудыратын температура өзгерісі айтарлықтай тұрақсыздық енгізеді.

Компенсация тізбегінің құрылымдық схемасы 8.8-суретте көрсетілген.

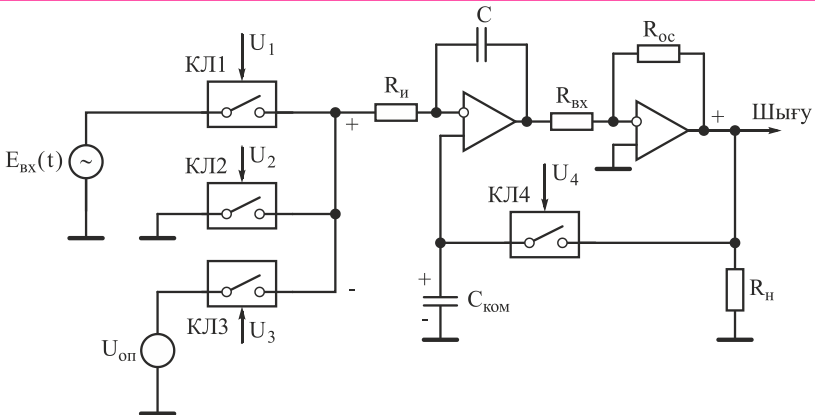
$T_3$  аралығында құрылым код беру және ОҚ токтары дрейфін толтыру режиміне көшеді. КЛ1, КЛ3 кілттері ашады да КЛ2 кілті біріктірушінің жерге кірісін тұйықтайды, КЛ4 кілт жабады.

ОУ кіріс тогы  $C$  кернеу деңгейіне дейін зарядтайды:

$$U_{\text{вх}} = \Delta U_{\text{дрейфа}} + \Delta I_{\text{вх дрейфа}} R_{\text{и}}$$

$$U_{\text{max}} = K_{\text{оу}} \Delta U$$

$C_{\text{ком}}$  кернеуі ОҚ-ға қарсы фазада жүреді. Жаңа аралық басында КЛ4 тен басқа кілттердің бәрі де жұмыс істейді, бұл кілт ашық және  $C_{\text{ком}}$  кернеу сақталады.  $C_{\text{ком}}$  екі аралық бойынша паразитті деңгейді ұстап тұрады.



Сурет 8.8. Компенсация тізбегінің құрылымдық схемасы



Осының арқасында 12-, 14 разрядты АЦТ құра алдық. Мұндай АЦТ типіне ИС К572ПВ2 жатады.

## 8.8. К572ПВ2 АЦТ ҚОЛДАНЫЛУЫ

К572ПВ2 (А, Б, В) және КР572ПВ2 (А, Б, В) АЦТ біріктіруші типті Жартылай өткізгіш БИС өлшем аппаратураларында қолдануға арналған. Индикаторлармен, бірнеше резисторлар және конденсаторлармен бірге олар нөлді автоматты түзетуші және кіріс сигналының полярлығын анықтаумен қосарланған біріктіруші АСТ қызметін орындайды.

Кіріс сигналы 1 В тірек кернеуі кезінде  $\pm 2$  В шегінде беріледі.  $C_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$  ұзақтығы импульс санымен нормаланған.  $C_{in}$ ,  $L_{in}$  — біріктіруші тізбек.  $T$  тактілік импульс кезеңі  $J_2$  және  $C_T$  (генератордың) сұрыптау жолымен таңдалады.  $C_{on}$  сыйымдылығы биполярлы тірек кернеуі көзі болып табылады, ол стабилитронға параллель жалғанады, коммутация КМОЖ-кілттері көмегімен жүргізіледі. Егер  $T$  50 Гц есе болса, онда АЦТ өнеркәсіптік желілік ақауларға реакция бермейтін болады.

Схема жұмысы үш тактіге бөлінеді. Бірінші тактіде кріісте 0-ден асатын кернеу болған кезде біріктіруші конденсаторының заряды басталады. Бұл кезде компаратор есептеуішке бірден рұқсат сигналын береді. Импульс есебі басталмайды, себебі бұл тактіде басқару схемасынан импульстар әлі түсе қоймайды.

### 8.1-кесте

Параметр	Мәні
Ондаған разряд саны	3,5
Кіші разряд бірлігінің түрлендіру қателігі:	
К572ПВ2 А нұсқасы үшін;	1
К572ПВ2 Б нұсқасы үшін;	2
К572ПВ2 В нұсқасы үшін	3
Қорек кернеуі, В	$+(5\pm 5)\%$ , $-(5\pm 5)\%$
Тірек кернеуі $U_{REF}$ , В	0,1...1 (әдетте 0,1 қолданылады, бірақ аралық мәнді де пайдалануға болады)
Кіріс сигналының диапазоны	$\pm 1,999 U_{REF}$
Кіріс кедергісі	20 МОм

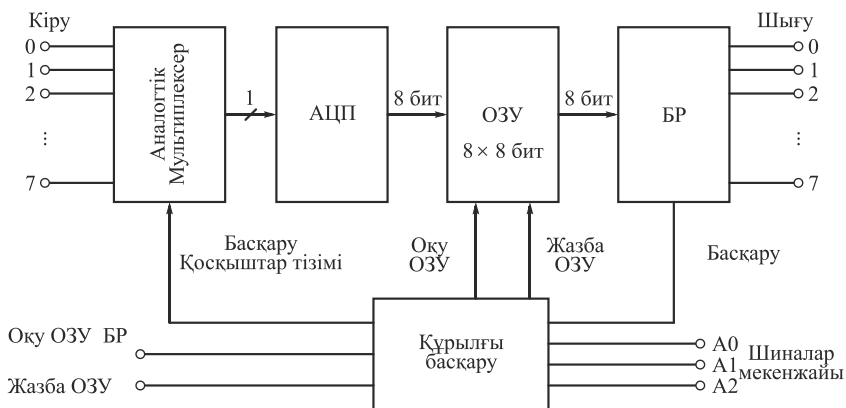
Екінші тактіде біріктіруші  $I_{оп}$  тірек кернеу көзімен қарсы бағытты кернеу белгісі арқылы жалғанады. Біріктіруші конденсаторы тұрақты токпен разрядталады. Бұл уақытта есептеуіш басқару схемасынан  $f$  жиілікпен түсетін  $N$  тактілік импульстарды санайды. Біріктіруші конденсаторы 0-ге дейін разрядталғаннан соң компаратор рұқсат сигналын шешеді де есеп тоқтатылады. Такт соңында шығыс регистрінде есептеуішпен шығыс кодын жазу жүргізіледі.

Үшінші тактіде біріктіруші конденсаторының нөлдік деңгейін түзету үшін зарядтау жүргізіледі, себебі барлық аналогты құрылғылар нөлге қарай жылжиды.

K572ПВ2 микросхемасының негізгі параметрлері 8.1-кестесінде берілген.

## 8.9. АҚПАРАТТЫ ЖИНАУ ЖӘНЕ ӨНДЕУ ТАҚТАСЫ – K572ПВ4 МИКРОСХЕМАСЫ

Деректер жинаудың аналогты-цифрлық жүйесінің (АЦТ) K572ПВ4 микросхемасы цифрлық кодқа сегіз параллель каналдар арқылы түсетін аналогты сигналдарды түрлендіріп, одан әрі оны ОЖСҚ сақтап, жадқа тікелей қолжеткізу режимінде сыртқы МП арқылы есептеуге арналған АСТ K572ПВ4 микросхемасы КМОЖ-технологиясы бойынша дайындалған.



Сурет 8.9. Ақпаратты жинау және өңдеу микросхемасының құрылымдық схемасы

Деректерді жинау жүйесі адресстер мен деректердің бөлек те, ортақ та шиналары бар микропроцессорлармен тікелей тартылысты қамтамасыз етеді. К572ПВ4 басқару микропроцессордан ТТЛ не КМОЖ деңгейлі логикалық каналмен жүзеге асырылады. Жадқа тікелей қол жеткізу режимі 8 тәуелсіз кіріс бойынша аналогты сигналды кезекті өңдеу алгоритміне сәйкес іске асырылады.

Микросхеманың 8 кірісі бар, мультиплексор оларды тексереді де аналогты сигналды АЦТ-ға береді (8.9-сурет). Кезекті жуықтау АЦТ кодтайды да код нәтижелерін ОЖСҚ-ға береді, онда 8x8 ұяшық бар. АЦТ – 8 разрядты. Басқару құрылғысы көмегімен кодтау нәтижесі енгізілетін жад ұяшығы таңдалады. Одан әрі ОЖСҚ-да сақталатын ақпарат буферлік регистрге (БР) беріледі. БР шығыс шинасынан толығымен ажыратылған, бұл бірнеше ОЖСҚ-сын бір шинаға қосу мүмкін болуы үшін жасалған. АЦТ сигналын ОЖСҚ-на жазу үшін адрес синалын жазба шинасына, кристалл таңдау сигналына, жазбаға рұқсат сигналына беру керек. Сигналды ОЖСҚ-нан шығару үшін ұяшық адресі сигналы мен ОЖСҚ-нан оқу сигналын беру керек. БР ақпараты сақтайды.

## **8.10. MAX195 АЦТ**

---

MAX195 АЦТ 16-разрядты, кезекті жуықтас аналогты-сандық түрлендіргіш болып табылады, ол жоғары жылдам әрекет, прецизиялы параметр, төмен энергия тұтынуын, сөндіру режимін 10 мкА тұтыну тоғымен біріктіреді. АЦТ бірполярлы және екі полярлы сигналдармен жұмыс істейді. Ерекше белгілері:

- Код шығыны болмайды;
- Сигнал/шу және SINAD 90 дБ ауытқу қатынасы;
- Түрлендіру уақыты 9,4 мкс;
- Сөндіру режимінде токты тұтыну 10 мкА;
- Орнатылған сұрыптау-сақтау жүйесі;
- Кіріс сигналының бір полярлы (0 В-ден VREF дейін) және биполярлы (VREF-ден VREF дейін) диапазондары диапазоны;
- Үш логикалық қалыпты деректердің кезекті шығысы;
- 16-pin DIP, SO, керамикалық Ceramic SB шағын габаритті корпусстар.

Қолданылу саласы:

- Портативті өлшеу құралдары;
- Өнеркәсіптік басқару жүйелері;
- Көпберілісті жүйелер;
- Өлшем жабдықтары;
- аудиожүйелер;
- робототехника;
- деректерді жинаудың медициналық жабдықтары;
- деректерді жинау жүйесі;
- сигналдарды цифрлық өңдеу.

Калибрлеудің орнатылған жүйесі түрлендірудің ең жоғары диапазондарында сыртқы реттеулерді қажет етпей, берілген сипаттамаларды қамтамасыз ету үшін сызықтық емес қателіктерді және ауытқуларды түзетеді.

+5В-ға дейінгі тірек кернеуінің сыртқы көзін (ТКК) пайдалану кезінде MAX195 ИС басқару кірісі бойынша таңдалатын бірполярлы (0 В-дан VREF дейінгі) немесе биполярлы (-VREF-ден +VREF дейінгі) кіріс сигналы диапазонын қамтамасыз етеді. Аналогты және цифрлық каскадтарға арналған қоректің жеке шиналары цифрлық шу құрамдастарының әсерін минималдайды.

АЦТ ЦАТ-тан, компаратордан, басқару схемасынан, буфер, калибратор және автоматты реттеу жүйесінен тұрады. АЦТ интерфейсі және басқару схемасы көптеген микропроцессорлармен байланысу үшін бірге жобаланған.

## Кесте 8.2

Параметр	Мәні
Ең жоғары қоректік кернеу, В	+7
Эксплуатация температурасы, °С: MAX195_C_E MAX195_E_E MAX195_MDE	0 ден 70 дейін -40тан +85 дейін -55 тен +125 дейін
Сақтау температурасы, °С	65 тен +160 дейін
Пісіру температурасы (10 с тан аз қызған кезде) °С	300
Ыдырайтын қуат, мВт	842
Есептің ең жоғары жиілігі, МГц	1,7

Автоматты реттеу жүйесі ЦАТ құру үшін кеомпаратор шығысынан сигналды пайдаланады. ЦАТ ОҚ инверттелген кірісіне жалғанған 16 конденсатордан тұрады.

ИС CS (белсенді төмен) сұрыптау кірісі үш қалыпты деректердің кезекті шығыс қалпын басқарады. Деректер түрлендіру кезінде деректер биті анықталған сәттен немесе түрлендіру аяқталғаннан соң 5 Мбит/с дейінгі жылдамдықпен SCLK кезекті тактілік басқару сигналын пайдаланып есептеле алады. Түрлендіруді аяқтауды шығыс сигналы процессорды тоқтатуға пайдаланыла алады немесе үздіксіз түрлендіруді максимальды жылдамдықта қамтамасыщ ету үшін тікелей кіріске қосыла алады.

MAX195 АЦТ сипаттамалары 8.2-кестеде берілген.

