

Лекция №14

Тема: Аналогты-сандық және сандық-аналогты түрлендіргіштер

План

1. Аналогты және сандық сигналдардың айырмашылығы
2. Аналогты-сандық түрлендіргіштердің (АСТ) жұмыс принципі
3. Сандық-аналогты түрлендіргіштердің (САТ) жұмыс принципі және қолданылуы

Лекция мазмұны

Кіріспе

Қазіргі цифрлық техникада ақпарат **аналогтық** (үздіксіз) және **сандық** (дискретті) түрде кездеседі. Компьютерлер тек сандық сигналдармен жұмыс істей алады. Сондықтан сыртқы әлеммен байланыс үшін арнайы түрлендіргіштер қажет:

- **Аналогты-сандық түрлендіргіш (АСТ, ADC – Analog-to-Digital Converter)** – үздіксіз сигналды дискретті сандық кодқа айналдырады.
- **Сандық-аналогты түрлендіргіш (САТ, DAC – Digital-to-Analog Converter)** – дискретті сандық кодты үздіксіз аналогтық сигналға айналдырады.

ЦИФРЛЫҚ-АНАЛОГТЫ ТҮРЛЕНДІРГІШТЕР (ЦАТ)

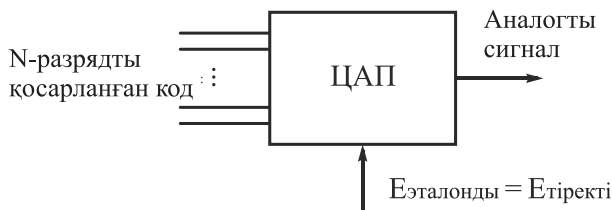
7.1. ЦАТ ТИПТЕРІ

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;



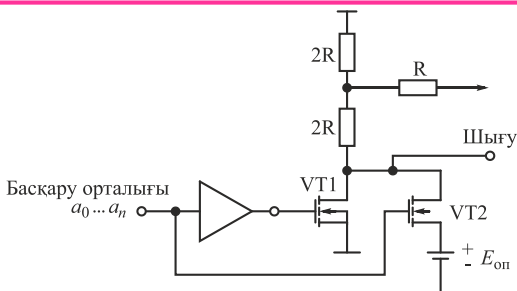
7.1-сурет. Цифрлық сигналды аналогты сигналға түрлендіру

- 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 схемалық 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.

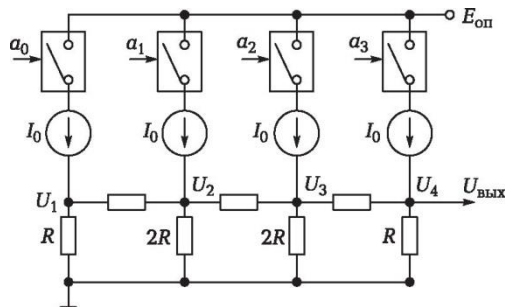
ЦАТ R — $2R$ матрицасына ие. Оның ерекшелігі шеткі резисторлары ток қосылған матрицадағыдай $2R$ номиналды емес, R номиналдарына ие. Матрица тораптарында ток генераторлары (ТГ) қосылған. қоректік кернеу өзгерген кезде ТГ өзінің шығыс тогы мәнін өзгертпейді. ТГ $a_0... a_3$ разрядтарымен басқарылатын 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:

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



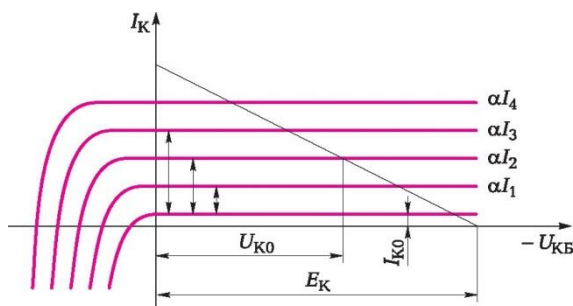
7.3-сурет. Ток генераторлы ЦАТ схемасы

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 1э тогы жүрсе, коллектордан aI_0 ($a = 0,99$) тогы өтеді. Эмиттер тізбегінде ток өзгергенде коллектор тізбегіндегі ток та өзгереді. ЕК-дан ток I_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. и_{кб} кернеуін өзгерткенде, I_0 ток өзгермейді. Реттік коллектор тізбегінің ішкі кедергісі 2МОм.

