АЛМАТЫ ЭНЕРГЕТИКА ЖӘНЕ БАЙЛАНЫС УНИВЕРСИТЕТІ

АСПАП ЖАСАУДАҒЫ КОМПЬЮТЕРЛІК ТЕХНОЛОГИЯЛАР

5В071600 – Аспап жасау
мамандығының студенттеріне арналған дәрістер жинағы

Алматы 2016

ҚҰРАСТЫРУШЫЛАР: Б.С. Байкенов, А.Б. Нусибалиева. Аспап жасаудағы компьютерлік технологиялар. 5В071600 – Аспап жасау мамандығының студенттеріне арналған дәрістер жинағы. – Алматы: АЭжБУ, 2016.– 70 б.

Дәрістер жинағы «Аспап жасадағы компьютерлік технологиялар» курсын өз бетінше оқып-үйрену үшін арналған. Дәрістер жинағында АЖЖ (автоматты жобалау жүйесі) (САПР) негізгі тапсырмалары қарастырылған: аспаптар мен жүйелерді жобалаудың сатылары,сапа көрсеткіштері тапсырмаларымен аспап құру ережелері мен принциптері, негізгі элементтер схемотехникасы, радиаторлар мен амортизаторларды таңдау кезінде сәйкесінше аспаптардың механикалық және температуралық сипаттамаларын есептеу. Proteus, Sketch Up ортасында электронды сұлбаларды, баспа платаларын моделдеу.

Дәрістер жинағы 5В071600 – Аспап жасау мамандығы студенттеріне арналған.

Сурет -60, кесте -1, әдебиет -8

Пікір беруші: т.ғ.к. Мусапирова Г.Д.

«Алматы энергетика және байланыс университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамының 2016 жылғы жоспары бойынша басылды.

© «Алматы энергетика және байланыс университеті» КЕАҚ, 2016ж.

Конспект лекций предназначен для самостоятельного изучения курса «Компьютерные технологии в приборостроении». В конспекте рассмотрены основные задачи САПР: этапы проектирования приборов и систем, правила и принципы построения приборов с заданными показателями качества, схемотехника основных элементов, расчет механических и температурных характеристик приборов при выборе амортизаторов и радиаторов, соответственно. Моделирование электронных схем, печатных плат и корпусов реализовано в средах Proteus, Sketch Up.

Кіріспе

Автоматты жобалау жүйелері өткен ғасырдың 70-жылдары ЭЕМ енгізумен бірге әртүрлі өндірістік тапсырмаларды шешу үшін пайда болған. Дербес компьютерлердің пайда болуы операторларға, жобалаушыларға, диспетчерларға, автоматтанған жұмыс орнын құруға мүмкіндік туғызатын қолданбалы бағдарламаларды қолдануға кететін көп уақыт пен интеллектуалдық шығындарды азайтуға мүмкіндік берді.

Қазіргі заманғы компьютерлік технологиялар құрылғылар немесе жүйелерді модельдеуді жүзеге асыруды және күйіне келтіруді жеңілдету үшін мүмкіндік береді. Осы пәнді оқу барысында студенттер электронды сұлбаларды, баспа, сызба платаларға және корпустарды модельдеуге арналған Proteus және Sketch Up бағдарламалық қамтамасыз ету орталарының практикалық және зертханалық сабақтарымен таныс болады.

Дәрістер жиынында жобалаудың кезеңдері, құралдың сапасына берілген көрсеткіште көрсететін ережелер мен принциптер, негізгі элементтердің сызба техникасы, механикалық беріктік, құралдар мен жүйелердің параметрлерінің термиялық тұрақтылығын есептеуді қарастырады.

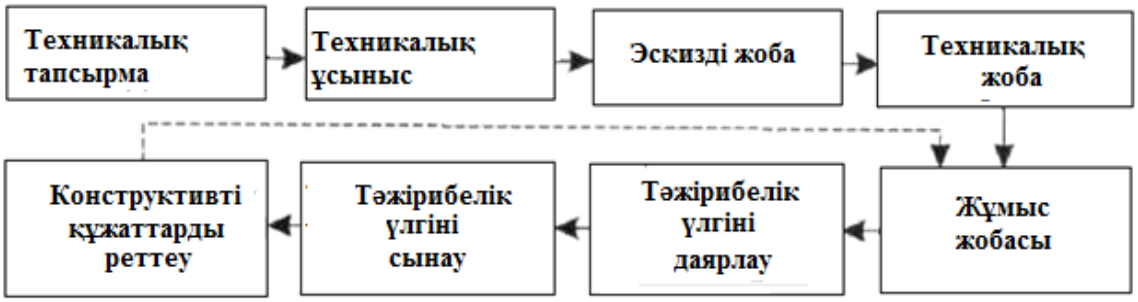
1 Дәріс №1. Аспаптардың жобалауына арналған жүйелі көзқарас

Дәрістің мақсаты: құрылғылар мен жүйелерді жобалау және құрудың негізгі кезеңдерімен, бөлшектерді құру мен құрылғыларды құрастырудың жалпы принциптерімен, сандық өлшеу құралдары және ақпараттық жүйелерді өлшеуді енгізу, жіктеу құрылымдарымен танысу.

1.1 Аспап жасау құралдарын құрастырудың басты кезеңдері

Заманауи аспаптар номенклатурасы ауқымы бірнеше мың атауларға, сондай-ақ аспап жасауда қолданылатын өнеркәсіптік шығарушы функционалдық құрылғылар мен элементтердің номенклатура ауқымы бірнеше ондаған мыңды құрайды.

Конструкторлық жұмыстың жобалау кезеңдері және аспап дайындаудың сатылары 1.1 суретте көрсетілгендей тізбектей орындалады.



1.1 сурет - Құрылғылар мен жүйелерді жобалау кезеңдері

Аспап жасау бұйымдарын қолданудағы кезеңдердің қысқаша мазмұны мен жиынтығы әзірленетін конструкторлық құжаттаманы (КҚ) қарастырайық.

Техникалық тапсырма (ТТ) – кез келген аспап әзірлеуде оның негізгі атауын, қолдану саласын, пайдалану кезеңдері және мерзімін, техникалық және техникалық-экономикалық көрсеткіштерін, сапасын, құрамын, эксплуатация шарттары мен режимдерін белгілейтін, жұмыстардың орындалу мерзімдерін көрсететін құжаты.

Техникалық ұсыныс – техникалық шешім қабылдау мақсатымен пайда болған мүмкін нұсқалардағы өңделген КҚ жиынтығы және аспаптың техникалық, техника-экономикалық құжаттардың орнықтылығы негізде ТТ анықтау; шешімнің салыстырмалы бағасын, сондай-ақ, олардың даму болашағы; патентті жиіліктерді тексеру нәтижесі және бәсекелестікке қабілеттілігі; жобалаудың технологиялық нұсқаларын алдын-ала бағалау, олардың стандартқа сәйкес талаптары, техникалық қауіпсіздіктері.

Эскизді жоба – аспаптың таңдалған нұсқасының принципті құрылымдық шешімдерін алу мақсатында әзірленген КҚ жиынтығы. Ол аспаптың негізгі жұмыс істеу принципін және құрылысын, оның негізгі сипаттамалары туралы жалпы мағлұмат береді.

Техникалық жоба - аспаптың құрылымы туралы толық түсінік беретін, соңғы техникалық шешімдегі КҚ жиынтығы. Бұл кезеңде аспаптың және оның құрамдас бөліктерін әзірлеудегі барлық жобалаулар неғұрлым егжей-тегжейлі жүргізіледі; байланыстырушы схемалар және принциптік схемалар құрылады; аспапты тасымалдау, сақтау, монтаждау және бақылау құралдарын тағдау туралы шешім қабылданады.