## **БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ**

---

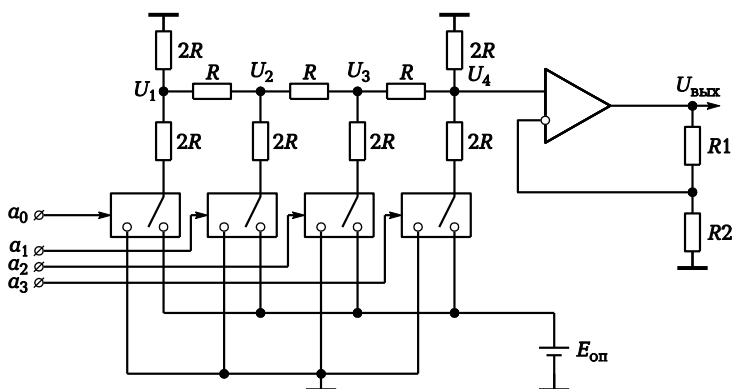
1. АЦТ қандай типтері бар?
2. Сатылы мерзімдес кернеулі АЦТ қандай негізгі элементтерден тұрады?
3. Кезекті жуықтау АЦТ жұмысының принципін түсіндіріңіз.
4. АЦТ жұмысына әсер ететін негізгі тұрақсыздандырғыш факторларды атаңыз.
5. Параллель АЦТ қандай элементтерден тұрады?
6. Қосарланған біріктіруші АУТ жұмысының принципін түсіндіріңіз.
7. K572ПВ4 микросхемасы неге арналған?
8. MAX195 АЦТ сикросхемасын қолдану саласын атаңыз.

## MICRO-SAR-ДА ЦАТ-ТЫ ҮЛГІЛЕУ

### 9.1. R-2R МАТРИЦАЛЫ ЖӘНЕ ҚОСАРЛЫ КЕРНЕУЛІ ЦАТ

R-2R матрицалы және қосарлы кернеулі ЦАТ схемасы 9.1-суретте берілген. ЦАТ екі негізгі элементтен: R-2R матрицалардан және ОҚ тұрады. Матрица тік тармақтан және көлдене байланыстан тұрады, тік тармақтарыны саны N разрядтар санына тең, бұл жағдайда  $N = 4$ . Матрица ширату қасиетіне ие. ОҚ инверттелмейтін құрылымда қосылған, инверттелмейтін күшейткіштің кіріс кедергісі өте жоғары, сондықтан ОҚ матрицаны тұйықтайды. ОҚ күшейткіш коэффициенті мына формуламен анықталады:

$$K_{OC} = 1 + R_1/R_2$$



9.1-сурет. R-2R матрицалы және қосарлы кернеулі ЦАТ

9.1-кесте

$U$	^входа ОУ
$U_1$	$U_1/(2 \cdot 2 \cdot 2)$
$U_2$	$U_2/(2 \cdot 2)$
$U_3$	$U_3/2$
$U_4$	$U_4$

ОҚ кірісінде схема торабында бөлінетін кернеу қосылады ( $U_1, U_2, U_3, U_4$ ). Бұл тораптық кернеулердің барлығы бір-біріне тең. Схемадағы кілттер логикалық бірлік деңгейі түскен кезде тұйықталады.

Осы тораптық кернеудің әрқайсысы ОҚ кірісіне беріледі, мұнда олар қосылады да, осы кернеулердің әрқайсысы әр беріліс кезінде дәл екіге бөлінеді (9.1-кесте).

$U_1$  екіге бөлініп,  $U_2$  торабына түседі, одан кейін  $U_3$  торабында тағы да екіге бөлініп,  $U_4$  торабында тағы қалдық екіге бөлінеді. Нәтижесінде торабынан сегізге бөлінген кернеу ОҚ кірісіне беріледі.

Матрица торап бойынша барлық қималарында бірдей кіріс кедергісіне ие.

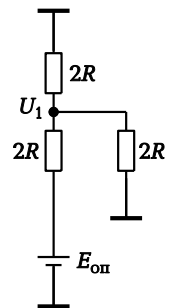
Әр қимада оң жағы әрқашан  $2R$ -ге тең болады.

Оң жақтағы, оның кесілетін бөлігіндегі тораптағы кіріс кедергісі  $2R$ -ге тең.

Келесі торапта кернеу алдыңғыға қарағанда екі есеге күшірейген болады:  $2R \parallel 2R = R$  (екі резисторлардың параллель қосылысы).

Тораптық кернеу мәнін қарастырамыз:  $E_{оп}$  арқылы тораптың эквивалентті схемасын пайдаланып,  $U_1$  табамыз (9.2-сурет):

$$U_1 = \frac{E_{оп}R}{2R + R} = \frac{E_{оп}R}{3R} = \frac{E_{оп}}{3}$$



Сурет 9.2.  $U_1$  есебі үшін тораптың эквивалентті схемасы

Енді торапты қарастырып,  $U_2$  есептейміз. Оның эквивалентті схемасы өзгермеді:

$$U_1 = \frac{E_{\text{оп}}R}{2R + R} = \frac{E_{\text{оп}}R}{3R} = \frac{E_{\text{оп}}}{3}$$

Сондықтан тағы да  $U_2 = \frac{E_{\text{оп}}}{3}$  сәйкесінше

$$U_1 = U_2 = U_3 = U_4 = \frac{E_{\text{оп}}}{3}$$

онда  $U_{\text{ахода ОУ ОС}}$  кернеуі тең

$$U_{\text{входа ОУ ОС}} = \frac{E_{\text{оп}}}{3} \left[ \frac{1}{2 * 2 * 2} + \frac{1}{2 * 2} + \frac{1}{2} + 1 \right] = \frac{E_{\text{оп}}}{3} \sum_{j=1}^n 2^{n-j}$$

ОҚ шығысындағы кернеу тең

$$U_{\text{вых}} = K_{\text{ос}} \frac{E_{\text{оп}}}{3} \sum_{j=1}^n 2^{n-j}$$

Ең жоғары шығыс кернеуі  $E_{\text{оп}}$  функциясы және масштабтайтын күшейткіш берілісінің коэффициенті болып табылады. Тірек кернеу нақтылық пен тұрақтылықтың жоғары дәрежесіне ие болуы керек. Құрылымдың жиілік қасиеттері операциялық күшейткіштің жиілік қасиеттерімен анықталады. Барлық операциялық күшейткіштердің беріліс сипаттамалары тербелмелі сипатқа ие.

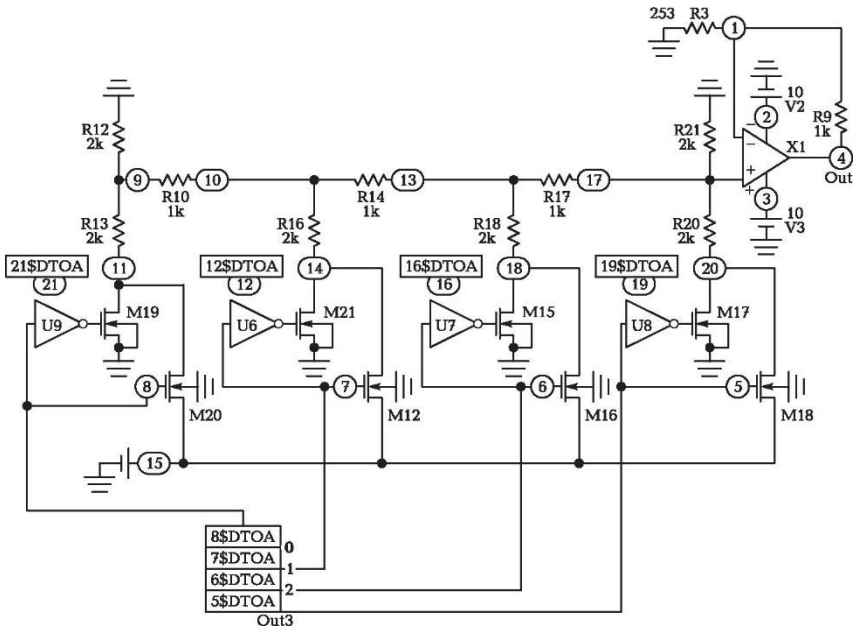
Мұндай САТ-та өткізу жолағын дұрыс есептеу маңызды, ол талап етілетін жылдам әрекетпен дұрыс қатынасуы керек.

Micro-Cap бағдарламасындағы схема 9.3-суретте келтірілген. Номиналы резисторов матрицы  $R$  —  $2R$  матрица резисторларының номиналы сәйкесінше 1 және 2 кОм-ға тең етіп таңдалған.

Сандық сигнал генератор Component ^ Digital Primitives ^ Stimulus Generators ^ Stim4 командасымен шақырылады. Импульстар кезектілігі келесідей беріледі:

```
.DEFINE
IN1 + 0NS 0
+ 2u 1 + 4u 2
+ 6u 3 + 8u 4
```





9.3-сурет. Micro-Сар-да қосарланған кернеулі ЦАТ схемасы

- + 10u 5
- + 12u 6
- + 14u 7
- + 16u 8
- + 18u 9
- + 20u A
- + 22u B
- + 24u C
- + 26u D
- + 28u E
- + 30u F
- + 32u 0

Инвертор **Component > Digital Primitives > Standard Gates > Inverters > Inverter** командасымен таңдалады. Типі DO\_Gate.

Транзисторларды **Component > Analog Primitives > Active Devices > NMOS** (с л-каналды МОЖ, металлоксид-жартылай өткізгіш) командасымен таңдайды. Транзистор моделі — VN0610LL.

Модель ОУ — LF155.

Зерттеу параметрлерін баптау 9.2-кестеде берілген.

ЦАТ аралық нүктелері мен шығысындағы сигналдар 9.4-суретте

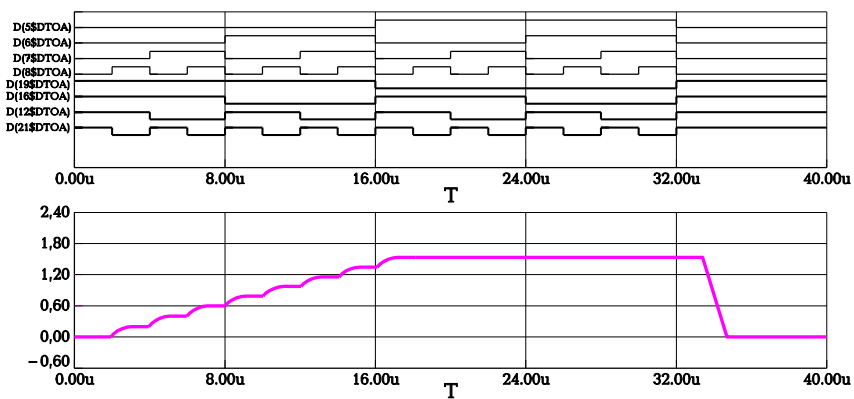


Рис. 9.4. Сигналы схемы ЦАП со сложением напряжений

берілген. Шығыс кернеулер генератордан импульстар әрекеті уақытының жартысында өседі, ал уақыттың екінші жартысында шығыстағы кернеу сызықтық учаскені білдіреді.

## Кесте 9.2

Time Range	40u	-	-	-
Maximum Time Step	0	-	-	-
Temperature	27	-	-	-
P	X Expression	Y Expression	X Range	Y Range
1	T	D(5\$D\$TOA)	4e-5,0,8e-6	N/A
1	T	D(6\$D\$TOA)	4e-5,0,8e-6	N/A
1	T	D(7\$D\$TOA)	4e-5,0,8e-6	N/A
1	T	D(8\$D\$TOA)	4e-5,0,8e-6	N/A
1	T	D(19\$D\$TOA)	4e-5,0,8e-6	N/A
1	T	D(16\$D\$TOA)	4e-5,0,8e-6	N/A
1	T	D(12\$D\$TOA)	4e-5,0,8e-6	N/A
1	T	D(21\$D\$TOA)	4e-5,0,8e-6	N/A
2	T	V(Out)	4e-5,0,8e-6	2.4,-0.6,0.6

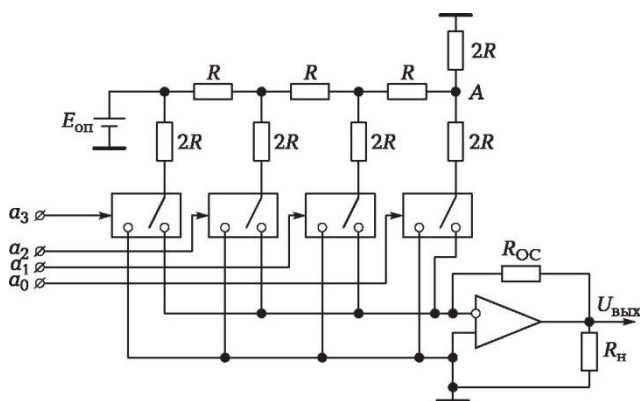
## 9.2. R-2R МАТРИЦАЛЫ ЖӘНЕ ТОКТЫ ҚОСЫНДЫЛАЙТЫН ЦАТ

Схема  $R-2R$  матрицадан және инверттелген режимде қосылған ОҚ-дан тұрады (9.5-сурет). ОҚ кіріс кедергісі  $R$  резистор қосылуымен іске асырылатын теріс параллель кері байланыс арқасында өте аз. Әр разряд сигналын қосу кернеумен емес,  $I_1 \dots I_4$  токтармен жүзеге асырылады. Кілттерге бір ағынан жер, екінші жағынан ОҚ кірісі жалғанған. Тірек кернеуі әдетте 5В-ны құрайды,  $AU$  кернеу түрлілігі ОҚ кірісінде милливольт бірліктерін құрайды, әр резистор тізбегінде  $E_{оп}$  және  $AU$  екі кернеу әрекет етеді, сондықтан сигналдар қосындысының дәлдігі резистор матрицаларымен анықталатын болады. Бұл матрица алдыңғы матрица иеленген қасиеттерге ие, тек ол токқа бейімделген.

Барлық матрицаны бір кернеуге жинаймыз. А нүктесінде  $R$  кедергісі болады, себебі  $2R \parallel 2R$  (резисторлардың параллель қосындысы).