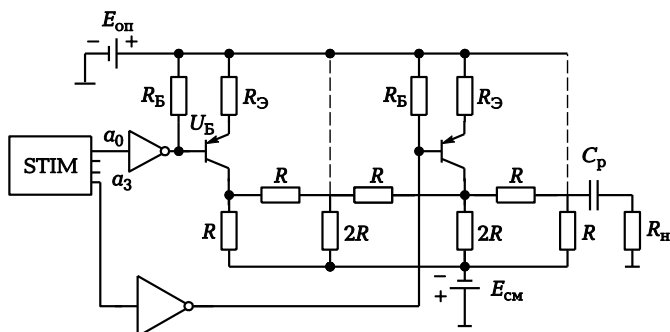
ТГ әдетте база бойынша ашылып, жабылады. Базаға басқару көзі де жалғанады.

7.4. ЖАЛПЫ БАЗАЛЫ СХЕМА БОЙЫНША ТРАНЗИСТОРДАҒЫ ЦАТ

ЦАТ схемасы 7.5-суретте берілген.

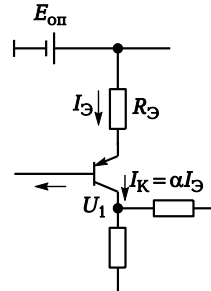
Схема жұмысының принципі: идея әр транзисторды ашып, жабудан тұрады, бірақ олар ЖБ схемасы бойынша жұмыс істеуі керек. STIM (сигнал генераторы) аламыз. Ол «1» (3,5...4,5 В) және «0» (0,2 В) сандық деңгейін құрады. $u_B = 0,2$ В жағдайын қарастырамыз. ЖБ-мен схеманың басты белгісі – база тізбегіндегі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

$$I_{\varepsilon} = \frac{E_{оп} - U_{\varepsilon\beta 0} - E^K}{R_{\varepsilon}}$$



7.5-сурет. ЖБ схемасы бойынша қосылған транзистордағы ЦАТ схемасы

7.6-сурет. ЦАТ разряды схемасында тоқтың өтуі



U_j торабындағы кернеу мынаған тең

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

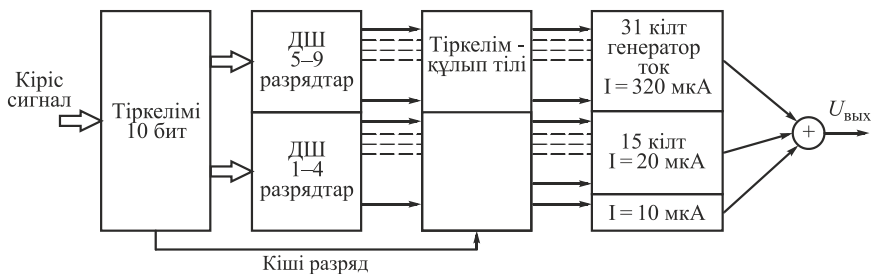
$I_{э}$, біліп, U_j торабындағы кернеуді табуға болады. Одан әрі формула бойынша $U_{\text{вых}}$ есептеп, схеманың максимальды шығыс кернеуін анықтайды. Егер үлкен оң кернеу берсек (логикалық бірлікті), онда ЖБ схемасында ток бойынша шығыста нөлді аламыз (ток логикалық нөл болғанда ғана жүреді). Егер $E_{\text{см}}$ 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 t 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

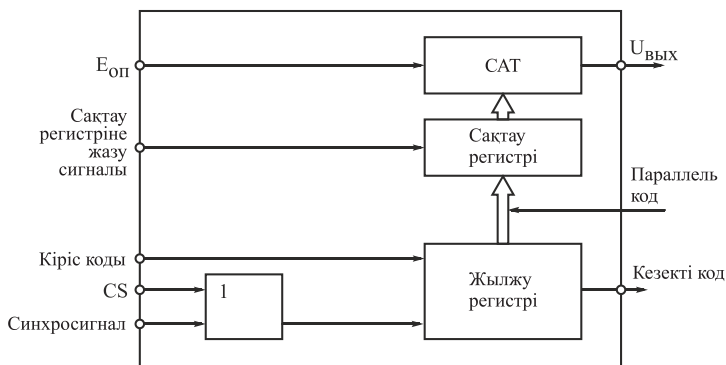
Лақтырындыны болдырмас үшін қосарланбаған ток генераторларының есебінен шығыстағы токтың өсуі қолданылады.