Жұмыс жобасы – аспапты дайындау және пайдалану үшін қажет КҚ толық жинағы. Бұл кезеңде аспаптың техникалық сипаттамасы мен пайдалану жөніндегі нұсқаулығы, оның формуляры және техникалық паспорты құрылады (онда аспап туралы мәліметтер және оның сипаттамалары, жиынтық құрамы, кепілдік, оның сынау нәтижелері және т. б. тұрады).

Айта кету керек, барлық кезеңдердің міндеттерін орындау міндетті емес, мысалы, эскизді жоба алынып тасталуы мүмкін, техникалық және жұмысшы жобалар біріктірілген.

Аспаптың сапасы және оның еншілес жүйелері дәлдік, сенімділік, технология және т.б. сияқты қарапайым және күрделі қасиеттер жиынтығымен анықталады. Жобалау процесі сатысында техникалық

шешімдер талдау кезінде техникалық тапсырма талаптары сапасының көрсеткіштерін есептеуге сәйкес келетін тексеру жүргізіледі. Аспаптың сапасын технологиялық, жобалау-конструкторлық және өтемақы әдістерімен арттыруға болады.

Аспапты жаңа үлгіде жобалаудың технологиялық әдісі мынаған негізделген:

- прототиппен салыстырғанда, аса жоғары сапа көрсеткіші бар қарапайым материалдар немесе елеулі артықшылықтары бар жаңа дәстүрлі емес материалдар қолданылады (мысалы, авиациялық және ғарыштық аспаптарды жасау үшін бериллий, кремний карбиді, ниобий және т.б. қолданылады);
- аспаптардың сипаттамаларын айтарлықтай арттыратын аса жоғары сападағы элементтер қолданылады: қабылдағыштар, қорек көздері, датчиктер, сенсорлар, түрлендіргіштер және т.б.

1.1.1 Аспаптарды жинау мен бөлшектер құрудың жалпы принциптері.

Жалпы принциптер барлық бұйымдарға (мысалы, олардың унификациясы мен утилизациясы) қойылатын талаптарды сақтау үшін жоба-конструкторлық және технологиялық есептердің, бұйым түрін анықтайтын есептер жинағының шешімінің (мысалы, оның құрылымдары, маңызды сипаттамалары, габариттері, құрастырулары және т.б.) ұсыныстарымен түсіндіреді.

Жобалаудың принциптері бұйымдар сапасының негізгі көрсеткіштеріне қол жеткізуге мүмкіндік беретін ережелер мен жобалық шешімдері болып табылады.

Барлық аспаптар үшін басты сапа көрсеткіші *тағайындалуы, сенімділік және технологиялылық* көрсеткіштері болып табылады.

Аспаптың сапасы деп оның тағайындалуна сәйкес негізделетін аспап жарамдылығының белгілі бір қажеттіліктерді қанағаттандыратын қасиеттерінің жиынтығын айтамыз. Аспаптың сапасының объективті бағасын сандық-сапа көрсеткіші сипаттайды.

Сапа көрсеткіші келесі көрсетілген маңызды топтарға жіктеледі.

Тағайындау көрсеткіші мақсаты, қолдану саласы, өнімділік, дәлдігі, рұқсат беретін қабілеті, қолданыс аймағы, габариттік өлшемдері, салмағы және т. б. сипаттайды. Аспаптар үшін жалпы тағайындама көрсеткіштерімен (сурет сапасы,жұмыс істеудің дәлдік көрсеткіштері) қатар жеке көрсеткіштері де (лазерлік аспаптардың сәуле шығару қуаты және т. б) бар.

Сенімділік көрсеткіштері тоқтаусыздық, ұзақ мерзімділік, жөндеуге жарамдылық және сақталуын сипаттайды.

Технологиялылық көрсеткіштері аспаптың және оның элементтерінің заманауи өндірістің негізгі талаптарына сәйкескелуімен сипатталады. Аспап сапасының маңызды технологиялылық көрсеткіштеріне материалдардың қолданылу коэффициенті, жинау коэффициенті, үлестік еңбек сыйымдылығы жатады.

Эргономикалық көрсеткіштер адамдар қолданған кездегі аспаптың икемділігі, тазалығы, еңбек қауіпсіздігі дәрежесін сипаттайды.

Эстетикалық көрсеткіштер аспаптың ішкі көрінісін оның заманауи стилімен сәйкестігін, қалған аспаптардың бір бірімен үйлесімділігін, аспаптың тағайындалуының оның пішініне сай болуын, бетін әрлеу және қаптау сапасын сипаттайды.

Біртектілік және стандарттау көрсеткіштері жобаланып отырған аспаптың стандартталған және бірыңғайланған бөлшектері мен тораптардың пайдалану деңгейімен сипатталады. Мұндай элементтер көп болған сайын өндірісте шығын азаяды.

Патенттік-құқықтық көрсеткіштер аспаптағы техникалық шешімдердің жаңалықтарының дәрежесін анықтайтын патенттік қабілеттілігі мен патенттік тазалығын сипаттайды. Патенттік қабілеттілігі бір немесе бірнеше елдерде ол танылуы мүмкін өнер табыс шешімі болып табылады. Патенттік тазалық іс-әрекетке (құқық бұзбайтын) шешімге ие болады.

Экономикалық көрсеткіштер өндіріс пен эксплуатацияға жұмсалатын шығындар деңгейін сипаттайды. Олардың арасында, аспаптың толық өзіндік құны мен көтерме бағасын бөледі.

Қауіпсіздік көрсеткіштері адамдар мен жануарлардың аспаптармен қауіпті әрекеттесуінің деңгейін (электрлік соққыдан, электро-магниттік өрістен, жылулық әсерден, радиациядан, шудан, вибрациядан және т.б. қорғаныс), сонымен қатар аспаптардың өзінің климаттық, механикалық, биологиялық және т.б. әсерлерін сипаттайды.

Экологиялық көрсеткіштер қоршаған ортаға кері әсерінің деңгейін және оның дайындау барысындағы эксплуатациядағы және аспаптарды бірыңғайлаудағы ластануын сипаттайды.

1.2 ЦӨА классификациясы

Сандық деп автоматты түрде (нәтижесінде кванттау, салыстыру, сандық кодтау және тиісті есептеулер) өлшенетін шамасының мәнін ұсынатын кодтық сигналды білдіретін өлшегіш аспапты айтамыз. Сандық өлшеуіш құрылғылар сандық өлшеу аспаптары (СӨА) және аналог - код өлшеу түрлендіргіштері (АЦТ) болып бөлінеді.

АЦТ – сандық өлшеу аспаптарының маңызды бөлігі болып табылады және өлшеу нәтижесін әдетте электрлік кодтық сигнал түрінде шығарады.

Цифрлық аспаптар мен өлшеуіш түрлендіргіштердің аналог – код сипаттамалық ерекшеліктері болып уақыт бойынша дискретті нәтижелерді беру болып табылады, себебі, өлшенетін шаманың сандық мәнін анықтау үшін біршама уақыт жұмсауға тура келеді. Әрбір АЦТ уақыт бойынша дискретті N_x өлшеу нәтижесін береді. Жады құралы болған кезде АЦТ уақытқа тәуелді $x_N(t) = N_x q_x(kT_д)$ X тәуелділігін өлшейді. ЦӨА жоғары тезәсерлігіне байланысты жүйеде басқа құрылғымен жұмыс жасау кезінде немесе жады көлемінің жеткілікті болуы кезінде оның мүмкіндіктерін толық

қолдану жүзеге асады. Мысалы, ЦӨА тезәсерлілігі кезінде 10 мкс-тағы 16 Кбайт 0,16 с толып бітеді.