$I_{вх}$  токты анықтаймыз. Алдымен тірек кернеуі көзіндегі токты анықтаймыз:

$$I_0 = \frac{E_{оп}}{R}$$



Сурет 9.5. Ток қосындылайтын ЦАТ схемасы

Енді разряд тізбегіндегі токтарды қарастырамыз:

$$I_1 = \frac{I_0}{2}$$

$$I_2 = \frac{I_0}{4}$$

$$I_3 = \frac{I_0}{8}$$

$$I_4 = \frac{I_0}{16}$$

Алдындағы әдістемені ұстанып,  $I_{\text{вх}}$  токты табамыз (бірліктің барлық кірісінде барлық кілттер оң қалыпта деп қабылдап):

$$I_{\text{вх}} = \frac{I_0}{2} \sum_{j=1}^n 2^{-(n-j)}$$

Кіріс тогы

$$I_{\text{вх}} = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = \frac{I_0}{2} \left[ 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} \right]$$

Шығыста кернеу ОҚ ( $K_0$ ) күшейткіш коэффициентінің  $\Delta U$  кіріс кернеуінің түрлілігіне көбейтіндісімен анықталады:

$$U_{\text{вых}} = K_0 \Delta U$$

Кері байланыс резисторында кернеудің түсуі кіріс тогының резистор кедергісіне көбейтіндісімен анықталады:

$$U_{R_{oc}} = I_{\text{вх}} R_{oc}$$

«Жерге» жалғанған нүктедегі кернеудің түсуі 0-ге тең

$$\Delta U - U_{R_{oc}} + U_{\text{вых}} = 0$$

$U_{\text{вых}}$ , мәнін қоямыз да кері байланыс резисторындағы кернеу түсуін теңдіктің оң жағына көшіреміз:

$$\Delta U + K_0 \Delta U = I_{\text{вх}} R_{oc}$$

$\Delta U$  кіріс кернеуінің түрлілігі аз болғандықтан оны сақтауға болады.

Кірістегі кернеу  $R_{oc}$  тағы кернеу түсуіне тең. Егер  $R_{oc}$  номиналы мен  $I_{вх}$  мәні белгілі болса онда  $U_{вых}$  табуға болады:

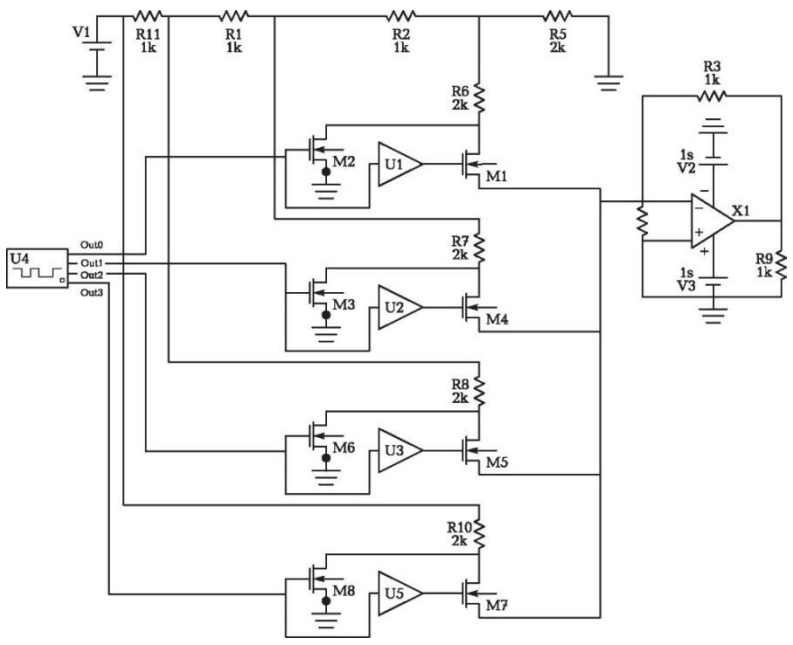
$$U_{\text{ВЫХ}} = I_{\text{ВХ}} R_{oc} = \frac{I_0 R_{oc}}{2} \sum_{j=1}^n 2^{-(N-j)}$$

формуласына қойып, мынаны аламыз

$$U_{\text{ВЫХ}} = \frac{E_{\text{оп}} R_{oc}}{2R} \sum_{j=1}^n 2^{-(N-j)}$$

$R_{oc}$  өзгерту арқылы осы САТ шығыс кернеуін өзгертуге болады.

Ток ОҚ шығыс тізбегімен емес  $R_{oc}$  тізбегі бойымен өтеді, себебі оның кірісінде өте үлкен кіріс кедергісі бар КМОЖ-транзисторлар тұр.



Сурет 9.6. Мікро-Сар-да ток қосындылайтын САТ схемасы

В нүктесіндегі тізбектегі кіріс кедергісін қарастырамыз:

$$R_{\text{ВХ}} = \frac{\Delta U}{I_{\text{ВХ}}} = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{K_0 I_{\text{ВХ}}} = \frac{I_{\text{ВХ}} R_{\text{ОС}}}{K_0 I_{\text{ВХ}}} = \frac{R_{\text{ОС}}}{K_0}$$

Micro-Cap бағдарламасында тоқты қосындылайтын ЦАТ схемасы 9.6-суретте берілген. Элементтер параметрлерін алдыңғы схемадағыдай қолдануға да болады. Уақытша зерттеу параметрлерін баптаңыз, нүкте ретінде разрядтардың бірін (мысалы,  $R_6$  резисторы мен M1 транзисторы арасындағы нүктені), сондай-ақ операциялық күшейткіштен кейінгі шығыс нүктесін көрсетіңіз. Үлгілеуді аяқтағаннан соң, (F3) талдаудан шығыңыз да схемада ток өтулері үшін Current батырмасын қосыңыз. Micro-Cap бағдарламасында ток бағыттары торапта өтетін то мәнін көрсетілген көк бағыттауышпен белгіленген.

Үлгілеу кезінде схема жұмысын зерттеуге арналған пайдалы құралдар болып мыналар табылады:

- Powers (қуаттылық), элементте таралатын қуатты бағалау үшін қызмет етеді. Егер нақты схемада рұқсат етілген таралатын қуаттылық арттырылған болса, элемент қызады да істен шығады;
- Conditions (қалып), (LIN) элементтің қалай жұмыс істейтінін көрсетеді, немесе (OFF) қосылған қалыпта болады. Бұл элемент жұмысы мен оның схеманың басқа каскадтарымен өзара байланыста түсінісу режимін есептеу мәніне ие.

## **БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ**

---

1.  $R-2R$  матрицалы және қосарларған кернеулі ЦАТ құрылымын салыңыз.
2.  $R-2R$  матрицалы және қосарланған кернеулі ЦАТ ОҚ күшейткіш коэффициенті нешеге тең?
3.  $R-2R$  матрица торабында кернеуде қалай анықтайды?
4.  $R-2R$  матрицалы ЦАТ құрылымының жиілік қасиеттері неге байланысты?
5.  $R-2R$  матрицалы және ток қосындылайтын ЦАТ схемасындағы ОҚ қалай қосылған?
6.  $R-2R$  матрицалы және ток қосындылайтын ЦАТ схемасындағы кіріс тогы қалай анықталады?
7. Қандай элемент көмегімен ЦАТ шығыс кернеуін өзгертуге болады?
8. MicroCap бағдарламасындағы схемада ток өтуі қалай бейнеленеді?

# ТҮРЛІ ҚОЛДАНЫСТАҒЫ СХЕМАЛАРДЫ MICRO-CAP-ДА ҮЛГІЛЕУ

### 10.1. КЕРНЕУ РЕТТЕГІШІ

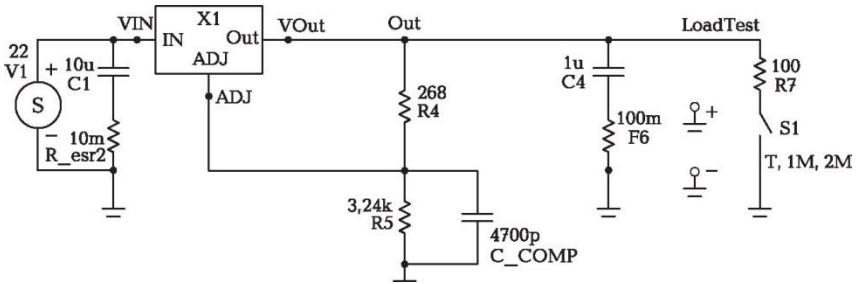
Кез келген аппаратурада қорек көзі кернеуінің тұрақтылығын қамтамасыз ету және кернеуді реттеу сұрақтары өзекті болып тұрады. Мысалы, транзистордаы күшейткіш каскад жұмысы кезінде қорек кернеуі каскадтағы токқа және транзистор жұмысын қамтамасыз ететін жұмыс нүктесінің қалпына әсер етеді. Егер қорек кернеуі айтарлықтай өзгерсе, онда транзистор жұмысының режимі бұзылады да күшейткіш кірісінде сигналдың ауытқуы орын алады, немесе сигнал мүлдем болмайды.

Электроникада қуаттылығы, тогы және тұрақтандырғыш кернеуі бойынша ажыратылатын тұрақтандырғыштар мен реттеуіштердің тұтас қатары қолданылады. Құрылғы 3А дейінгі токты тұтынғанда негізінен интегралды микросхемалардағы кернеулі тұрақтандырғыштарды қолданады. Одан қуаттырақ тұрақтандырғыштарда транзисторлар пайдаланылады.

ТО-220, ISOWATT220, ТО-3 не D2PAK корпусында монолитті интегралды схеманы білдіретін LM117/LM217/ LM317 кернеулі реттегіш жұмысын қарастырамыз. LM117/LM217/ LM317 — 1,5 А – дан көп шығыс тогы және 1,2ден 37 В-дейін кернеу диапазоны бар оңтайлы кернеу реттегіш. Номиналды шығыс кернеу айнымалы резистормен реттеледі, бұл құрылғынының қолданылуын өте қарапайым етеді.

Micro-Cap бағдарламасындағы реттегіш схемасы 10.1-суретте берілген.

LM117/LM217/LM317 шығыс пен реттелетін шығыс арасында 1,25 В ішкі тірек кернеуін құрады. Бұл тұрақты токты резисторлы бөлгіш арқылы орнату үшін жасалған.



10.1-сурет. Micro-Cap-да кернеуді реттегіш схемасы

Реттегіш  $I_{ADJ}$  (максимум 100 мкА) мәнін азайту және кіріс кернеуі мен жүктемесі өзгерген кезде оны тұрақты ұстап тұратындай етіп құрастырылған. LM117/LM217/LM317 — еріткіш реттегіш екенін ескерсек, ол кіріс пен шығыс арасындағы кернеу айырмашылығын анықтайды. Жоғары кернеулі қорек ең жоғарғы рұқсат шегінде қанша керек болса, соншалықты ұзақ жалғаса алады. Реттелетін шығыс пен кіріс арасында белгіленген резисторды орнатып, құрылғыны тоқты прецизиялық реттегіш ретінде пайдалануға болады. Шығыс кернеуінің тұрақсыздығын оңтайландыру үшін тоқты орнататын резистор  $R4$  номиналы бойынша  $R5$  резистордың толық кедергісіне мүмкіндігінше жақын болуы керек. Реттегіш пульсациясын азайту үшін кірісте сыйымдылығы 10 мкФ  $C1$  бұғаттаушы конденсатор және шығыста шуды бәсеңдету үшін конденсаторлар қосуға болады. Бұл схемада сыйымдылығы 1 мкФ  $C4$  конденсаторы пайдаланылады. Сонымен қатар қорғаныс диодтарын қолдану да жақсы тәжірибе болады.

Сигнал көзі **Component > Analog Primitives > Waveform Sources > V** командасымен қосылады. Сигнал көзінің кіріс кернеуі 22 В-ны құрайды (DC параметріне қарсы мән орнатыңыз).

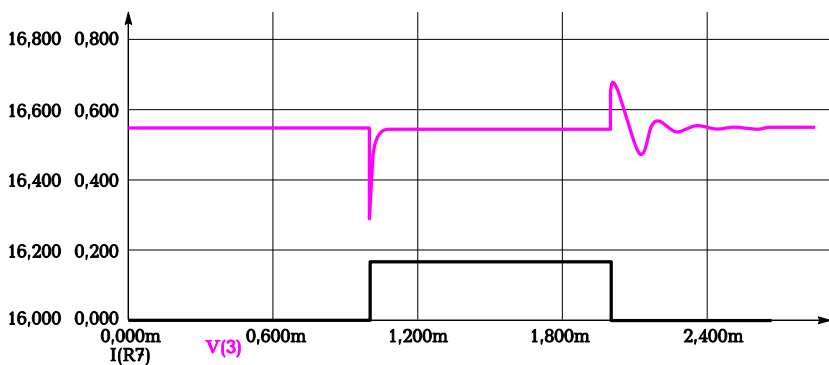
$X1$  реттегіш схемасын қосу үшін **Component > Analog Library > Regulator > LM117** командасын орындау керек.  $S1$  қайта қосқышы: **Component > Analog Primitives > Miscellaneous > Switch** командасымен қосылады.

$S1$  қайта қосқыш параметрінде Value=T,1M,2M беріңіз.

Уақытша зерттеу параметрлерін баптаймыз (10.1-кесте).

Уақытша зерттеу графигі 10.2-суретте берілген.