Дешифраторлар регистрден түсетін 30-разрядты кодты дешифрлайды, бірінші дешифратор кіріс сигналының (10-биттік) кешігуін болдырады және оны керекті шина санына бөледі. Шиналардағы ақпарат «ілмек» регистрінде жазылады. Регистр ақпаратты жазған сәтте ол ток генераторына сигнал береді (ТГ қосады) және жүйе кіріс кодын өңдейді. 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.

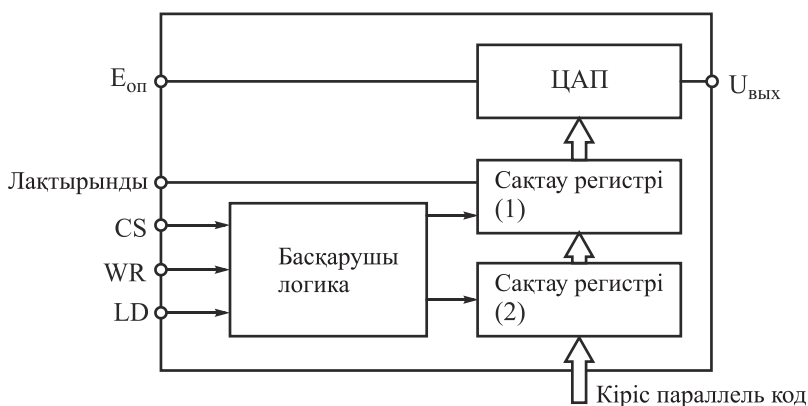


7.8-сурет. кезекті интерфейсті ЦАТ құрылымы

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 интерфейсті 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	РDIP16
МХ7524	8	1	Ток	5:15	500 мкА	0,25 мкА	Сыртқы	РDIP16
МХ7528	8	2	Ток	5:15	100 мкА	0,35 мкА	Сыртқы	РDIP20
МАХ505	8	4	Кернеуі	+5, +5	10 мА	6 мкА	Сыртқы	РDIP24
МАХ506	8	4	Кернеуі	+5, +5	10 мА	6 мкА	Сыртқы	РDIP20
МАХ503	10	1	Кернеуі	+5, +5	400 мкА	25 мкА	Сыртқы	РDIP24
МАХ530 _в	12	1	Кернеуі	+5, +5	400 мкА	25 мкА	Сыртқы	РDIP24

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 MX7528 токты шығысты қосарланған цифрлық-аналогты түрлендіргіш болып табылады және құрылымы жағынан MX7524 микросхемасына ұқсас. Оның шығыс тогын орнату уақыты да 400 нс-ті құрайды.

MAX505 және MAX506 микросхемалары қарастырылып отырған цифрлық-аналогты түрлендіргіштер тобының арасында айтарлықтай қызығушылыққа ие, себебі олардың әрқайсысы корпустарында кернеу шығысы бар төрт тәуелсіз каналға ие. MAX505 микросхемасы әр канал үшін тіректі кернеудің тәуелсіз кірісіне ие, ал MAX506 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 AGND (және сандық DGND) ортақ жетекті шығысымен жалғанған болуы керек. MAX505 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.

MAXIM 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.

MX7520/ MX7530/MX7533 және MX7521/MX7531/MX7541(A) сандық-аналогты түрлендіргіштердің микросхемалары CMOS (КМОЖ) технологиясы бойынша орындалған, қарапайым жоғары өнімділікті 10- және 12 разрядты ЦАТ болып табылады. MX7545A 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 атайда. 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.