Цифрлық өлшеу құрылғыларның негізгі ерекшеліктері:

– тезәсерлілігі (секундына жүздеген миллион өлшеулер);

– жоғары дәлдік

– цифрлы аспаптардың дәлдікті өлшеу нәтижелерін автоматты түрде өңдеуді жоғарылататын қолмен теңестіру;

– цифрлық өңдеу үшін қолайлы, сондай-ақ қателіксіз есте сақтау мен тарату үшін кодтық сигнал түрінде шығысының болуы;

– жүйелік қателіктерді азайту мақсатымен түзетулерді автоматты түрде енгізу және автоматты калибровка мүмкіндіктері;

– кездейсоқ қателіктерді азайту үшін өлшеу нәтижелерін орташаландыру мүмкіндіктері;

– жанама және жиынтық өлшеулердің автоматтануы.

Метрологияда жүйелік қателіктерді жөндеу әдістері қарастырылған, ал кездейсоқ қателіктер нітижелерді орташаландырумен жүзеге асады.

ЦӨА-да автоматты периодты тексеру және жүйелік қателіктер үшін үлгілі шама бойынша аспап калибровкасы қарастырылған.

Егер аспаптыңжүйелік қателігі түзетілсе, онда шаманы оның орташа мәнін табу үшін көп рет өлшеген кезде $\sigma_р$ орташа квадттық ауытұуы азаяды.

$$\sigma_Р = \sqrt{\sigma_Х^2 / n} = \sqrt{\sigma_Х^2 /(T_{ИЗМ} / T_Ц)} = \sqrt{\sigma_Х^2 T_Ц / T_{ИЗМ}}\ , \qquad (1.1)$$

$\sigma_х$- орташа квадраттық ауытқу қателігін жеке өлшеу;

n – өлшем саны;

$Т_{өзг}$ – өлшеуге кеткен жалпы уақыт;

$Т_ц$ – бір рет өлшеудің уақыты.

$Т_{изм}$ = const болғанда жеке өлшеулер нәтижесін орташаландыру кезінде $(\sigma_х)^2$ минималды мәнмен аспап дәлірек болады. Өлшеу нәтижелері импульстер есептегішімен жинақталады және n бөлгеннен кейін орташа мәнге тең

$$N_Х = 1/n \sum_{i=1}^{i=n} N_i \qquad (1.2)$$

Жинақталған өлшеу нәтижелерін орташаландыру көптеген өлшеуіш құрылғыларда жоғары дәлдікті алудың бірден-бір жолы болып табылады. Цифрлық аспаптарда, цифрлық жиілік өлшегіштерде және фазометрлерде инфратөменгі жиіліктер үшін өлшеу нәтижелері автоматты түрде орташаланады.

Цифрлық өлшеуіш құрылғыларының негізгі кемшіліктері:

- өлшеуіш түрлендіргіштерді қосар алдында жоғары сызықтықтың қажеттілігі. Х түрлендіргіштердегі сызықтылықтың болмауы
- .

1.3 Цифрлық өлшеуіш жүйелері

Өлшеу нәтижелерін өңдеу контроллер арқылы жүзеге асады. Оператор тек технологиялық процестерді қадағалай отырып топтық функциялардың орындаудан толық босатылады.

Қазіргі заманауи технологиялар өлшенетін шаманы цифрлауға өңдеуге, салыстыруға және жетекші контроллерге (Master) код түрінде жиналған ақпаратты таратуға қабілетті микроконтроллерлердің негізінде зияткерлік датчиктер құруға мүмкіндік туғызды.

Контроллер байланыс арнасы бойынша датчиктің кодтық мекен-жайын сұрауға сигналын жібереді. Нәтижесінде датчигі ақпарат түрінде алынған кодты жүйелі түрде кері бақылаушыға жібереді.

Ақпараттық-басқару жүйесі (SCADA-жүйесі) деп бағдарламалық-басқарылатын өлшеу, есептеуіш және қосалқы құрылғылар үшін арналған басқару және бақылауға күрделі, алыстағы объектілердің жиынтығын айтамыз.

2 Дәріс №2. Сенсор жүйелердің объектілі бағытталған жобалауы

Дәрістің мақсаты: интеллектуалдық сенсор жүйелерін, конфигурациясын, техникалық талаптар мен интерфейстік интегралдық сұлбалардың сипаттамаларын зерттеу, паразиттік әсерлердің әрекеті және оларды шешу әдістері.

2.1 Интерфейсті интегралдық сұлбасы

Электроника болашағының дамуымен қатар электроникада электрондық процестерге қатысты физикалық, химиялық және биологиялық құбылыстармен байланысқан электрониканың жаға бөлімі пайда болды. Оптоэлектроника, магнитоэлектроника, акустоэлектроника, криоэлектроника бағыттарында электроникаға физикалық, химиялық және биологиялық бір саланы сигналға кез-келген бағытта түрлендіретін шекаралық элемент қажет. Бұндай элемент сенсор немесе бірінші сезімтал элемент (БСЭ) деп аталады, электрониканың жаға даму бағытында «сенсорик» деп атайды.

Интелектуалды сенсорлы жүйелерде сенсорлардың функциялары мен олардың интерфейстері ортақ жүйеге біріктірілген, ол орта параметрлерін алғашқы түрленуін, электронды сигналдың қалыптасуын, аналогты-цифрлы түрленуді, шинамен беттесуді және мәліметтердің өңделуін қамтамасыз етеді. Бұл жиынтыққа өте жоғары иеархиалық деңгейлі функциялар қосылуы мүмкін, мысалы, өзін-өзі сынау, автокалибирлеу, бағалау және деректер сәйкестендіру. Көптеген физикалық және химиялық сенсорларда жүйенің электронды торабының өткізу жолағына қарағанда *ақпаратты өткізу жолағының ені* өте тар. Бұл жобалаушыға қиын өлшеулерді жүзеге асырғанда бір электрондық жүйеде бірнеше сезімтал элементтерді қолдануға мүмкіндік береді. Бұдан басқа, уақыт/жолақ резервтеу коэффициенттін электронды торап

жолағы ретінде дәлдікті, сенімділікті, жүйе тұрақтылығы ұзақтығын жоғарылату немесе пайдаланылатын қуатты азайту мақсатында қолдануға болады. Өлшеудің озық технологияларын пайдалану, мысалы, элементтердің динамикалық келісушілігі және автокалибрлеу, электрондық жүйелердің дәстүрлі мәселелерін шешуге мүмкіндік береді.

Жүйе ішкі интерфейс, модуляторлар немесе түрлендіргіштер сенсоры, сондай-ақ, микроконтроллерлер немесе цифрлы сигналды процессор (ЦСП). үшін арналған мультиплексорлы сезімтал элементтерден құралған. Бұндай жүйелер IEEE 1451 нормаларына стандарттарына сәйкес келеді.

Көптеген сезімтал элементтерде өлшенетін параметрлерге қатысты оның басқа физикалық шамаға сезімталдығы қиынтықтар туғызады.

Одан басқа талап етілген шығыс электр сигналынан басқа, оларда паразитті электрлі әсерлер пайда болады. Сигналға және параметрлер дрейфіне кедергі келтіретін өлшенетін шаманының жоғары паразитті әсерлерін селеутивті анықтауды қамтамасыз ету мәселесі қарастырылған. Генератор уақыты бойынша модуляторды қолданып сенсорлы аналогты сигналды уақыттық аймақтың аналогты сигналдарына түрлендіретін жиын көрсетілген. Уақыттық аймақ сигналының аналогты-цифрлы түрленуін микроконтроллерде немесе ЦСП-да жүзеге асыруға болады.