10.2-сурет. Кернеуді реттегіштің уақытша графигі

### 10.1-кесте

Time Range	3m	-	-	-
Maximum Time Step	2U	-	-	-
Temperature	27	-	-	-
P	X Expression	Y Expression	X Range	Y Range
1	T	I(R7)	0.003,0,0.0006	1,0,0.2
1	T	v(Out)	0.003,0,0.0006	17,16,0.2

Төменгі графикте резисторы арқылы өтетін ток көрсетілген, жоғары графикте реттегіш шығысында кернеу өзгерісі берілген.

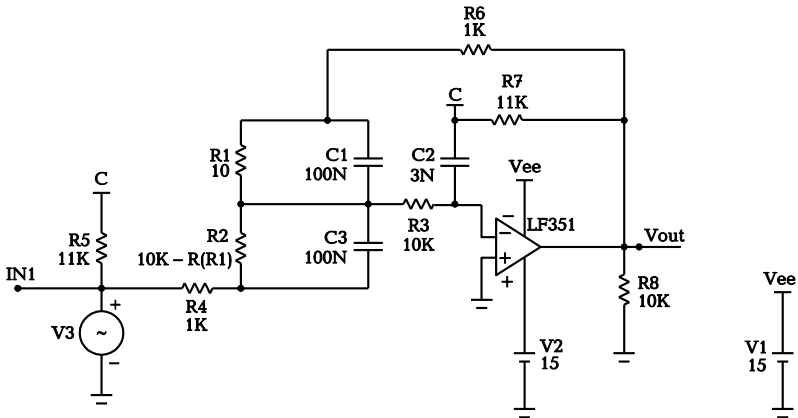
## 10.2. ТЕМБР РЕТТЕГІШ ЖҰМЫСЫН ЗЕРТТЕУ

Теледидарларда түрлі электронды реттегіштер кеңінен қолданылады: жарықтылықты, дауысты, алуан түрлілікті, қанықтықты, төменгі жиілік тембрін, жоғары жиілік тембрін реттегіштер, стереосигнал қабылданған кезде каналдар арасындағы қатынасты өзгертуге арналған реттегіштер, толқынның түрлі диапазонында қабылдайтын каналдарды баптауға арналған реттегіштер. Реттегіштерді басқару микросхема не реттегіш элементтері жұмысы режиміндегі өзгерістен тұрады.

Заманауи теледидарларда барлық баптаулар қашықтықтан жүзеге асырылады.

Көптеген төмен жиілікті сигнал дауысын реттегіштерде операциялық күшейткіштер мен транзисторлық схема базасында аналогты еріткіш реттегіштер қолданылады. Бірқатар реттегіштерде шығыс сигналын дискретті басқару принципін қолданады, мұнда деңгейді орнату дискреттілігі әдетте 10 дБ-ға тең етіліп таңдалады. Бұл мұндай деңгей дискреті музыкалық бағдарламаларды тыңдауға қолайлылығымен негізделеді. Алайда фонограммаларды сапалы түрде қайта жазу үшін сигнал деңгейін кіші диапазонда өзгерту талап етіледі. Бұл қиындықтардан өтудің маңызды жолдарының бірі – электронды қайта қосқыштармен коммутацияланатын код-кернеуді түрлендіргішті қолдану. Алайда бұл жағдайда мұндай тораптық габаритті және құнды көрсеткіштері өтеусіз өседі. Дайындалатын торап баптау жұмыстардың сенімділігі мен еңбексыйымдылығы да маңызды орын алады. Бұл сұрақты шешудің ең қарапайым жолы – микроэлектронды сандық-аналогты түрлендіргіштерді, мысалы 572 сериялы түрлендіргіштерді қолдану. Бұл түрлендіргіштер стандартты ТТЛ- және КМОЖ деңгейлеріне ұқсас төмен тұтынушы қуаттылығына, бір корек көзінен жұмыс істеу мүмкіндігіне ие.

LF351 операциялық күшейткіште тембр реттегіші жұмысын қарастырамыз (10.3-сурет). Реттеу резисторы операциялық күшейткіштің инвертирлеу кірісіне қосылған кіріс тізбегінде тұр, кедергі шамасына қарай шығыста сигнал деңгейі өзгереді.



10.3-сурет. Micro-Cap-да тембр реттегішінің схемасы

Сигнал генераторы ретінде  $F=200$ ,  $A=1$ ,  $RS=1M$  параметрлі синусоидальды тербеліс қолданылады (**Component > Analog Primitives > Waveform Sources > Sine Source**), басқа параметрлер нөлге тең.

$R2$  айнымалы резистор параметрлерінің тапсырмасы: Value=10K- R(R1).

Тізбекті уақытша зерттеуге арналған параметрлер тапсырмасы 10.2-кестеде берілген.

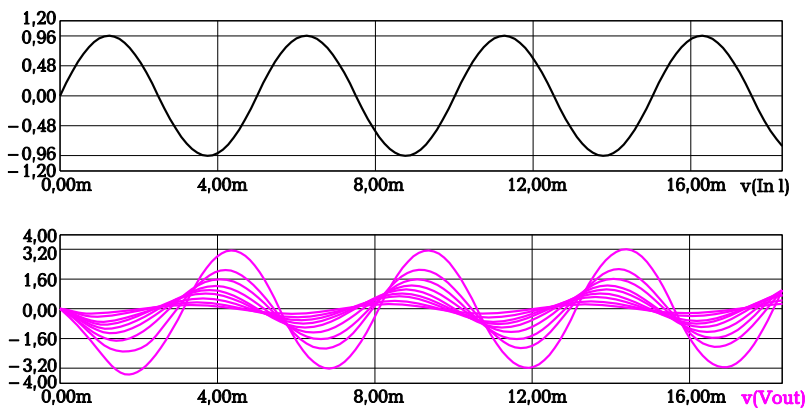
Stepping бөлімінде  $R1$  резистор кедергісін өзгерту диапазонын беру керек: From — 0, To — 9K, Step Value — 1K. Step It тармағында Yes позициясында радионүктені орнатыңыз.

### 1 0.2-кесте

<b>Time Range</b>	0.02	-	-	-
<b>Maximum Time Step</b>	0.1m	-	-	-
<b>Temperature</b>	27	-	-	-
<b>P</b>	<b>X Expression</b>	<b>Y Expression</b>	<b>X Range</b>	<b>Y Range</b>
1	T	v(IN1)	0.02,0,0.0004	1.2,-1.2,0.48
1	T	v(Vout)	0.02,0,0.0004	4,-4,1.6

### 1 0.3-кесте

<b>Frequency Range</b>	20K,20	-	-	-
<b>Temperature</b>	27	-	-	-
<b>Maximum Change</b>	1	-	-	-
<b>Noise Input</b>	IN1	-	-	-
<b>Noise Output</b>	Vout	-	-	-
<b>P</b>	<b>X Expression</b>	<b>Y Expression</b>	<b>X Range</b>	<b>Y Range</b>
1	f	dB(mag(v(Vout)/v(IN1)))	20K,20	30,-30,12

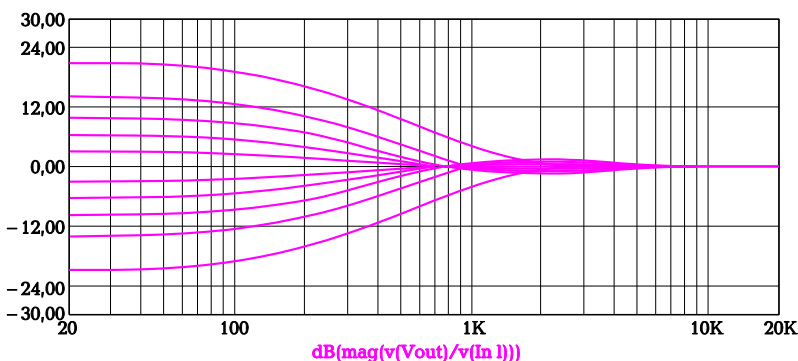


10.4-сурет. Тембр реттегішінің уақытша сигналдары

Жиілік сипаттамаларын зерттеуге арналған параметрлерд тапсырмасы 10.3-кестеде берілген.

Stepping бөлімінде алдыңғы зерттеуге ұқсас  $R1$  резистор кедергісі өзгерісінің диапазонын беру керек.

Беріліс сипаттамасын зерттеуге арналған параметрлер тапсырмасы. Variable (айнымалы) жолында келесі параметрлерді орнатыңыз: Method — Auto, Name V3 (синусоидальды тербеліс көзі), Range 5,-5. X Expression бағанында  $V(\text{IN1})$ ; Y Expression —  $V(\text{Vout})$ ; X Range — 5,-5,2; Y Range — 15,15,6 нүктесін беріңіз. Stepping бөлімінде алдыңғы зерттеулерге ұқсас  $R1$  резистор кедергісі өзгерісінің диапазонын беру керек.



10.5-сурет. Тембр реттегішінің жиілік сипаттамасы

Уақытша сигнал 10.4-суретте берілген. Жиілік сипаттамасы 10.5-суретте берілген.

### 10.3. ЖӘНЕ-ЕМЕС ЭЛЕМЕНТТЕРІНДЕГІ МУЛЬТИДІРІЛДЕТКІШ

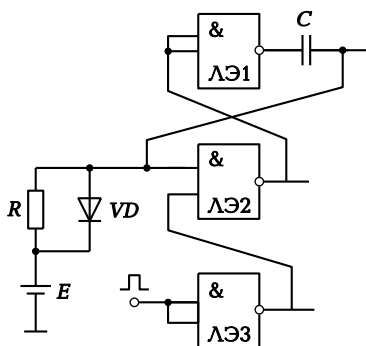
Өзара резисторлы-сыйымдылық байланысымен жалғанған екі күшейткіш каскадтарынан тұратын импульстар генераторын мультидірілдеткіш деп айтамыз. Мультидірілдеткіш дискреттік транзисторларда, операциялық күшейткіштерде және логикалық элементтерде құрыла алады. ЖӘНЕ-ЕМЕС логикалық элементтерінде мультидірілдеткіш жұмыстарын қарастырамыз.

Мультидірілдеткіш күту және автотербеліс режимдерінде жұмыс істей алады.

*Күту мультидірілдеткіші* сыртқы қысқа іске қосу импульсы әсерінен өтетін бір тұрақты қалыпқа ие, ұзақтылығы бойынша импульс қалыптасатын сигнал ұзақтығынан аз.

*Автотербеліс режиміндегі* мультидірілдеткіш берілген ұзақтықта және берілген қайталау жиілігінде импульстардың үздіксіз кезектілігін қалыптастырып, бір қалыптан екіншісіне өздігімен өте алады. Импульс ұзақтылығы мультидірілдеткіш параметрлерімен анықталады.

Созылмалы өспелі кернеулі күту мультидірілдеткіші 10.6-суретте берілген.



Сурет 10.6. ЖӘНЕ-ЕМЕС элементтеріндегі мультидірілдеткіш схемасы

Күту режимінде бір импульстар сыртқы синхросигнал келгеннен кейін қалыптасады. Ұсынылған ЖӘНЕ-ЕМЕС элементтеріндегі схема импульс ұзақтығының тұрақтылығы арқасында кең таралымға ие болды. Диод мультидірілдеткішті қалпына келтіру ұзақтығын азайту үшін қажет.

Импульс болмаған кезде ұяшықты синхрондау дамылдау қалпында болады. Импульс түскен сәтте ұяшықты синхрондау ЛЭ1логикалық элементте RC тізбегімен дифференциалданатын теріс түсіп кетуді қалыптастырып, қарама-қарсы қалыпқа түседі. ЛЭ2 кірісінде дифференциалдау кезінде теріс полярлы созылмлы кернеуді өзгертетін түсіп кету қалыптасады. Қалыптасатын импульстың артқы фронтында логикалық элемент сигналы оң. Дифференциалданатын тізбек арқылы өтіп, оң түсіп кету Е тірек деңгейінен үлкен, диод ашылады. Диод оң импульсты «қияды» да, мультидірілдеткіште қалыпқа келтіру үдерісін арттырады, бұл дамылдау режиміндегі конденсаторда әлеуетті қалпына келтіруден тұрады. Шығыс сигнал  $и_{в\text{ых}1}$  немесе  $и_{в\text{ых}2}$  алынады.

## 10.4. ГИЛЬБЕРТ КӨБЕЙТКІШІ

Аналогты көбейткіштер (АК) екі аналогты шама: ток не кернеуді көбейту операциялары үшін арналған. Солардың негізінде қосарланған жиілікті, балансты модуляторлардың, фазалық детекторлардың, араластырғыштардың, күшейткішті электронды реттейтін күшейткіштің схемалары және көптеген редиотехникалық және электротехникалық схемалар құрыла алады. Автоматты реттеу жүйелерінде олар көбейту және шаршыға айналдыру функцияларын орындай алады, ал операциялық күшейткіштермен бөлу, түбірден шығару және тригонометриялық функцияларды ажырату функцияларын орындайды.