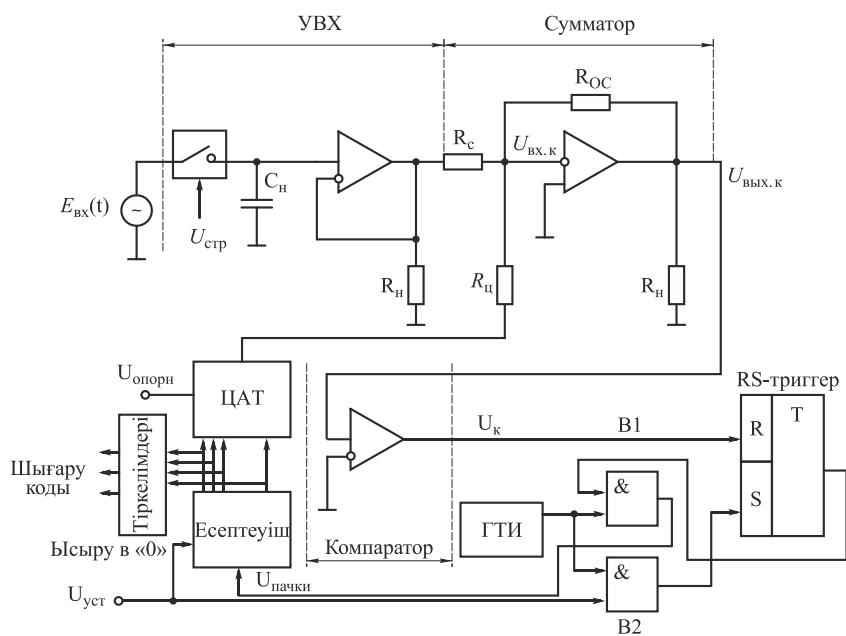
Сатылы мерзімдеу кернеулі АЦТ құрылымдық схемасы 8.1-суретте берілген.

Құрылғы жұмысын түсіндіретін сигналдар 8.2-суретте берілген.

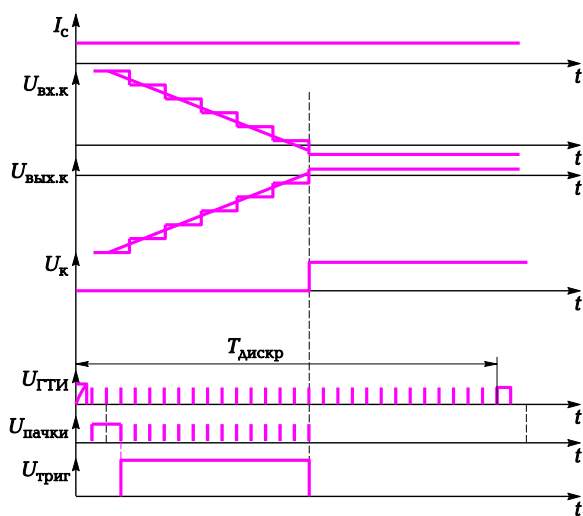
Құрылымның аналогты және сандық бөліктері бар.

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 тоғына 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 тоғы инвертирленген типті масштабты күшейткішті білдіретін сумматорда қосылады. Бұл құрылым нөлдік кіріс кедергісіне ие.

АЦТ-та кіріс сигналы тоғымен 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 сигналды есептеуіш 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 ($I_{\text{цап}} = 0$, $u_{\text{ax}} = \max$), 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.

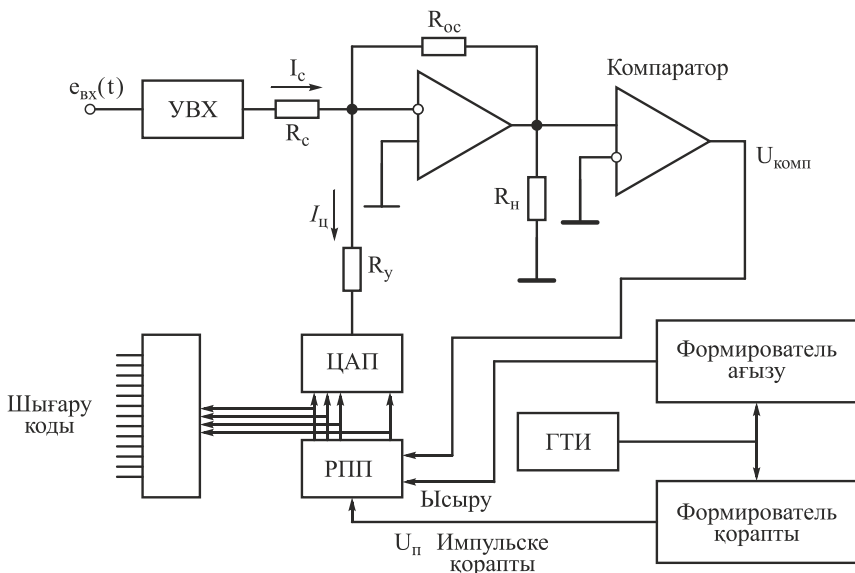
8.3. КЕЗЕКТІ ЖУЫҚТАУ АҚТ

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

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

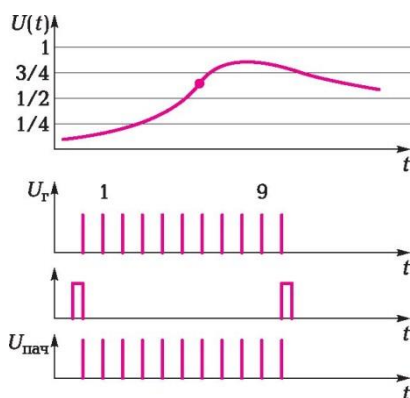
АҚТ-ны кезектес қосылған кезекті жуықтау регистрі (КЖР) басқарады.