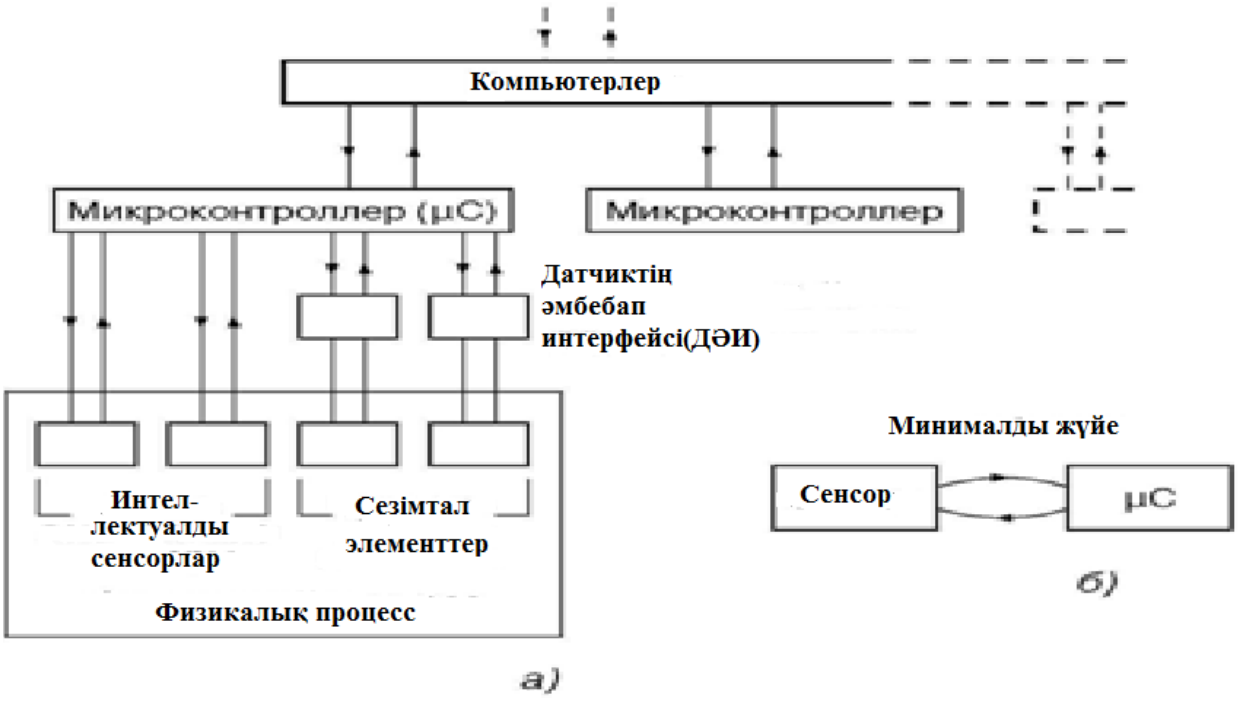
Жүйенің электронды торабын өңдеу бойынша мүмкін шешімдерін көрсету үшін екі жағдайды қарастыруға болады: әмбебап сенсорлы интерфейс және кернеудің динамикалық процессоры.

Белгілі бір деңгей бойынша жүйе сипаттамаларын жақсартуға болады, ал шығындарды сенсорлардың, орындаушы механизмдердің, аналогты интерфейсті функцияларын қайтадан бағалау мен біріктіру есебінен және цифрлық процессорларды бір жерде жинау арқылы азайтуға болады.

Сенсорлы жүйелерді жобалау кезіндегі «жоғарыдан–төмен» (декомпозиция) және «төменнен–жоғары» (композиция) дәстүрлі жүрістер пәнаралық және сенсорлық сипаттарға қатысты шартталған шектеулермен ерекшелінген.

Зерттеулер бойынша дәстүрлі әдістерді жобалауға өте көп итерациялық қадамдар талап етіледі, контрукциялау ұзақтығы көбейеді және конструкция икемді болмайды.

2.1-суретте микроконтроллерлерде, дербес компьютерлерде, сондай-ақ сенсорлы интерфейсте қолданылатын сенсорлы жүйелер үшін құрылған аппаратпен қамтамасыз етудің ықтималдық конфугирациясы келтірілген.



2.1 сурет - Интеллектуалдық сенсор жүйесінің
ықтималдық конфигурациясы

Микроконтроллер жадысының болуы ұзақ уақыт кезеңінде бірнеше сенсорлардан алынған мәліметтерді жинақтауға мүмкіндік береді. Бұл жүйенің бірнеше маңызды функцияларын жүзеге асыруды қамтамасыз етеді, мысалы, автокалибровка, өзін-өзі сынау, қажетсіз сигналдардың сүзгілеуі мен өтемақысы және әсерлері.

Түрлендіргіш интерфейсінде уақыттық аймақта сенсорлы сигналды түрлендіру кезінде периодты модуляторды қолданатын қондырылған АЦТ қолданбай-ақ аналогты – цифрлы түрлендіруді микроконтроллерде жүзеге асыруға болады.

Датчик интерфейсі әртүрлі типті сенсорлар үшін ішкі байланыстың электронды құралдарымен жабдықталған. Кейде, сезімтал элементтердің функцияларын, интерфейстерін біріктіруге болады және оларды «интеллектуалды сенсор» құрып, бір АЖ кристалында жүзеге асыруға юолады. Қандай жағдайда болмасын ішкі байланыстың электрондық құралдарының электрлік параметрлері сезімтал элементтердің сипаттамаларына сәйкес келуі керек. Объектілі – бағытталған жобалауды жүзеге асырған кезде конструкциялау процесі жеделдетіледі және құралдарды үнемдеуге мүмкіндік туады. Бұған жету үшін сенсорлық жүйелер мен сезімтал элементтердің әйгілі типтерінің мәселелері мен негізгі қасиеттерін түсіну керек. Келесі бөлімде динамикалық кең диапазонда жоғары дәлдікті сенсорлық жүйелерді жобалау үшін тәсілдер келтіріледі.

2.2 Сезімтал элементтер және ілеспе паразиттік әсерлер

Тапсырманы жеңілдету үшін физикалық өткізу жолағы тар сенсорлыұ жүйелерді қарастырамыз (10 кГц аз). Тіпті, мұндай шектеу кезінде де физикалық және электрлік әсерлерге байланысты көптеген мәселелер туындауы мүмкін, ол паразиттік әсерлер мен үрейлі әсерлер көп болған кезде арнайы шамалардың өлшенетін параметрлерін және жоғары таңдаушылыққа ұмтылу болып табылады.

2.2.1 Орналасу үйлесімділігі.

Барлық дерлік сезімтал элементтер үшін үйлесімділік жобалаудың ең басты мәселесі болып табылады: бір жағынан, өзінің негізгі функцияларын іске асыру үшін сезімтал элемент пен физикалық немесе химиялық орта арасындағы түйісу максималды жақсы болу керек, екінші жағынан жақын түйңсу оның істен шығуына немесе бұзылуына әкеліп соғады.

Сол себепті, сезімтал элементті сыртқы әсерлердің әртүрлі шарттарында функциялай алатындай етіп қаптап қою керек: механикалық соққылар, жоғары температура, коррозиялық орта. Интеллектуалды сенсорлық жүйелерде тек қана сезімталдық элементті емес қаптауға қиындық туғызатын басқа да элементтерді қорғау қажет.