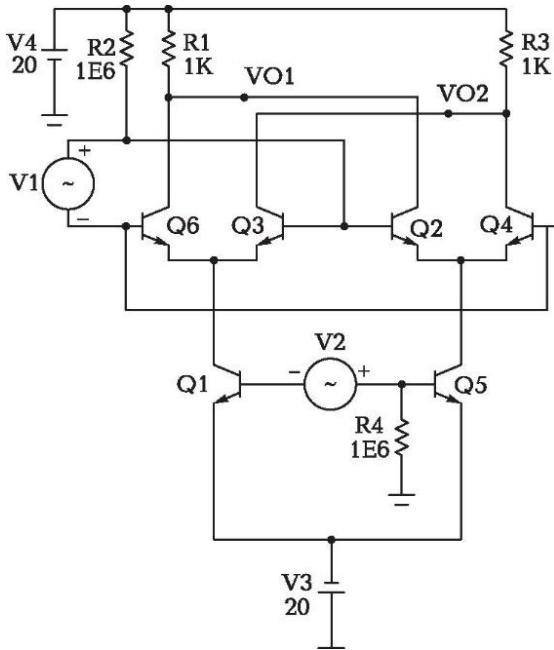
Әмбебап құрылғыларының шығару көлемі бойынша аналогты көбейткіштер операциялық күшейткіштер мен кернеу тұрақтандырғыштарынан кейін үшінші орынды алады. Оларды жетілдіру үнемі жүргізіледі, онда бірнеше мақсат көзделеді: көбейту сызықтылығын арттыру, жиілік қасиеттерін жақсарту, энергия тұтынушылықты азайту, қорек кернеуі өзгермегенде кіріс шамасының диапазонын кеңейту, сондай-ақ негізгі сапалық параметрлерді жоғалтпай төмен вольтты қоректі аналогты көбейткіштерді құру.

Көбейткіштер радиолакторларды кеңіне қолданылады: мақсаттан алынған сигнал тірек сигналымен көбейтіледі. Егер өтпелі құрылғы шығысындағы сигнал өткелден асатын болса, бұл

радардың әрекет аймағында мақсаттын болуын білдіреді. Мақсатты уақытында анықтау қорғалатын аумаққа шабуылды ескерту, азаматтық ауетранспортын басқару ұйымдастыру кезінде сыртқы жағдайларды болдырмау үшін маңызды фактор болып табылады.

Гильберт көбейткіші дифференциалды күшейткіште құрылған. Дифференциалды күшейткіштің негізгі параметрлері болып әр шығыс бойынша күшейткіш коэффициенті; кіріс кедергісі; синфазалы сигналды бәсеңдету коэффициенті табылады.

Синфазалы сигналды бәсеңдету коэффициенті ақаудың қандай деңгейінде дифференциалды күшейткіш кедергі болатын сигналдарды шектеп, әлсіз пайдалы сигналдарды күшейте алатынын көрсетеді. Нақты дифференциалды күшейткіштер интегралды орындалыста 60-тан 80 дБ-ға дейінгі синфазалы сигналдың бәсеңдеу коэффициентіне ие.



Сурет 10.7. Micro-Cap-да Гильберт көбейткішінің схемасы

Micro-Cap бағдарламасындағы Гильберт көбейткішінің схемасы 10.7-суретте берілген. 06 және 03 транзисторлар бір дифференциалды күшейткішті, 02 және 04 екінші дифференциалды күшейткішті білдіреді. Дифференциалды күшейткіш эмиттеріне синусоидалды сигнал беріледі, транзисторлар базасына бақылау жиілігі синусоидалды тербеліс жиілігінен үлкен тікбұрышты импульстың кезектілігі беріледі.

Синусоидалды тербеліс көзі (V2) **Component > Analog Primitives > Waveform Sources > V** командасымен беріледі. Тербеліс көзі параметрлерін. Value=dc 0 ac 1 sin 0 .01 2e5 параметр жолымен беруге болады. DC — тұрақты құрамдас мәні; AC — амплитуда, Transient format — тербеліс түрі (sin), F0 — синусоидалды тербеліс жиілігі. Импульстардың кезектілік көзі (V1) Value=dc 1 pulse 0 10m 0 10n 10n 250n 500n параметрлеріне ие. DC — тұрақты құрамдас мәні; Transient format — тербеліс түрі (pulse); TD — алдыңғы фронттың басталуы; TR — алдыңғы фронттың ұзақтылығы; TF — артқы фронтты ұзақтылығы; PW — импульстың жазық жағының ұзақтылығы; PER — қайталау кезеңі.

Уақытша зерттеу параметрлерін баптаймыз (кесте 10.4).

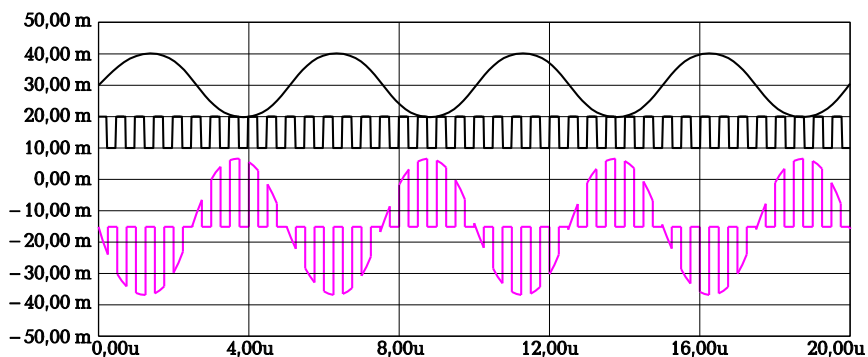
Көбейту нәтижелері берілген график 10.8-суретте көрсетілген. Тікбұрышты импульстардың кезектілігі синусоидалды сигналмен көбейеді, нәтижелі сигнал жойылып бара жатқан синусоидалды сигналды қайталайды және тікбұрышты импульстармен толтырады.

Шығыс нүктелерінде жиілік сипаттамасының графигін құрамыз. **Analysis > AC** мәзіріне кіріңіз. Баптаулар 10.5-кестеде берілген.

1 0.4-кесте

<b>Time Range</b>	20u	-	-	-
<b>Maximum Time Step</b>	0	-	-	-
<b>Temperature</b>	27	-	-	-
<b>P</b>	<b>X Expression</b>	<b>Y Expression</b>	<b>X Range</b>	<b>Y Range</b>
1	T	V(V1)+10M	20u,0,4e-6	.05,-.05,0.01
1	T	V(V2)+30M	10u,0,2e-6	.05,-.05,0.01
1	T	V(VO1,VO2)-15M	10u,0,2e-6	.05,-.05,0.01





10.8-сурет. Сигналдарды көбейту нәтижесі

Таблица 10.5

Frequency Range	1E9,10K	-	-	-
Temperature	27	-	-	-
Maximum Change	1	-	-	-
Noise Input	1	-	-	-
Noise Output	2	-	-	-
P	X Expression	Y Expression	X Range	Y Range
1	f	V(VO2,VO1)	1e+09,10K	15,0,3
1	f	PH(V(VO2,VO1))	1e+09,10K	90,-360,90

Жиілік сипаттамсы логарифмдік масштабта құрылған, жоғары графика үшін нөлдік мәнге 200 МГц кезінде қол жетеді

## 10.5.

### ЭМИТТЕРЛІ-БАЙЛАНЫСТЫ ТРАНЗИСТОРЛЫҚ ЛОГИКАНЫҢ ЛОГИКАЛЫҚ ЭЛЕМЕНТІНІҢ СХЕМАСЫ

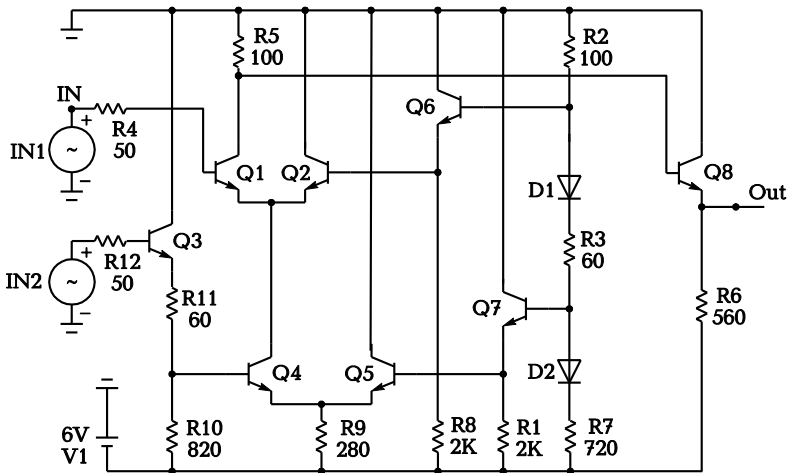
Эмиттерлі-байланысты транзисторлық логика элементінің бір логикалық қалыптан екіншісіне ауысқан кездегі жұмысы 10.9-суретте берілген схемада көрсетілген. Логикалық элемент кірісіне

генератордан сигнал беріледі: бір импульс теріс полярлы, фронты мен түсіп кетуінің ұзақтығы 1 нс-ке тең, екінші импульс кернеу деңгейінің бір логикалық қалыптан екіншісіне 1 нм ұзақтылықта өзгертетінін көрсететін сигнал.

03 транзистордағы каскад схема бойынша ЖК-мен схеманың алдыңғы каскадтарымен сигнал көзінің кедергісін келісу үшін жалғанған. 04 транзисторы схема бойынша жалпы эмиттермен жалғанған, транзистор коллекторынан сигнал дифференциалды күшейткіш эмиттеріне түседі. Бәр мезгілде 01 транзисторының базасына логикалық кернеу өзгерісі түседі, 01 транзисторы коллекторынан сигнал схема бойынша жалпы коллектормен жалғанған 08 транзисторындағы шығыс каскадына түседі. D1, D2 диодтары схема жұмысын термотұрақтандыру үшін қызмет етеді.

Транзистордағы айналымы үдерістер нәтижесіне сигнал схема шығысында біршам тежеледі, бұл транзистор ауысуының паразит сыйымдылығының зарядымен және разрядымен байланысты.

Схемада сигналдың импульсті көзі қолданылады. IN1 сигнал көзі келесідей параметрлерге ие:  $V_{ZERO}=-1.8$ ,  $V_{ONE}=-0.8$ ,  $P_1=1000P$ ,  $P_2=2N$ ,  $P_3=0.005$ ,  $P_4=1$ ,  $P_5=2$ . IN2 сигнал көзі келесідей параметрлерге ие:  $V_{ZERO}=-1.8$ ,  $V_{ONE}=-0.8$ ,  $P_1=5N$ ,  $P_2=6N$ ,  $P_3=11N$ ,  $P_4=12N$ ,  $P_5=20N$ .



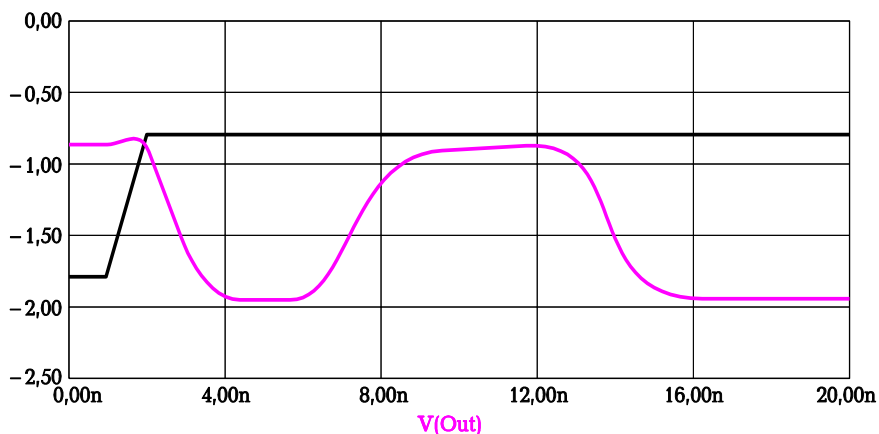
10.9-сурет. Micro-Cap-да эмиттерлі-байланысты транзисторлық логика элементінің схемасы

10.7-кесте

<b>Time Range</b>	20E-9	-	-	-
<b>Maximum Time Step</b>	0	-	-	-
<b>Temperature</b>	27	-	-	-
<b>P</b>	<b>X Expression</b>	<b>Y Expression</b>	<b>X Range</b>	<b>Y Range</b>
1	T	v(IN)	20E-9,0,4e-9	0,-2.5,0.5
1	T	v(Out)	20E-9,0,4e-9	0,-2.5,0.5

10.7-кесте

-	<b>Method</b>	<b>Name</b>	<b>Range</b>	-
<b>Variable1</b>	Auto	IN1	2.5,-2.5,60m	-
<b>Temperature</b>	-	-	-	-
-	<b>Method</b>	<b>Range</b>	-	<b>Maximum Change %</b>
-	Linear	27	-	5
<b>P</b>	<b>X Expression</b>	<b>Y Expression</b>	<b>X Range</b>	<b>Y Range</b>
1	v(IN1)	v(Out)	2.5,-2.5,1	-0.5,-2.5,0.4



Сурет 10.10. логикалық элементтегі уақытша үдерістер графигі

Уақытша сипаттамаларды зерттеу параметрлері 10.6-кестеде берілген.

Логикалық элементтегі уақытша үдерістердің графигі 10.10-суретте берілген.

IN1 сигналдың бірінші көзіне қатысты берілі сипаттамасын құрамыз. Мәзірде Analysis ^ DC таңдаңыз. Беріліс сипаттамасын зерттеу параметрлері 10.7-кестеде берілген.

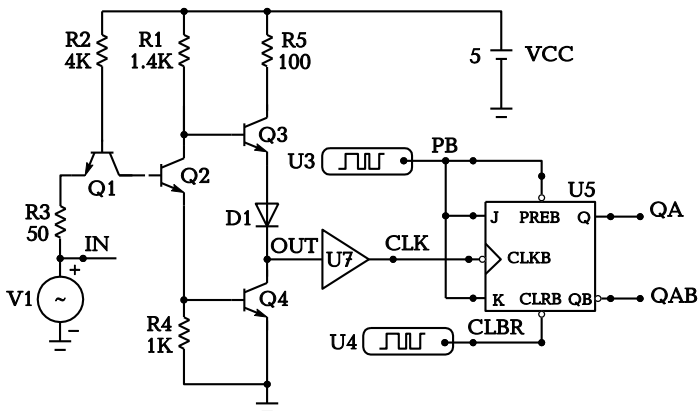
Бір логикалық қалыптан екіншісіне ауысу басталмас бұрын беріліс сипаттамасы бір тұрақты деңгейге ие, ауысым кезінде сызықты теріс бағытқа өзгереді (қайта ауысу кезінде логикалық элементті тұтыну), содан кейін тағы да тұрақты деңгейді иеленеді, бірақ мәні басқаша болады, және соңғы учаске – беріліс коэффициенті сызықты өседі.