$Y_c = Y_y$ 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 ЦАП 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 АҚТ 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 $e_{\text{вх}}(\text{£})/2$ -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 $e_{\text{вх}}(\text{£})$ кернеуіне барынша жақындауын қамтамасыз 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.

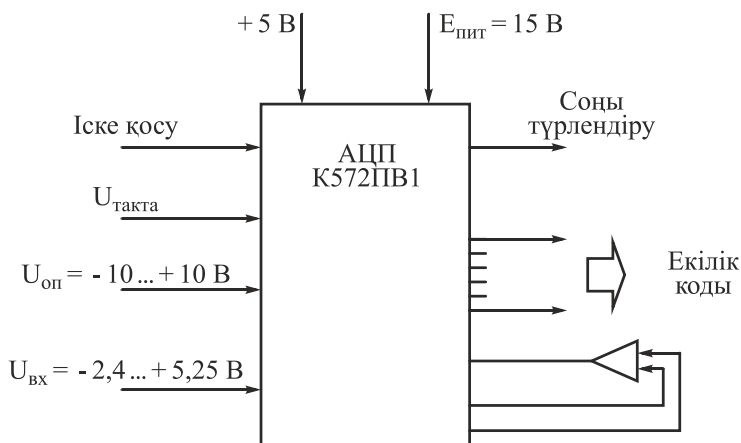
8.4. КЕЗЕКТІ ЖУЫҚТАУ АЦТ-НЫҢ ПРАКТИКАЛЫҚ СХЕМАСЫ

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 $-2,4 \dots +5,2$ 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.

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

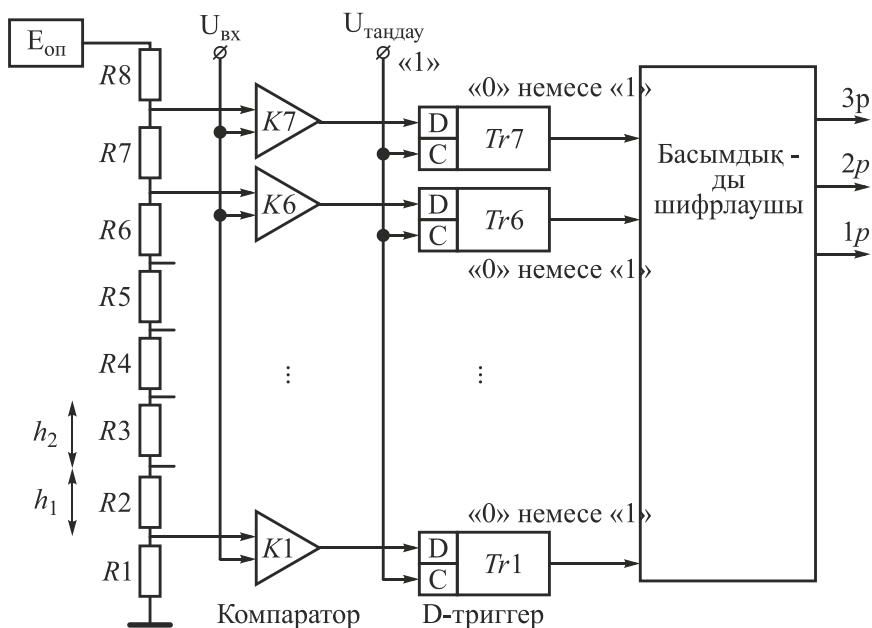
8.5. ПАРАЛЛЕЛЬ АЦТ

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. Параллель 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) параллель 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.