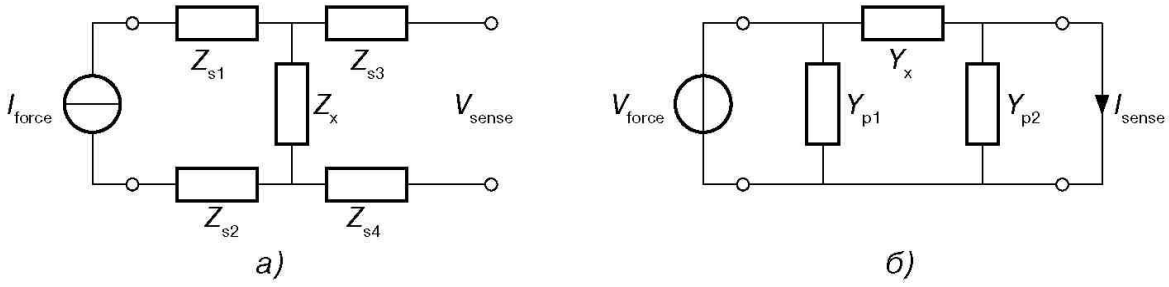
Осы себептен, бірінші интелектуалды сенсорлар ретінде осы мәселелерді оңай шешетіндер пайда болды. Оларға температу мен жылдамдату сенсорлары жатады. Мысалы, температураның интелектуалды сенсорларында интегралдық схеманы герметикалық метал жабық корпусқа орналастыруға болады, сол себепті, корпус ішінде немесе сыртында температура бірдей болады.

Химиялық сенсорлар үшін сәйкес келетін технологияны өңдеу қиынырақ болады. Химиядлық параметрлерді электрлікке түрлендіру (R,L,C) осы мәселе қиындықтарын жеңілдетуге мүмкіндік береді.

2.2.2 Кабель және жолсеріктің импеданске әсері.

Өлшеу нәтижелеріне байланыстырушы сымдар мен кабельдердің импадасінің (z толық кедергі) әсері болмау үшін шаралар қолдану керек. Бұған екі полюсті деп аталатын өлшеуді жүргізу арқылы қол жеткізуге болады. 2.2,а- суретте әйгілі екі полюсті схема келтірілген, ол төменгі омды сенсорлы импедансты Z_x өлшеу үшін қолданылады. Бұл жағдайда байланыстырушы кабельдердің $Z_{s1}…Z_{s4}$ тізбектелген импаданстері V_{sense} өлшенетін кернеуіне әсер етпейді. Өлшеудің бұл технологиясын жүзеге асыру кезінде интерфейсті АЖ сәйкесінше жоғары импедансты ток көзін мен кіріс күшейткішті қолданып қозу тогын қамтамасыз етіп және кернеуді Z_x дейін өлшеу керек.

2.2,б суретте, V_{force} қозу кернеуі және Y_x арқылы I_{force} қысқаша тұйықталу тогы бар Y_x сенсорының жоғары омды толық өткізгіштігін өлшеу үшін қолданылатын екінші жағдай келтірілген.



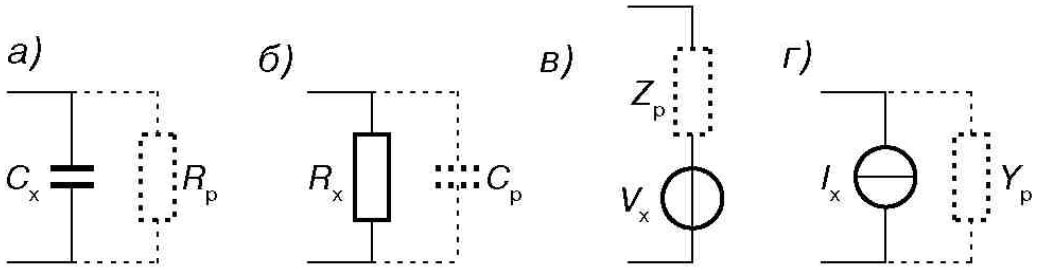
а - Z_x төменгі мәнді сенсор; б - Y_x төменгі мәнді сенсор.

2.2 сурет – екі полюсті өлшеулердің екі жағдайы

Байланыстырушы кабельдердің Y_{p1} және Y_{p2} шунттаушы импаданстары өлшеу нәтижелеріне ешқандай әсер етпейді. Өлшеудің бұндай технологиясы C_x жоғарылатушы шамасы бойынша байланыстырушы кабельдер C_{p1} және C_{p2} паразитті сыйымдылықтары болған жағдайда да C_x сенсорының аз сыйымдылығын анықтауға мүмкіндік береді. Өлшеудің бұл технологиясын іске асыру үшін сәйкесінше, төменгі импедансті кернеу көзі мен кіріс күшейткішін қолданып, Y_x арқылы ток өлшеу мен қозу кернеуін құруда АЖ интерфейсі қажет.

2.2.3 Сезімтал элементтердің паразитті және өзара әсерлері.

Электрлік қасиеті электр тізбегінің бірлі-жарым компоненттеріне қатысты сипатталуы мүмкін қарапайым сезімтал элементтер тобы бар, ал бұл компонеттің параметрінің мәні өлшенетін физикалық сигналмен анықталады. Әдетте, сезімтал элементтер үшін өзара әсерлер мәселелері мынадай: олар басқа физикалық әрекеттерге қажетсіз сезімталдыққа ие болады, мысалы, температура, механикалық діріл.



а–г – қарапайым элементтер.

2.3- сурет – СЭ эквивалентті схемалары және олардың паразитті электрлік компонеттері

Өлшенетін шаманың және қажетсіз физикалық әсерлердің өзара әсерлері болған жағдайда S_x электрлік шығыс параметріне әсер қалдырады. Бұдан басқа, сезімтал элементтер физикалық, химиялық немесе электрлік ортаның паразитті электрлік әсерлеріне ие, оны қосымша паразитті электрлік компонеттпен Sp тікелей моделдеуге болады. Sp. Мысалы, ағу тогы ылғалды сыйымдылықты сенсорда паразитті кедергінің R_p, сенсордың шунттау сыйымдылығының C_x пайда болуына себепкер болады (2.3,а- сурет). Бұдан басқа, оның шамасы ұзақ уақытты дрейфке ие және ол температураға тәуелді. Сол себепті, C_x сыйымдылығын өлшейтін электронды схемаларды жобалау кезінде R_p резисторы үшін қолайсыз шарттарды ескеру керек.

Төменде келтірілген шаралар осы мәселелерді шешуге көмектеседі:

– Үлкен жиіліктің қоздыру сигналын қолдану R_p әсерінің біршама төмендеуіне әсер етеді.

Өткізу жолағы бойынша шектеу бұл әдісті қолдану мүмкіндіктерін азайтады.

– қозудың синусойдалы сигналын амплитуда-фазалы талдаушымен қолдану C_x және R_p шамаларын жеке өлшеуге мүмкіндік береді.

Синусоидалы сигналдарды қолдану жүйенің энергия қабылдауы мен қиындық деңгейін көтереді;

– тікбұрышты сигналдар жағдайында қозу тогының әртүрлі жиіліктерінде тізбектелген өлшеулерді жүргізуге болады.

Өлшеу нәтижелерінің алгоритмдік өңделуі шунталған кедергі әсерін төмендетуге мүмкіндік береді. Бұл әдіс қарапайым электронды схемамен орындалса да көп уақыт жоғалтуға әкеп соғады;

- зарядталған сыйымдықты тез разрядтау заряд жоғалтуды азайтуға және шунттайтын кедергінің әсерін төмендетуге мүмкіндік береді.

Электронды сигналды процессорлы ұзын кабельді сымның көмегімен резистивті сенсормен байланыстырған кезде кабель сыйымдылығы C_p шунтты сыйымдылықтың (2.3,б - сурет) пайда болуына әкеп соғуы мүмкін. Алдыңғы жағдайға ұқсас, бұл мәселені төменде келтірілген өлшеулерді қолданып шешуге болады:

- төмендетілген жиілікті қоздыру сигналын қолдану C_p салыстырмалы әсер етуін төмендетеді. Бірақта, бөгеттер мен төмен жиілікті шулардың әсерлерін азайту үшін бұл жиілікті көбейту қажет;

– синусоидалы қозу сигналын амплитудалы-фазалы анализатормен қолданған жағдайда C_p және R_x шамаларын жеке өлшеуге болады. Бірақ жүйенің энергия қабылдауы мен қиындықтар деңгейін жоғарылатады.