## **10.6. АРАЛАС АНАЛОГТЫ-ЦИФРЛЫҚ ҚҰРЫЛҒЫНЫ ҮЛГІЛЕУ**

---

Аралас аналогты-цифрлық құрылғының схемасы 10.11-суретте берілген.

Сигнал тікбұрышты импульстар көзінен схема бойынша ЖБ-ға жалғанған 01 транзисторына түседі. Импульстар амплитудасы транзистор арқылы өткенде 3,5 В-дан 1,5 В-ға дейін азаяды, импульс түсуіні ұзақтылығы артады. 02 транзистор коллекторынан сигнал 03 транзистор базасына түседі, сигнал қорек көзі кернеуінің шамасына тең, максималды амплитудалы дифференциалды испульстар үдерісін білдіреді. Транзистор эмиттеріндегі сигнал базадағы сигналдан аз болады, себебі ЖК схеманың күшейкіш коэффициенті 1-ден аз. 02 транзистор эмиттерінен сигнал 04 транзистор базасына түседі. D1 диодында кернеудің түсуінің арқасында сигнал OUT нүктесінде 03 транзистор эмиттеріндегі сигналға ұқсас түрге ие, оның минималды деңгейі нөлге тең, максималды амплитудасы 3,5 В болады. Дифференциалды испульстардың мұндай кезектілігі буферлік құрылғыға түседі де, одан әрі синхронданған JK триггерінен тұратын сандық бөлікке беріледі. Аналогты бөлікте сигнал триггер үшін синхроимпульстарды кезектілігі болып табылады. J және K кірісіне 20 нс арқылы логикалық бірлік деңгейі беріледі.



10.11-сурет. Micro-Cap-да аралас аналогты-цифрлық құрылғының схемасы

Триггердің тікелей шығысында логикалық бірлік екінші синхроимпульс аяқталғанға дейін 20 нс уақытымен тежелісте болады, бұл триггер моделі параметрінде көрсетіледі, инверстік шығыста сәйкесінше логикалық нөл деңгейі болады.

VI импульстік көзі келесі параметрлерге ие: VZERO=0.1, VONE=3.5, P1=1000P, P2=2N, P3=40N, P4=41N, P5=100N. Транзистор моделі — QN (BF=75); Диод моделі — D.

Сандық U3 сигнал көзі ретінде **Component > Digital Primitives > Stimulus Generators > Stiml** командасымен қосылатын элемент пайдаланылады. Мәтіндік сала элементтері үшін келесі параметрлерді беру керек:

```
.DEFINE
p1 +0NS 0
+ LABEL=START
+ +20NS 1
```

Мәтіндік саладағы сандық сигналдың екінші көзі үшін келесі параметрлерді беру керек:

```
.DEFINE clrbt
+0NS 1
```

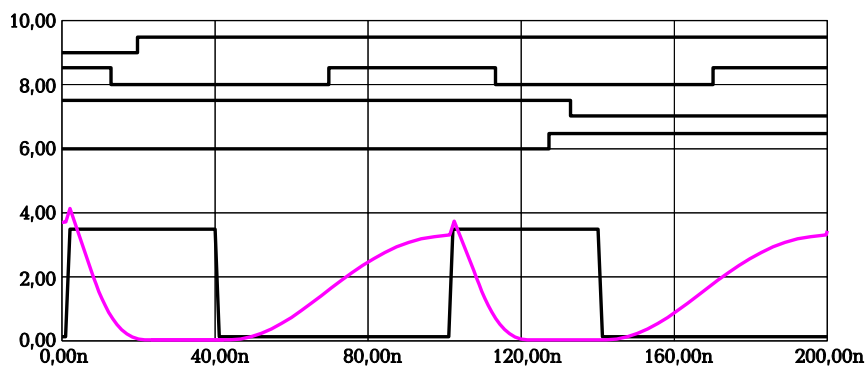
Буферлік құрылғы **Component > Digital Primitives > Standard Gates>Buffers > Buffer** командасымен құрылады, модель — T1 параметрлері: TPLHMN=0, TPLHTY=3N, TPLHMX=3NS, TRPLMN=0, TRPLTY=3.5NS, TRPLMX=3.8NS.

Уақытша сипаттаманы зерттеуді баптау параметрлері 10.8-кестеде берілген.

Time Range	200n	-	-	-
Maximum Time Step	0	-	-	-
Temperature	27	-	-	-
P	X Expression	Y Expression	X Range	Y Range
1	T	D(PB)	200n,0,4e-8	N/A
1	T	D(CLK)	200n,0,4e-8	N/A
1	T	D(QA)	200n,0,4e-8	N/A
1	T	D(QB)	200n,0,4e-8	N/A
1	T	V(IN)	200n,0,4e-8	10,0,2
1	T	V(OUT)	200n,0,4e-8	10,0,2

Аралас аналогты-цифрлық құрылғыдағы уақытша үдерістер графигі 10.12-суретте берілген.

Сигналдың тура шығыс бойынша тежелуі 20 нс-ті құрайды, инверсті шығыс бойынша 15 нс. Тура шығыс бойынша тежелуді азайту үшін JX триггеріне екі рет шертiңiз, TPCLKQHLTY параметрін табыңыз да 10 NS орнатыңыз, ОК басыңыз. Уақытша үдерістер талдауын қосыңыз және құрылғының тіра шығысындағы тежелудің азайғанына көз жеткізіңіз.



10.12-сурет. Аналогты-цифрлық құрылғыдағы уақытша үдерістер графигі

## **10.7. ПОТЕНЦИОМЕТР ҚҰРЫЛҒЫСЫ МЕН ӘРЕКЕТ ПРИНЦИПІ**

---

Электронда потенциометрлер тұрақты токтың электр қозғалтқыш күштерін үздіксіз өлшеуге арналған, жеке жағдайда электронды потенциометр температураны өлшеу үшін пайдаланылады. Температураны өлшеу кезінде потенциометр кірісіне термоэлектрлік түрлендіргіш жалғанады.

Құрал жасау өнеркәсібі электронды потенциометрдің бірнеше түрін шығарады. Ақпаратты беру формасына байланысты потенциометрге келесі шифрлар беріледі:

- **ӨЖПК** — өздігінен жазатын потенциометрлік компенсатор;
- **КПК** — көрсеткіш потенциометрлік компенсатор;
- **АПК** — айналмалы шкаласы бар потенциометрлік көрсеткіш компенсатор.

Сонымен бірге потенциометрлер миниатюрлі (КПК, **ӨЖПК-1**, АПК1), шағын габаритті (**ӨЖПК-2**), қалыпты (дискілі диаграммалы **ӨЖПК-3**), ұлғайтылған габаритті (**ӨЖПК-4**) болып бөлінеді.

Барлық аталған потенциометрлер өлшеу функциясынан басқа бірқатар функцияларды орындай алады, олардың қатарына мыналар жатады:

- Қандай да бір берілген мәнге жеткені туралы сигнализация (макс. — мин. — қалыпты);
- Тапсырма бойынша параметрді реттеу;
- **МӨҚЖ**-мен (мемлекеттік өнеркәсіптік құралдар мен автоматизация құралдарының жүйесі) байланыс үшін сигналды түрлендіру. Бұл үшін құралдарға **МӨҚЖ**-ның түрлі тармақтарымен байланыс орнатуға арналған сәйкестірілген сигналдарды шығыста алу мақсатында орнатылған өлшеу түрлендіргіштері пайдаланылады.

Шығыс сигналының түріне қарай түрлендіргіштерді пневматикалық, жиілік, ток және кернеу түрлендіргіштері деп бөледі.

Өлшеу құралы ретінде потенциометр жұмысы өлшеудің нөлдік (компенсациялық) әдісіне негізделген. Өлшеудің компенсациялық әдісі өлшенетін мәні анықтала алатын **ЭҚЖ** кернеу түсуімен теңестіруге негізделген.

Компенсациялық әдістің негізгі артықшылығы термо**ЭҚЖ** мәні термоэлектрлік термометр тізбегінің кедергісіне байланысты болмайтындығында.

Термо**ЭҚЖ** өлшеудің компенсациялық әдісін тиімді қолдану үшін құрамында қалыпты элементі болатын тұрақты ток күші бар потенциометр пайдаланылады.

Қалыпты элемент — жоғары нақтылықты (1,0186 В) тұрақты ЭҚЖ-нің электрохимиялық көзі. Қалыпты элементтің қуаттылығы аз болатындықтан, оны қорек көзі ретінде пайдалануға болмайды; оны ЭҚЖ эталоны (өлшем) ретінде пайдаланады.

Тұрақты жұмыс тогының күші бар потенциометрлер термоЭҚЖ (құралдардың нақтылық класы 0,05) өлшеу нақтылығын арттырады. Алайда онымен жұмыс кезінде термоэлектрлік термометр салқын түсуі температурасының тұрақсыздығынан туындаған ақаулар орын алуы мүмкін. Сондықтан өндірісте мұндай потенциометрлерді сирек қолданады.

Автоматты потенциометрлер кеңінен қолданыс тапқан. Олардың атауы айтып тұрғандай, автоматты потенциометрлер термоЭҚЖ-ні адамның қатысуынсыз өлшеуге арналған. Автоматты потенциометрлер қосымша функциялардан басқа өлшеу нәтижесін термобудың салқын түсу температурасына түзету функциясын да атқарады.

Потенциометрлер стандартты әдістердің пайдаланылуымен сынақтан өтеді (МемСТ 22261—94, МемСТ 8.478—82, МемСТ 9245 — 79). Дербес қосалқы бөлшектермен жұмысқа арналған потенциометрлер солармен бірге сыналады. Негізгі ақауды анықтау МемСТ 8.478—82 бойынша жүргізіледі.

Автономды тексерісті және құрылымды потенциометрлер тексеріс кезінде (рұқсат етілетін негізгі ақаудың шегінен асқан жағдайда) қайта құрылып тексерілуі керек. Потенциометрдің қосымша ақауын жұмыс жағдайында әр әсер ететін шама үшін жеке анықтау керек. Әр сынақ кезінде әсер етуші шамалар қолданыстың қалыпты жағдайына сәйкес мәнге ие болуы керек.

Егер әсер ететін шама үшін қалыпты мән көрсетілсе, онда оны осы мән мен әсер ету шамасының жұмыс аймағы шегі арасында өзгерту керек болады. Егер әсер ету шамасы үшін қалыпты диапазон көрсетілсе, онда жұмыс аумағы оны толықтай қамтуы және тым болмаса бір бағытта оның шегінен шығуы керек. Әсер етуші шама қалыпты диапазонның әр шегі мен қалыпты диапазонның таңдалған шегіне көрші жұмыс аумағыны кез келген мәні арасында өзгеріп отыруы керек.

Потенциометрді қоршаған ауа температурасының өзгерісінен туындаған қосымша ақауды анықтау кезінде сынауды келесі кезектілікте орындаған дұрыс:

- МемСТ 8.478-82 бойынша қолданысты қалыпты жағдайындағы потенциометрдің негізгі ақауын анықтайды. Негізгі ақауды анықтау нәтижесін пайдалануға рұқсат етіледі;
- Кестеге сай қоршаған ауа температурасын жұмыс диапазоны температурасыны жоғарғы (төменгі) мәніне дейін жоғарылатады (төмендетеді) және жұмыс режимін орнату уақыты аяқталғаннан



соң ақауды анықтайды. Потенциометрді жоғары (төменгі) температурада ұстап тұру уақыты МемСТ 22261-94 бойынша белгіленеді.

- Температураның жоғарғы (төменгі) мәнінен қоршаған орта температурасының шекті ауытқуы тексерілетін потенциометрді қолданудың қалыпты жағдайы үшін температураның шекті ауытқуына сәйкес келуі керек, бірақ ол  $\pm 3^{\circ}\text{C}$ -дан аспауы қажет;
- Қоршаған орта температурасының қалыптыдан жоғарғы және төменгі мәнге дейінгі өзгерісіне байланысты потенциометр ақауының өзгерісін анықтайды.

Егер ақау өзгерісі 10.9-кестеде көрсетілген мәннен аспаса, потенциометрлер сынақтан өтті деп есептеледі.