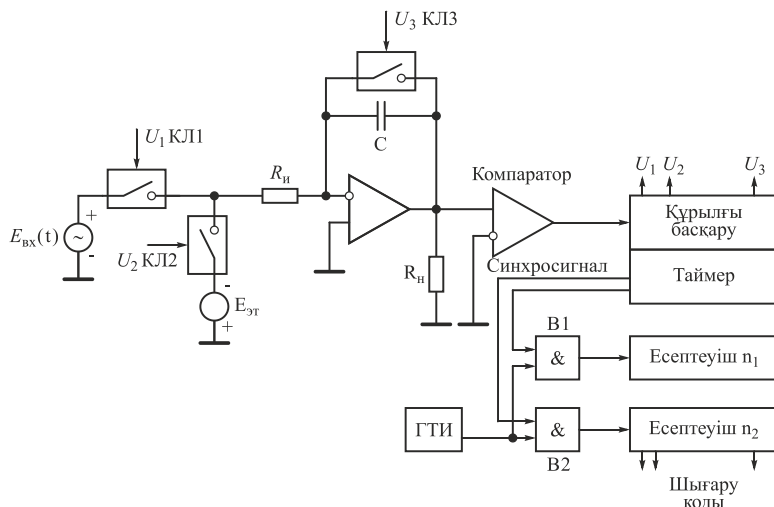
Компараторларының бір мезгілдегі жұмысының арқасында параллель АЦТ ең жылдам болып табылады. Мысалы, MAX104 типті 8-разрядты түрлендіргіш 1,2 нс-тен аспайтын сигналдың өтуін тежеу уақыты кезінде секундына 1 млрд есеп алуға мүмкіндік береді. Бұл схеманың кемшілігі – жоғары күрделілігі.

8.6. ҚОСАРЛАҒАН БІРІКТІРУШІ АЦТ

Қосарланған біріктіруші АҚТ 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 өзгеретін кернеу генераторы) біріктіріледі. Кіріс сигнал $л_1$ 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.

ДРЕЙФТІК 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 темпреатура өзгерісі айтарлықтай тұрақсыздық енгізеді.

Компенсация тізбегінің құрылымдық схемасы 8.8-суретте көрсетілген.

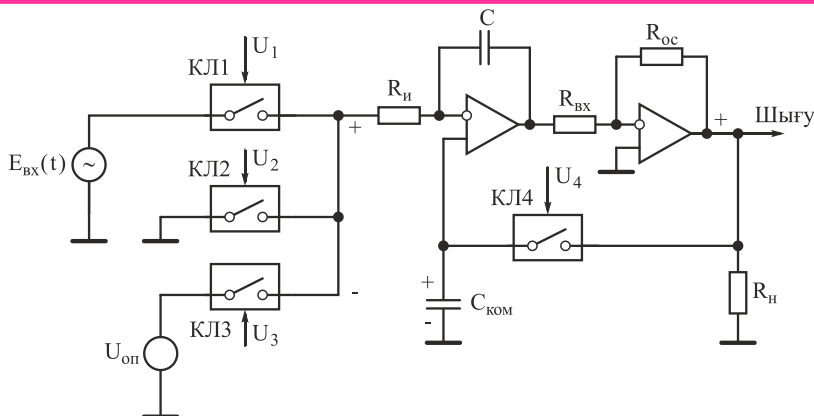
T_3 аралығында құрылым код беру және ОҚ токтары дрейфін толтыру режиміне көшеді. КЛ1, КЛ3 кілттері ашады да КЛ2 кілтті біріктірушінің жерге кірісін тұйықтайды, КЛ4 кілт жабады.

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 ± 2 В шегінде беріледі. Ц, Т₂, Т₃ ұзақтығы импульс санымен нормаланған. С_и, Л_и — біріктіруші тізбек. Т тактілік импульс кезеңі Я₂ және С_г (генератордың) сұрыптау жолымен таңдалады. С_{оп} сыйымдылығы биполярлы тірек кернеуі көзі болып табылады, ол стабилитронға параллель жалғанады, коммутация КМОЖ-кілттері көмегімен жүргізіледі. Егер Т 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