Сенсорлардың генерациялайтын кернеуі ішкі жоғары кедергіге ие болады, мысалы, терможұп немесе pH сенсоры (2.3,в- сурет). Бұл жағдайда ағын әсерінің минимизациясына және электронды сигналды процессордың кіріс токтарына ерекше назар аудару керек. Сенсорлардың генерациялайтын тогы үшін процессордың паразитті шунтталған кедергілердің әсерін азайту үшін кіріс кернеуі мен кіріс импедансын минималды мүмкін деңгейде ұстап тұру қажет.

Интелектуалды сенсорлы жүйелерді жобалаушыларға қатысты тапсырмалар:

– жинау көлемі мен қиындықтарын азайту;
– энергия қабылдауды қысқарту;
– жүйенің құнын төмендету.

Импедансты сенсорларды әртүрлі сипаттамаларды, материалдардағы судың құрамы мен ылғалдылығын, судың өткізгіштігі мен деңгейін және иондардың шоғырлануын өлшеу үшін қолдануға болады.

2.3 Сезімтал элементер үшін қоздыру сигналдары

Пассивті сенсорлар жағдайында интерфейсті схемалар қоздыру сигналдарын түрлендіреді. Бұл интерфейс жобалаушыға жүйені жеңілдету мен дәлдігін көтеру үшін қоздыру сигналының шамасы мен сәйкес типін таңдауға мүмкіндік береді.

Толқын түрі: жобалаушыда тағдаулар болады, мысалы, тұрақты ток тікбұрышты, үшбұрышты, синусойдалы немесе импульсті формалы сигналдар арасында.

Жалпы алғанда, бұл сигналдардың әрқайсысының өзінің ерекшелігі мен кемшіліктері бар: тұрақты ток сигналдарының формалары қарапайым, бірақ та оларды бөліп тұратын қуатты бөгеттері бар.

Бөгеттер қатарына: күшейткіштің ығысу кернеуі, дрейфтік ығысу, төменгі жиілікті шу (1/f), қоректенуші жол бөгеттері, паразитті кернеулер жатады.

Тұрақты ток сигналдарының негізгі кемшіліктері электролитті әсерлердің пайда болуында. Сол себепті тұрақты ток сигналдары жиі қолданылмайды.

Тіктөртбұрышты сигналдардың ерекшеліктері: оларды түрлендіру іс жүзінде энергия тұтынбайтын өте қарапайым цифрлық схема көмегімен жүзеге асады.

Дұрыс жобаланған сүзгілерді қолданған кездегі синусоидалы сигналдардың ерекшелігі сигнал/шу қатынасына қол жеткізу болу табылады. Бірақта тіктөртбұрышты сигналмен салыстырғанда оларды өңдеу үшін қуатты тарататын үлкен мәнді схемалар қолданылады.

Импульсті сигналдар арнайы көпкірісті сигналдар қалыптастыру үшін жақсы сәкес келеді. Жобаланған уақыттық терезеде талап етілген сигналды ұзын тарату жолымен тез кескіндеуге болады.

Шамасы: сигнал/шу қатынасы мен сигнал амплитудасы бойынша өте үлкен болуы керек. Басқаша қарағанда, сезімтал элементтердің сызықты еместігі қозудың үйлесімді шамасын шектейді.

Бұдан басқа, қажетсіз электрофизикалық өзара әсерлерді қалпына келтіру шараларын қолдану қажет. Мысалы, температураның резистивті сенсорында электрлік қоздыру өздігінен қызуға әкелім соғады. Электр

өткізгіштік сенсорларда қозуды электролиздер туғызуы мүмкін. Сол себепті, қоздыру кернеуі коррозия шақыратын потенциалдан аз болу керек.

3 Дәріс №3. Интерфейстік электроника және техниканың өлшеу әдістемесі

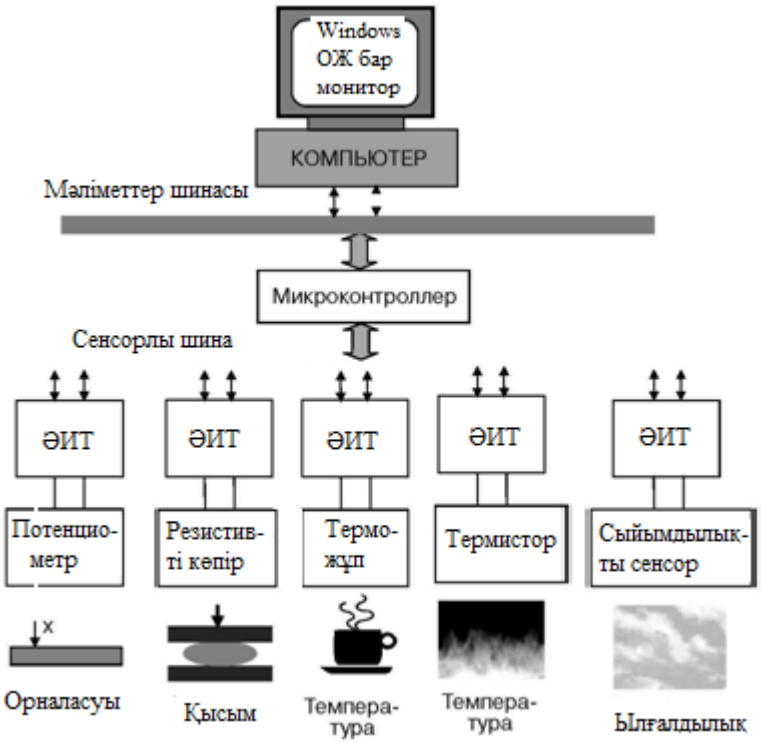
Дәріс мақсаты: изучение структурной схемы и принципа действия универсального, сетевого интерфейсного преобразователя с различными чувствительными элементами,

3.1 Әмбебап интерфейс түрлендіргіші

3.1 суретте АЖ интерфейсі – қолданушының әмбебап интерфейсі (ҚӘИ) келтірілген.

Бұндай АЖ жиі қолданылатын сезімтал элементтер үшін оңтайланған бірнеше интерфейстік құрылғылардан құралады. 3.2 суретте ҚӘИ жүйесінің құрылымдық схемасы келтірілген.

Бірнеше сезімтал элементтер, эталонды элемент және ығысу элементтері ҚӘИ АЖ терминалы кірісіне қосылған. Селектор (мультиплексор) осы әрбір элементтерді сәйкес интерфейске тізбектей жалғайды. Автокалибровка технологиясын жүзеге асыру үшін кем дегенде үш фаза қажет. Сәйкес режим үшін интерфейс модуляторға қосылады, оған таңдалған сезімтал элемент үшін амплитуданың пропорционалды мәнімен тікбұрышты формалы шығыс сигналдарын құратын релакционды генератор қосылған. Сигнал микроконтроллерде период ұзындығын тіркеуді жеңілдету үшін, байланыстырушы сымдардың әсерін азайту үшін және микроконтроллер мен интерфейсті АЖ арасындағы кілттер үшін төменгі жиілікке ие болады.