10.9-кесте

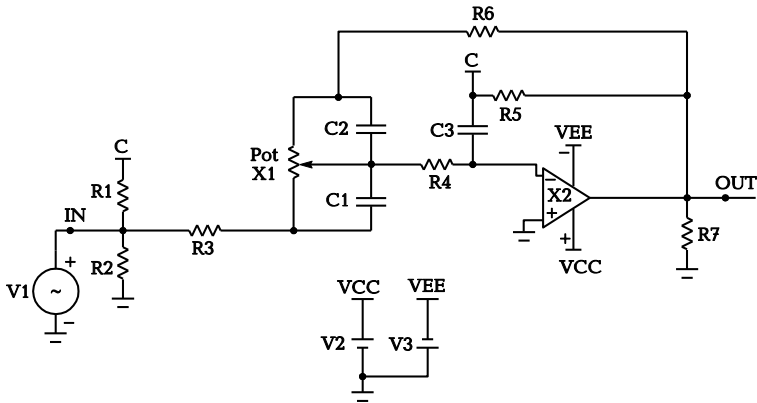
Шама	Жұмыс аумағы шегі	Қосымша ақаудың рұқсат етілетін мәнінің шегі, негізгі ақаудың рұқсат етілетін мәнінің шектік %-ы
Қоршаған орта температурасы	0,0001 ден 0,001 дейінгі нақтылық класы үшін қалыпты мән $\pm 2^{\circ}\text{C}$	20
	0,002 ден 0,01 дейінгі нақтылық класы үшін қалыпты мән $\pm 5^{\circ}\text{C}$	50
	0,02 ден 0,1 дейінгі нақтылық класы үшін қалыпты мән $\pm 10^{\circ}\text{C}$	100
Салыстырмалы ылғалдылық	25 тен 80 %-ға дейін	—
Атмосфералық қысым	84... 106,7 кПа (630... 800 мм рт. ст.)	
Тұрақты токтың жалпы түрінің кернеуі	$\pm 10\text{ В}$	50

Шама	Жұмыс аумағы шегі	Қосымша ақаудың рұқсат етілетін мәнінің шегі, негізгі ақаудың рұқсат етілетін мәнінің шектік %-ы
Жұмыс тогымен қоректендірудің қосымша көзінің кернеуі(бар болса)	Қалыпты мән $\pm 10\%$	50
Жұмыс тогымен қосымша қоректендіру көзінің жиілігі (егер бар болса)	Қалыпты мән $\pm 5\%$	
Қосымша қоректендіру көзінің ауытқу коэффициенті (егер бар болса) үлкен емес	10%	50
Сыртқы магнит өрісі	Тұтынушымен келісіліп потенциометрдің нақты типіне техникалық жағдайда орнатылатын нөлден жоғарыға дейінгі мән	50

MicroCap бағдарламасында потенциометрдің макромоделін қарастырамыз. Модель схемасы 10.13-суретте берілген.

Резистор номиналдарының мәні:  $R_1, R_5=11k$ ;  $R_2=1e8$ ;  $R_3, R_6=1k$ ;  $R_4, R_7=10k$ ; тұрақты ток қоректендіру көзінің кернеуі  $V_{CC}, V_{EE}=15$ ; конденсаторлар номиналы:  $C_1, C_2=100п$ ;  $C_3=3п$ .

Қоректендіру көздері операциялық күшейткішпен коннекторлар көмегімен байланысқан, коннекторлар Component ^ Analog Primitives ^ Connectors ^ Tie командасымен беріледі. Коннектор мәнінде аты жазылады, мысалы жоғарғы көз үшін VEE. C аты аналогты коннектор R1 және R5 резисторларының қосылыс нүктелері үшін пайдаланылады. Қосылысты Wire сыммен жүргізуге болады, бірақ бұл кезде қосымша қосылыс нүктелері пайда болмауы керек.



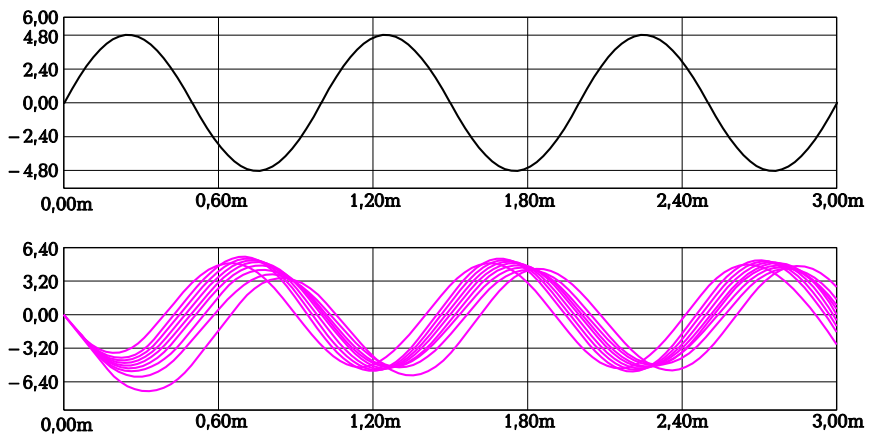
10.13-сурет. Micro-Cap бағдарламасындағы потенциометр макромоделінің схемасы

Айнымалы резистор **Component > Analog Primitives > Macros > > Pot** командасымен қосылады және мына параметрлерге ие: POTSIZE=10k, PERCENT=50.

Операциялық күшейткіш моделі LF351. Сигнал көзінің параметрлері: A=5, F=1K, RS=1M, қалған параметрлер 0-ге тең.

Уақытша сипаттама зерттеуінің баптаулары 10.10-кестеде берілген.

Step What жолында Stepping тарауын баптаңыз да X1.R1, From — 1K, To — 9K, Step Value — 1K, Step It — Yes, Method — Linear таңдаңыз.



10.14-сурет. Потенциометр схемасының уақытша үдерістер графигі

## 10.10-кесте

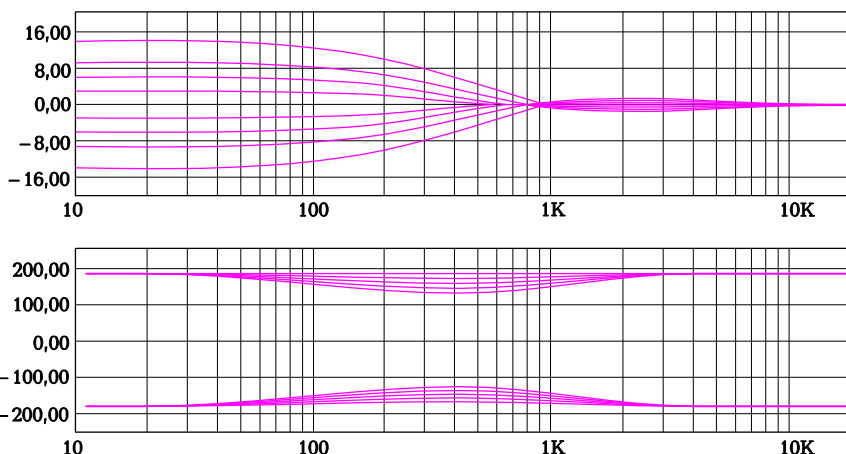
<b>Time Range</b>	3M	-	-	-
<b>Maximum Time Step</b>	0	-	-	-
<b>Temperature</b>	27	-	-	-
<b>P</b>	<b>X Expression</b>	<b>Y Expression</b>	<b>X Range</b>	<b>Y Range</b>
1	T	v(IN)	0.003,0,0.0006	6,-6,2,4
2	T	v(Out)	0.003,0,0.0006	7,-9,3,2

## 10.11-кесте

<b>Frequency Range</b>	100K,10	-	-	-
<b>Temperature</b>	27	-	-	-
<b>Maximum Change</b>	1	-	-	-
<b>Noise Input</b>	NONE	-	-	-
<b>Noise</b>	2	-	-	-
<b>Output</b>				
<b>P</b>	<b>X Expression</b>	<b>Y Expression</b>	<b>X Range</b>	<b>Y Range</b>
1	f	db(v(OUT))	100000,10	20,-20,8
1	f	PH(V(OUT))	100000,10	250,-250,100

## 10.12-кесте

-	Method	Name	Range	-
<b>Variable1</b>	Auto	V1	10,0,0.5	-
<b>Temperature</b>	-	-	-	-
-	Method	Range	-	Maximum Change %
-	Linear	27	-	5
<b>P</b>	<b>X Expression</b>	<b>Y Expression</b>	<b>X Range</b>	<b>Y Range</b>
1	V(1)	v(OUT)	11,0,2,2	0,-55,11



10.15-сурет. Потенциометрдің жиілік сипаттамасының үйірі

OK басыңыз, одан кейін Run (F2) басыңыз. Нәтижесінде 10.14-суретте берілген уақытша зерттеу графигі алынуы керек.

Жиілік және фазалық сипатты зерттеу баптаулары 10.11-кестеде берілген.

Stepping бөлімінің бапталуы уақытша зерттеу баптауларына ұқсас.

Жиілік сипаттамасы 10.15-суретте берілген.

Беріліс сипаттамасын Analysis ^ DC құрамыз, X өсінде кіріс сигнал мәні шегеріледі, Y өсінде шығыс сигнал мәні шегеріледі, беріліс сипаттамасының баптаулары 10.12-кестеде берілген.

Stepping тарауында алдындағы мысалдағыдай потенциометр номиналының өзгерісі беріледі. Резисторының кедергісі көп болған сайын теріс кері байланыс тереңдігі соншалықты аз, шығысқа кіріс сигналын беру коэффициенті соншалықты көп.

## 10.8. СЫЗЫҚТЫ ӨЗГЕРІСТІ КЕРНЕУ ГЕНЕРАТОРЫ

Фронты уақытпен сызықты өзгеретін учаскеден тұратын импульстар сызықты өзгеретін кернеу деп (СӨК) аталады. Сызықты өзгеретін кернеуді көбінесе ара тәріздес деп немесе орам кернеуі деп атайды, себебі оның басты қолданысы электронды сәулелік түтікшедегі сәулені сызықты уақытша орау болып табылады.

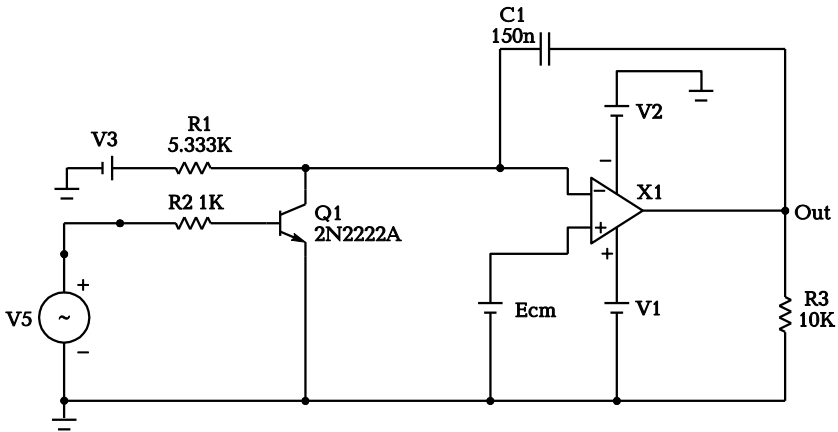
СӨК негізгі параметрлері болып кернеудің бастапқы деңгейі,

амплитуда (күлаш), тікелей қадам ұзақтығы, тікелей қадам аралығындағы СӨК өзгеру жылдамдығы, СӨК өзгерісінің бастапқы жылдамдығы, сызықтық емес коэффициенті табылады.

СӨК қалыптасу тәсілдері кірісінде тұрақты кернеу әсер ететін аналогты біріктіргішті қолдануға негізделген. Бұл кезде біріктіруші конденсаторды зарядтайтын ток тұрақтылығы қамтамасыз етіледі.

Теріс кері байланыс сыйымдылықты СӨК генераторы жұмысын қарастырамыз. MicroCap бағдарламасында СӨК генераторының схемасы 10.16-суретте берілген.

Шығыс қалыпта транзистордағы кілт жабыз, ОҚ инверттейтін кірісіндегі кернеу нөлге тең. Берілетін және инверттелмейтін кіріс  $E_{GN}$  орын ауыстыруы кернеу есебінен шектеу режимінде болады. Кілтті ағытқан кезде конденсатор  $t = RC$  тұрақты уақытпен зарядтала бастайды. ОҚ екі кірісіндегі кернеу теңескенде, ОҚ күшейту режиміне көшеді. Бұл кезде  $(E - E_{GN})/R$  қатынасымен анықталатын конденсатор заряды тогының тұрақталуы қамтамасыз етіледі. Тікелей қадам қалыптасуының тежелуі төмендегі формула бойынша табыла алады:



10.16.-сурет Micro-Cap-да сызықты өзгертін кернеу генераторының схемасы

$$t_{\text{зад}} = RC \ln\left(\frac{E}{E - E_{\text{см}}}\right) \approx RC \frac{E_{\text{см}}}{E}$$

Схема элементтерінің параметрлерін келесі деректерге қарап есептейміз: СӨК ұзындығы  $\tau_u = 0,5$  мс; қорек кернеуі  $E = 10$  В; конденсатор сыйымдылығы:  $0,15$  мкФ; кіріс тогы  $I_{\text{вх}} = 10$  мА; орын ауыстыру кернеуі  $E_{\text{см}} = 0,4$  В; ОҚ күшейткіш коэффициенті  $K_{oy} = 10^5$ .