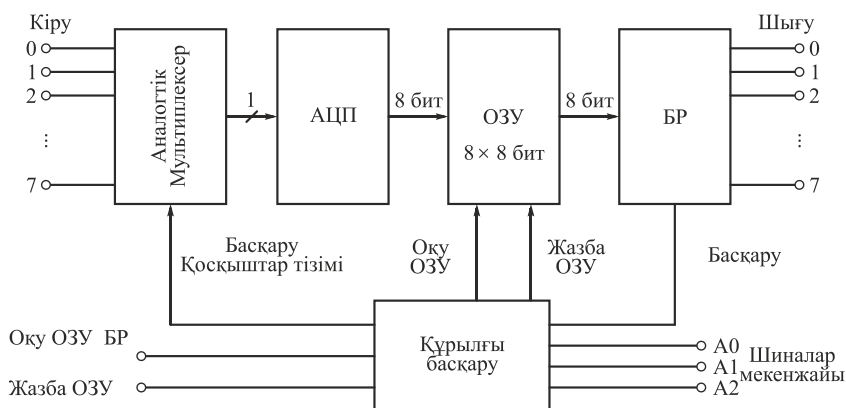
Екінші тактіде біріктіруші $I_{оп}$ тірек кернеу көзімен қарсы бағытты кернеу белгісі арқылы жалғанады. Біріктіруші конденсаторы тұрақты токпен разрядталады. Бұл уақытта есептеуіш басқару схемасынан f жиілікпен түсетін N тактілік импульстарды санайды. Біріктіруші конденсаторы 0-ге дейін разрядталғаннан 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 адрестер 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 тоқты 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 корпус.

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

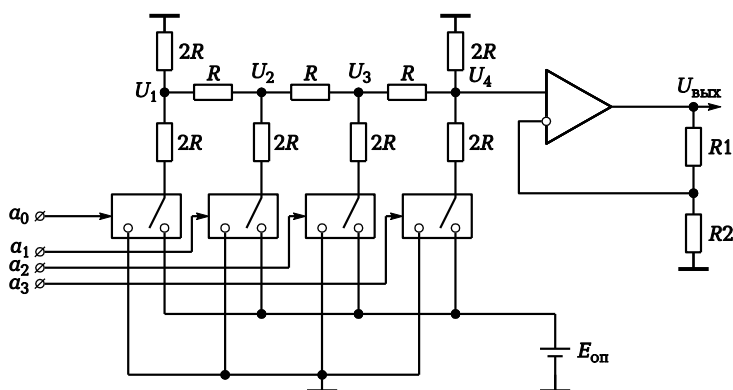
1. АЦТ қандай типтері бар?
2. Сатылы мерзімдес кернеулі АЦТ қандай негізгі элементтерден тұрады?
3. Кезекті жуықтау АЦТ жұмысының принципін түсіндіріңіз.
4. АЦТ жұмысына әсер ететін негізгі тұрақсыздандырғыш факторларды атаңыз.
5. Параллель АЦТ қандай элементтерден тұрады?
6. Қосарланған біріктіруші АУТ жұмысының принципін түсіндіріңіз.
7. K572ПВ4 микросхемасы неге арналған?
8. MAX195 АЦТ сикросхемасын қолдану саласын атаңыз.

MICRO-CAP-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 кималарында бірдей кіріс кедергісіне ие.

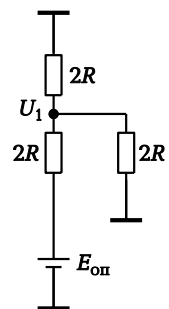
Әр кимада оң жағы әрқашан $2R$ -ге тең болады.

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 $U_{\text{выхода ОУ ОС}}$ кернеуі тең

$$U_{\text{выхода ОУ ОС}} = \frac{E_{\text{оп}}}{3} \left[\frac{1}{2 * 2 * 2} + \frac{1}{2 * 2} + \frac{1}{2} + 1 \right] = \frac{E_{\text{оп}}}{3} \sum_{j=1}^n 2^{n-j}$$