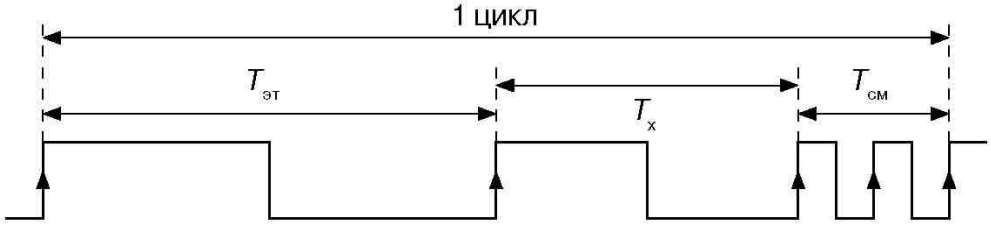


3.1 сурет – ӘИТ негізіндегі жүйе

Мұндай режим келесі өлшейтін фазаны таңдау үшін фазалық есептегішті іске қосатын Nесептегішінің көмегімен жүзеге асады. Сол себепті, өлшеудің әрбір фазасы N периодтан құралады. Ығысу фазасын өлшеу ($T_{см}$ уақыт интервалы, 3.3 суретте) кезінде ҚӘИ шығыс сигналының жиілігі екі есе көбейеді.

Бұл микроконтроллерге фазалы есептегішпен кейінгі синхронизациясы үшін ығысу периодын анықтауға мүмкіндік береді. Зерттеулер бойынша, периодтар саны өлшеу кезінде фаза санына бірді қосқанға теңестіріледі үш, төрт немесе бес фазадан кейін өлшеудің толық циклы жүзеге асады (3.3 сурет).

3.2 сурет – ҚӘИ жүйесінің құрылымдық сызбасы



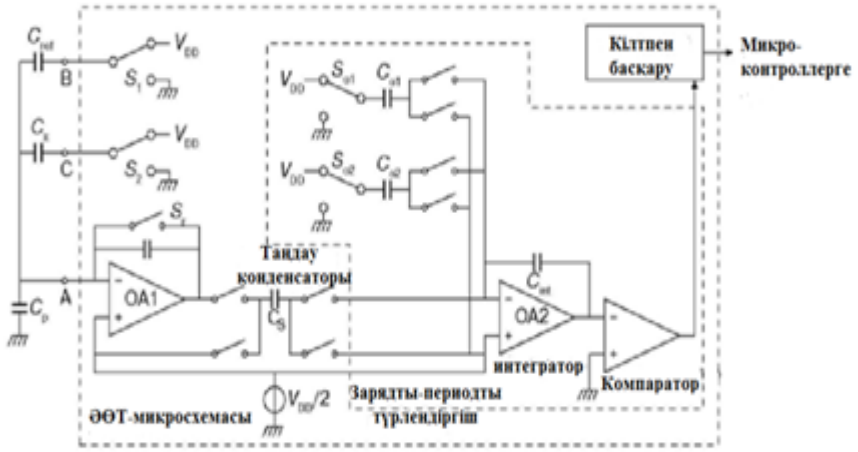
3.3 сурет - Үш фазалы толық циклді өлшеуді қамтитын ҚӘИ интерфейсі үшін шығыс сигналы

Модулятормен берілетін сигнал пассивті сезімтал элементтер үшін қоздырушы ретінде қолданылады. Бұл сенсорлық сигналдардың синхронды іздестіруді қамтамасыз етеді және бөгеттерге қатысты тұрақтылықты күшейтеді. Бұдан басқа, паразитті компоненттер болғанда өлшенетін параметрлердің селективтігін көтереді.

3.1.1 Сыйымдылықты типті датчиктер үшін интерфейсті схема және модулятор.

Интерфейстің негізгі бөлігі – модулятор. 3.5 суретте $C_х$ сенсорлы конденсатор шамасымен $C_{эт}$ эталонын салыстыруда қатысты шаманы анықтау үшін қолданылатын схема келтірілген. Бұл конденсаторлардың ортақ бір электроды бар, ол интерфейсті микросхемамен байланыстыру үшін АЖ талап етілген үш шығысын қосады. Бұл шығыстар былай белгіленеді: A, B, C, D, E, F – және сенсорларды қолданатын басқа аймақтар үшін ұсынылуы мүмкін.

Модулятордың шығыс сигналы түрленетін тікбұрышты шығыс кернеуі $C_х$ немесе $C_{эт}$ конденсаторларын таңдауды анықтайтын түрде S_1 және S_2 кілттерін басқарады. Бұл сызықты аймақты функциялайтын $ОА_1$ операциялық күшейткіш үшін тікбұрышты шығыс кернеудің қалыптасуына әкеледі. Шығыс кернеуінің амплитудасы $C_х$ немесе $C_{эт}$ сенсорының сыйымдылығының шамасына пропорционалды болады. Әрбір жарты периодтың соңында C_s конденсаторы интерфейсті күшейткіштің тікбұрышты шығыс кернеуінің шамасының дискретизациясын жүзеге асырады. Бұдан кейін C_s конденсаторының заряды $C_{инт}$ интегратор конденсаторына беріледі. Бұл заряд $I_{инт}$ интеграциялаушы тогы есебінен ығысады. Интегратордың шығыс кернеуі компаратордың эталонды кернеуін асып түскен бойда, өлшеудің келесі қадамын жіберуді ескеріп, соңғысы басқа күйге ауыстырылады. Бұл релаксация процесінің нәтижесі – компаратордың тікбұрышты формалы периодты шығыс сигналы. Шығыс сигналының периодының ұзындығы $C_х$ немесе $C_{эт}$ сенсорының сыйымдылығы шамасына сызықты тәуелді болады. Функционалды күйде релаксионды генераторды қолдау үшін, тіпті $C_х = C_{эт} = 0$ пФ болған кезде де Co_2 ығысу конденсаторы қолданылады.



3.5 сурет – Сыйымдылықты сенсорларды қолдану негізіндегі режимдер үшін ҚӘИ жүйесінің функциялау принципі

Басқа Co_1 ығысу конденсаторы C_s конденсаторымен OA_1 шығыс кернеуінің дискретизациясының уақыттық интервалын қалыптастыру үшін қолданылады. Бұл схемаларды функциялауды суреттеу оның жұмысында көрсетіледі.

Үш сигналды автокалибровка технололгиясы келесі әдіспен жүзеге асады. Сигналды өлшеу уақыты кезінде C_x конденсаторы; тіректік фаза кезінде - $C_{эт}$ конденсаторы таңдалады; бұл екі конденсаторлардың ешқайсысы ығысу уақытында таңдалмайды.

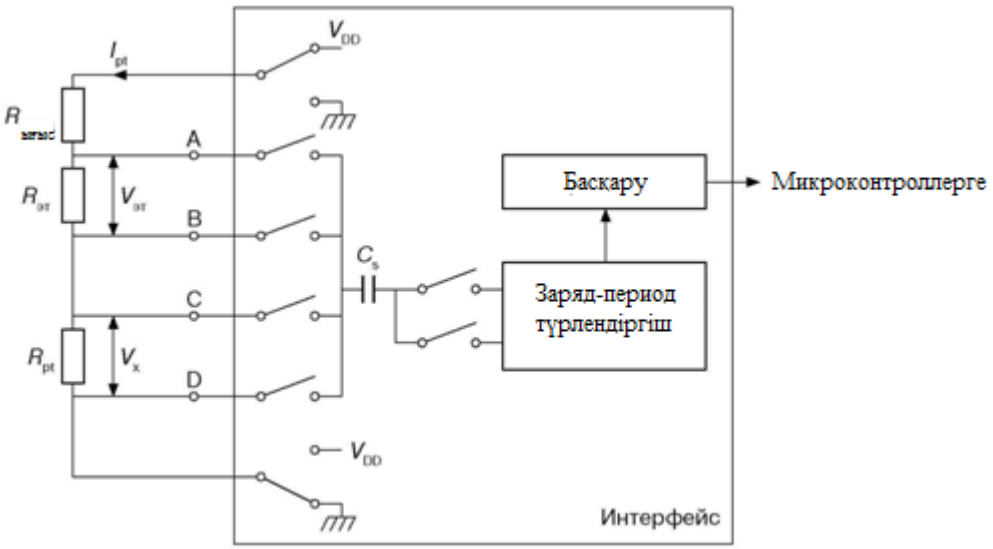
Сыйымдылықты өлшеу төртұштылықты пайдалану көмегімен жүзеге асады (2.3,б сурет): таратушы электрод төменгіомды кернеу көзімен басқарылады, ал қабылдаушы электрод виртуалды жермен қосылады (интерфейсты микросхеманың А шығысы).