Кедергіні анықтаймыз

$$R_1 = \frac{(E - E_{\text{см}})\tau_u}{U_m C} = \frac{(10 - 0,4) * 0,5 * 10^{-3}}{6 * 0,15 * 10^{-6}} = 5,333 \text{ Ом}$$

Тікелей қадам тежелуі уақытын анықтаймыз

$$\tau_{\text{зад}} \approx R_1 C \frac{E_{\text{см}}}{E} \approx 5333 * 0,15 * 10^{-6} \frac{0,4}{10} \approx 32 * 10^{-6} \approx 32 \text{ мкс}$$

СӨК кері қадам уақытын анықтаймыз

$$t_{\text{ох}} = \frac{(U_m + E_{\text{см}}) * C}{I_{\text{вх}}} = \frac{(6 + 0,4) * 0,15 * 10^{-6}}{10 * 10^{-3}} = 96 * 10^{-6} = 96 \text{ мкс}$$

Сызықты емес коэффициентін анықтаймыз:

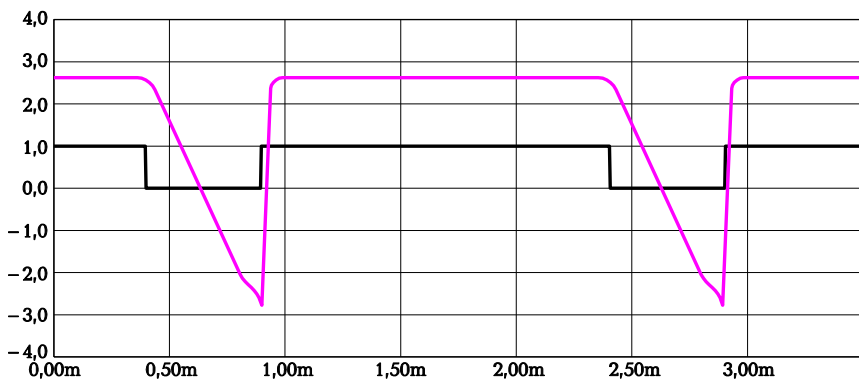
$$\xi = \frac{\tau_u}{\tau_{\text{эКВ}}} * 100 = \frac{\tau_u}{K_{oy} R_1 C} * 100 = \frac{0,5 * 10^{-3} * 100}{10^{-5} * 5333 * 0,15 * 10^{-6}} = 0,00063\%$$

Қорек көзі параметрлері V1, V2, V3 — 10 В, модель ОУ LF347, транзистор моделі 2N2222A,  $R_1 = 5,333$  кОм,  $C_1 = 150$ п (0,15 мкФ),  $R_2 = 1$  кОм,  $R_3 = 10$  кОм,  $E_{\text{см}} = 0,4$  В. Импульсті қорек көзі параметрлері: VZERO=1, VONE=0, P1 =P2=400, P3=P4=900и P5=2000U.

Айнымалы үдерістерді зерттеу параметрлері: Time Range — 3500U, Temperature — 27. Зерттелетін ток параметрлері 10.13-кестеде берілген.

10.13-кесте

P	X Expression	Y Expression	X Range	Y Range
1	T	V(IN)	0.0035,0,0.00025	1.25,0,0.25
1	T	v(Out)	0.0035,0,0.00025	4,-4,1



10.17-сурет. Сызықты өзгерісті кернеу графигі

Айнымалы үдерістерді қарау режимінде тікелей қадамның тежелу шамасы мен керу қадам уақытын анықтау үшін Horizontal Tag Mode аралықтың уақытша өлшем құралын пайдаланыңыз. Тежелу уақыты 31 мкс құрайды, ал кері қадам уақыты — 45 мкс, сигнал амплитудасы (құлашы) — 5,23 В.

СӨК графигі «араға» ұқсас және 10.17-суретте берілген.

## **БАҚЫЛАУ СҰРАҚТАРЫ**

1. LM117 кернеу реттегіші жұмысының принципін түсіндіріңіз.
2. Пульсацияны азайту үшін реттегіш схемасында қандай элементті қолданады?
3. Тембр реттегішін қайда қолданады?
4. Мультидірілдеткіш деген не?
5. LF351 операциялық күшейткіштегі реттегіш жұмысының принципін түсіндіріңіз.
6. Көбейткіштерді негізінде қандай схема құрылады?
7. Радиолокациялық қабылдағышта қандай сигналдар түрленеді?
8. Дифференциалды күшейткіштің қандай негізгі параметрлері болады?
9. Ж-триггер шығысы бойынша тежелуін қалай өзгертуге болады?
10. Потенциометр не үшін керек?
11. Өлшеу құралы ретіндегі потенциометр жұмысы қандай әдіске негізделген?
12. СӨКГ деген не?



1. *Амелина М. А.* Программа схемотехнического моделирования MicroCap 8 / М. А. Амелина, С. А. Амелин. — М. : Горячая линия-Телеком, 2007.
2. *Баскаков С. И.* Радиотехнические цепи и сигналы / С. И. Баскаков. — М. : Высш. шк., 1988.
3. *Гуртовник А. Г.* Электровакуумные приборы и основы их конструирования / А. Г. Гуртовник, Е. Г. Точинский, Ф. М. Яблонский. — М. : Энергоато- миздат, 1988.
4. *Калабеков Б. А.* Цифровые устройства и микропроцессорные системы / Б. А. Калабеков. — М. : Горячая линия-Телеком, 2003.
5. *Калашиников В. И.* Электроника и микропроцессорная техника / В. И. Калашиников, С. В. Нефедов ; под ред. Г. Г. Раннева. — М. : «Академия» баспа орталығы, 2012.
6. *Кацман Ю. А.* Электронные лампы / Ю. А. Кацман. — М. : Высш. шк., 1979.
7. *Кузин А. В.* Микропроцессорная техника / А. В. Кузин, М. А. Жаворонков. — М. : «Академия» баспа орталығы, 2013.
8. *Медведев Б. Л.* Практическое пособие по цифровой схемотехнике / Б. Л. Медведев, Л. Г. Пирогов. — М. : Мир, 2007.
9. Схемотехника линейных усилителей. Методические указания / құр. Е. И. Шкелев. — Н. Новгород : ННГУ баспасы, 1991.
10. *Тимонтеев В. Н.* Аналоговые перемножители сигналов в радиоэлектронной аппаратуре / В. Н. Тимонтеев, Л. М. Величко, В. А. Ткаченко. — М. : Радио и связь, 2009.
11. *Шац С. Я.* Элементы теории операционных усилителей. Ч. 2 / С. Я. Шац, В. Ф. Ламекин, А. Н. Майборода // Зарубежная радиоэлектроника. — 2008. — № 2.
12. ГОСТ 9245 — 79. Потенциометры постоянного тока измерительные. Общие технические условия.
13. ОСТ 11336.919 — 81. Система обозначения отечественных транзисторов.

Кіріспе .....	4
---------------	---

## I бөлім

### ЭЛЕКТРОНИКАНЫҢ НЕГІЗГІ ЭЛЕМЕНТТЕРІ

<b>1-тарау. Электроника элементтерінің мақсаты мен жіктелімі.....</b>	<b>8</b>
1.1. Радиотолқынның таралуы және ақпаратты жеткізу.....	8
1.2. Талшықты-оптикалық байланыс желісі.....	12
1.3. Электроника элементтерінің жіктелімі.....	16
1.4. Пассивті Элементтер.....	16
1.5. Дiodтар .....	29
1.6. Транзисторлардың Параметрлері Мен Сипаттамалары .....	32
1.7. ЖАРТЫЛАЙ өткізгішті фотоэлектронды құралдар .....	36
1.8. Электровакуум Құралдар.....	39
1.9. ГАЗРАЗЯДТЫ құралдар.....	43
1.10. Интегралдық микросхемалар.....	43
1.11. Үлкен ИС жобалау ерекшеліктері .....	49
1.12. ИС белгілеу жүйесі .....	50
1.13. Функционалды ИС .....	51
<b>2-тарау. Схемаларды үлгілеу үшін MICRO-CAP бағдарламасын пайдалану.....</b>	<b>53</b>
2.1. Схемаларды MICRO-CAP-да үлгілеу.....	53
2.2. ЖЭ схемасы бойынша транзистордағы күшейткіш схемасы .....	61
2.3. ЖБ және ЖК схемасы бойынша транзистордағы күшейткіш схемасы .....	64
2.4. қуатты күшейткіштер.....	65
2.5. Транзистордағы шуды зерттеу үлгісі.....	66
2.6. Тиристорды сынау үлгісі .....	69
2.7. Операциялық Күшейткіштер.....	71
2.8. Сүзгілер, жіктелімі және қолданылуы .....	77
2.9. ОҚ-дағы белсенді жолақты сүзгі .....	79

## II бөлім

### ЦИФРЛЫҚ СХЕМАТЕХНИКАНЫҢ НЕГІЗДЕРІ

<b>3-тарау. Логикалық функциялардың аппаратты іске асырылуы .....</b>	<b>86</b>
3.1. Логика алгебрасының заңдары.....	86
3.2. Логикалық функцияларды барынша азайту.....	90
<b>4-тарау. Құрылғылар жұмысының физикалық негіздері.....</b>	<b>99</b>

4.1.	Кілтті режимдегі транзистор жұмысын зерттеу .....	99
4.2.	Сигналды дискреттеу .....	103
4.3.	Сұрыптау және сақтау құрылғылары .....	107
4.4.	Триггерлер .....	109
<b>5-тарау. Цифрлық құрылғылар.....</b>		<b>116</b>
5.1.	Дешифраторлар .....	116
5.2.	Шифраторлар .....	116
5.3.	Регистрлер Мен Есептеуіштер.....	121
<b>6-тарау. Жартылай өткізгішті жадта сақтау құрылғылары .....</b>		<b>128</b>
6.1.	Жартылай өткізгішті жадта сақтау құрылғылардың жалпы сипаттамалары .....	128
6.2.	Оперативті Жадта Сақтау Құрылғылары.....	129
6.3.	Тұрақты жадта сақтау құрылғылары .....	132
6.4.	Қайта бағдарламаланатын тұрақты жадта сақтау құрылғылары .....	133

### III бөлім

#### **ЦИФРЛЫҚ-АНАЛОГТЫ ЖӘНЕ АНАЛОГТЫ-ЦИФРЛЫҚ ТҮРЛЕНДІРГІШТЕР. ЭЛЕКТРОНИКАДА СХЕМАСЫН ҚОЛДАНУ**

<b>7-тарау. Цифрлық-аналогты түрлендіргіштер (ЦАТ).....</b>		<b>136</b>
7.1.	ЦАТ типтері .....	136
7.2.	ЦАТ тізбектерін схемада іске асыру .....	137
7.3.	$r - 2r$ матрицалы және ток генераторлы ЦАТ.....	138
7.4.	Жалпы базалы схема бойынша транзистордағы ЦАТ .....	140
7.5.	ЦАТ ауытқуын талдау .....	141
7.6.	ЦАТ интерфейстері .....	142
7.7.	МАХІМ фирмасының ЦАТ.....	144
<b>8-тарау. Аналогты-цифрлық түрлендіргіштер (АЦТ) .....</b>		<b>149</b>
8.1.	АЦТ типтері .....	149
8.2.	Сатылы мерзімдес кернеулі кезекті АЦТ.....	150
8.3.	Кезекті жуықтау АЦТ .....	153
8.4.	Кезекті жуықтау АЦТ-ның практикалық схемасы .....	155
8.5.	Параллель АЦТ .....	156
8.6.	Қосарланған біріктіруші АЦТ .....	158
8.7.	Дрейфтік кернеу мен тоқтың әсерін толтыру тізбегі.....	160
8.8.	К572ПВ2 АЦТ қолданылуы .....	161
8.9.	Ақпаратты жинау және өңдеу тақтасы — К572ПВ4 микросхемасы.....	162
8.10.	МАХ195 АЦТ .....	163

<b>9-тарау. MICRO-CAP-да ЦАТ-ты үлгілеу.....</b>	<b>166</b>
9.1. $r$ — $2r$ матрицалы және қосарлы кернеулі ЦАТ.....	166
9.2. $r$ — $2r$ матрицалы және тоқты қосындылайтын ЦАТ .....	171
<b>10-тарау. Түрлі қолданыстағы схемаларды MICRO-CAP-да үлгілеу ....</b>	<b>175</b>
10.1. Кернеу реттегіші .....	175
10.2. Тембр Реттегіші Жұмысын Зерттеу .....	177
10.3. ЖӨНЕ-ЕМЕС элементтеріндегі мультидірілдеткіш .....	181
10.4. Гильберт көбейткіші .....	182
10.5. Эмиттерлі байланысты транзисторлық логиканың логикалық	
10.6. элементінің схемасы .....	185
10.7. Аралас аналогты-цифрлық құрылғыны үлгілеу .....	188
10.8. Потенциометр құрылғысы мен әрекет принципі .....	191
10.9. Сызықты өзгеретін кернеу генераторы .....	197
Әдебиеттер Тізімі .....	201

*оқу құралы*

Богомолов Сергей Александрович

## Электроника және сандық схемотехника негіздері

оқулық

3-басылым, стереотипті

Редакторы *Е. Н. Соколова, О.М.Амандықов*

Техникалық редакторы *Н.Л. Ананьева*

Компьютерлік беттеу: *Р.Ю. Волкова*

Корректоры *И. А. Ермакова*

Басылым № 103116771. Басуға қол қойылды 19.04.2016. Формат 60 x 90/16.  
Гарнитура «Балтика». Офсеттік қағаз. Офсетті баспа. Шарты баспа табақ. 13,0.  
Таралым 1 000 дана. Тапсырыс №

«Академия» баспа орталығы» ААҚ., [www.academia-moscow.ru](http://www.academia-moscow.ru) 129085, Мәскеу, Мира  
даңғылы, 101В., 1.  
Тел./факс: (495) 648-0507, 616-00-29.

Санитарлық –эпидемиологиялық қорытынды № РОСС RU. АЕ51. Н 16679 от 25.05.2015. баспаның  
электронды тасымалдағышынан басылды.

«Тверь полиграфия комбинаты» ААҚОАО 170024, г. Тверь, Ленин даңғ., 5. Телефон: (4822) 44-52-03, 44-  
50-34. Телефон/факс: (4822) 44-42-15.

Home page — [www.tverpk.ru](http://www.tverpk.ru) Электронды пошта (E-mail) — [sales@tverpk.ru](mailto:sales@tverpk.ru)