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
```

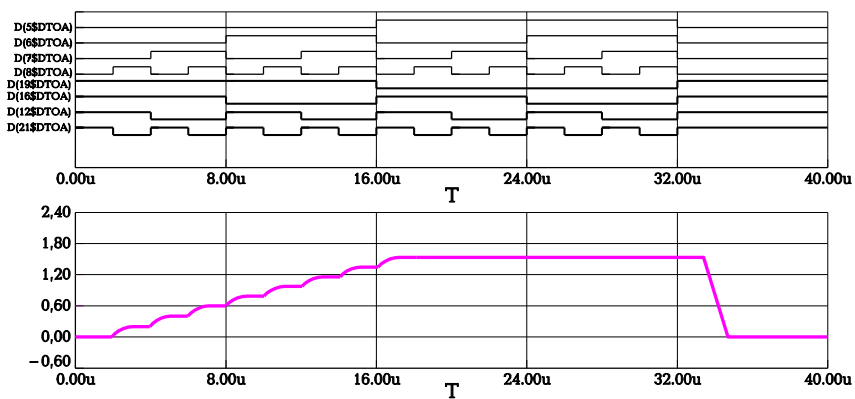



Рис. 9.4. Сигналы схемы ЦАП со сложением напряжений

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

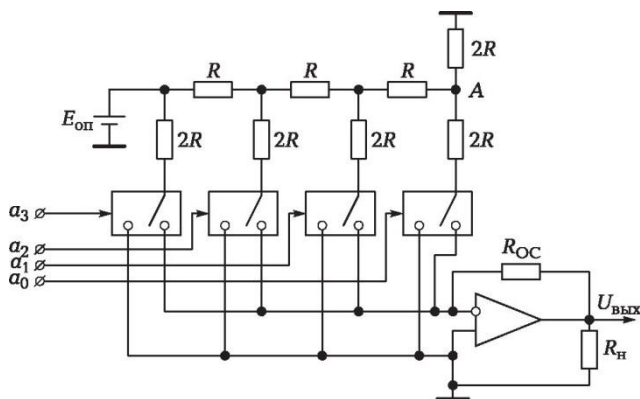
9.2. R-2R МАТРИЦАЛЫ ЖӘНЕ ТОКТЫ ҚОСЫНДЫЛАЙТЫН ЦАТ

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).

$I_{вх}$ тоқты анықтаймыз. Алдымен тірек кернеуі көзіндегі тоқты анықтаймыз:

$$I_0 = \frac{E_{оп}}{R}$$



Сурет 9.5. Ток қосындылайтын САТ 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 ΔU 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:

$$\Delta U + K_0 \Delta U = I_{\text{вх}} R_{oc}$$

ΔU кіріс кернеуінің түрлілігі аз болғандықтан оны сақтауға болады.

Кірістегі кернеу R_{oc} тағы кернеу түсуіне тең. Егер R_{oc} номиналы мен I_{BX} мәні белгілі болса онда $U_{ВЫХ}$ табуға болады:

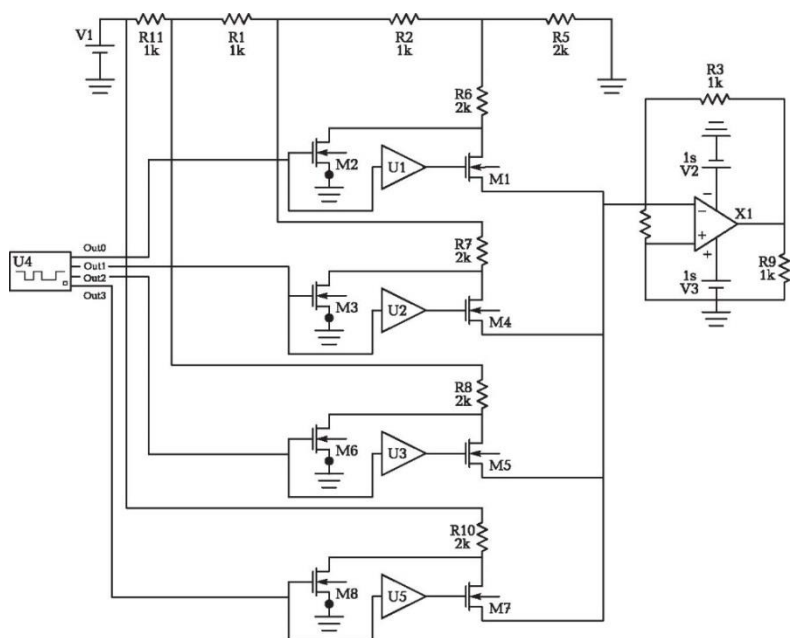
$$U_{ВЫХ} = I_{BX} R_{OC} = \frac{I_0 R_{OC}}{2} \sum_{j=1}^n 2^{-(N-j)}$$

формуласына қойып, мынаны аламыз

$$U_{ВЫХ} = \frac{E_{оп} R_{OC}}{2R} \sum_{j=1}^n 2^{-(N-j)}$$

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. Микро-Сар-да ток қосындылайтын САТ схемасы

В нүктесіндегі тізбектегі кіріс кедергісін қарастырамыз:

$$R_{\text{BX}} = \frac{\Delta U}{I_{\text{BX}}} = \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{K_0 I_{\text{BX}}} = \frac{I_{\text{BX}} R_{\text{OC}}}{K_0 I_{\text{BX}}} = \frac{R_{\text{OC}}}{K_0}$$

Micro-Cap бағдарламасында токты 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 қосарланған 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?