Бұдан басқа, 1/f шуға қатынасы бойынша үлкен интенсивті интерфейсті шығыс сигналын алуға мүмкіндік беретін жағартылған үзу технологиясы қолданылды. Бұл шудың табалдырықты жиілігінен 1/f үлкен жиілікте барлық сәйкес келетін электр сигналдарының модельденуі есебінен жүзеге асады. Осы шараға байланысты КМОП-транзисторлардың 1/f шу деңгейімен байланысқан КМОП-технологиямен ешқандай қиындықсыз арзан алынған интерфейсті микросхеманы қолдануға болады.

Интерфейсті микросхеманың таңдау конденсаторы және заряд–период түрлендіргіші (3.5 сурет)- барлық режимдерде қолданылатын ҚӘИ негізгі элементі. Сезімтал элементтердің басқа типтерін өлшеу үшін кіріс сигналдарына түрлендіру жүргізіледі.

3.1.2 Резистивті типті датчиктер үшін интерфейсті схема.

Платиналық резисторларды өлшеуге бейімделген интерфейс 3.6. суретте келтірілген.



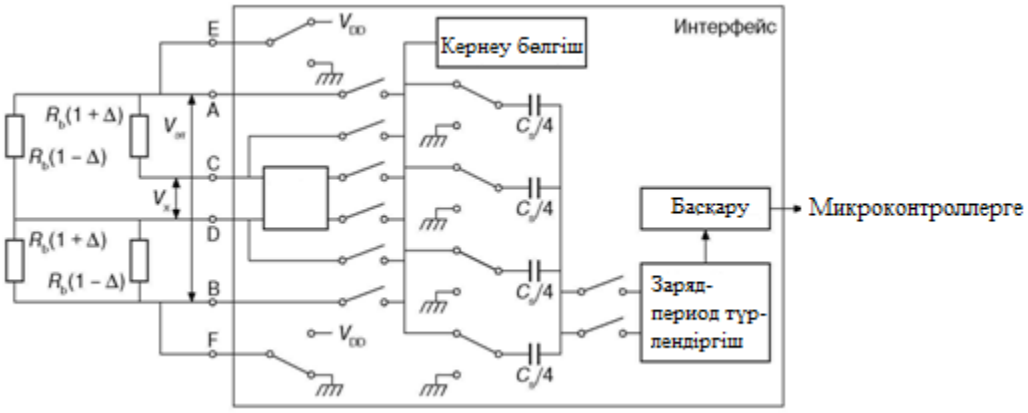
3.6 сурет – Платиналық резисторларды өлшеуге арналған интерфейс құрылымы

Эталонды резистор $R_{эт}$ пластиналық рекзистормен R_{pt} тізбектей қосылады. Интегратор күшейткішінің жүктелуін қалпына келтіру үшін R_{pt} және $R_{эт}$ резисторларындағы кернеу амплитудасы V_{DD} = 5 В. үшін 0,5 В аз етіп таңдалады. $R_{ығысу}$ шамасын сәйкесінше тағдау кезінде R_{pt} арқылы өтетін токты және температуралық сенсордың өзіндік қызуын шектеуге болады. $V_{эт}$ және V_x кернеулерін өлшеу тіректі және сигналды фазалар уақытында жүзеге асады. Бұл кернеулерді тіркеу төртұшты эквивалентті схемаларды қолдану негізінде орындалады (2.3а сурет). I_{pt} тогы төменгі жиілікті кезеушілікті азайтуға мүмкіндік беретін тікбұрышты сигнал түрін көрсетеді. I_{pt} амплитудасы R_{pt} –на тәуелді емес, рұқсат етілген деңгей R_{pt} температурасының барлық диапазонында тұрақты болады. Микроконтроллер кестелік мән негізінде немесе теңдеу шешуде пластиналық резистор температурасын есептейді.

33.1.3 Көпір типті датчиктер үшін интерфейсті схема

Бұндай интерфейс резисторлық көпірлерді өлшеуге бейімделген, 3.7 суретте келтірілген. Көпір төрт $R_м$ резисторларынан тұрады, ол Δ кедергісінің өзгеруін қамтамасыз етеді. Көпірдің шығыс кернеуінің екі диапазоны үшін екі режим бар: шығыс кернеуінің үлкен мәндерінде көпірдің шығыс кернеуін дискреттеу C_s/4 дискреттейтін конденсаторларын төрт рет паралель қосу арқылы жүзеге асады. Егер көпірдің шығыс кернеуінің V_x максимал мәні бастапқы деңгейден төмен болса, онда оны 15 рет күшейту жүзеге асады. Одан кейін C_s/4 төрт рет паралель қосылған конденсаторлар көмегімен дискреттеу жүзеге асады. Күшейткіш техникалық динамикалық элементтерді қолдану есебінен өте дәл күшейту коэффициентін қамтамасыз етеді және калибровканы талап етпейді. Кернеудің $V_{эт}$ эталонды өлшеудің фаза

уақытында көпір диаганальдарында C_s конденсатор көмегімен дискреттеуге қатысатын бірдей сегіз бөлікке бөлінеді (қарастырылған принципке сәйкес).



3.7 сурет - Интерфейс өлшеу үшін резистивті көпір құрылымы

Сондықтан іске асырылған кристалда бөлгіш кернеу $V_{эт}$ 32 тиімді бөлу. жүргізеді Коэффициенті бөлу, сондай-ақ, өте жоғары дәлдікпен және калибрлеуді талап етеді. Кернеуді өлшеу баламалы төртұштықтың сұлба негізінде жүзеге асырылады (2.3,а сурет). Сонымен қатар, жақсартылған үзу принципі қолданылады.

4 Дәріс №4. Цифрлы-аналогты түрлендіргіштер

Дәрістің мақсаты: код-аналог түрлендіргіштердің түрлері мен принциптерін қолданылу, оларды зерттеу, жіктеу; техникалық сипаттамалары және қасиеттері, олардың артықшылықтары мен кемшіліктері.

4.1 ЦАТ классификациясы

Цифрлы-аналогты түрлендіргіш (ЦАТ) санның екілік кодын белгілі бір түрінде түрлендіруге, кернеу немесе ток, сандық кодтың пропорциональды мәнін анықтауға арналған.

АЖ бойынша сандық-аналогтық түрлендіргіштер мынадай сипаттамаларға жіктеледі:

- шығыс сигналының түрі бойынша: ток шығатын және шығу түріндегі кернеу;
- сандық интерфейс типі бойынша: жүйелі енгізумен және параллель қосуға;
- ЦАТ кристалда саны бойынша: бір арналы және көпарналы;
- жедел әрекеті бойынша: қалыпты және жоғары тез.

4.2 Тізбектелген ЦАТ

4.2.1 Кең-импульсті модуляциялы ЦАТ.

Микроконтроллерлерде кең-импульстік түрлендіру функциясы құрылған. Қарай берілген разрядтылығы түрлендіру контроллер көмегімен өз таймер/санауыштың қалыптастырады реттілігі импульс, салыстырмалы ұзақтығы олардың γ = tp/T арақатынасымен анықталады.

$$\gamma = \frac{D}{2^N}, \qquad (4.1)$$

N – түрлендіргіштің разрядталуы;

D – түрлендірілетін код.

Сүзгі төменгі жиіліктер кернеудің орташа мәнін бөле отырып, импульстерді біркелкілейді.

Нәтижесінде түрлендіргіштердің шығыстық кернеуі

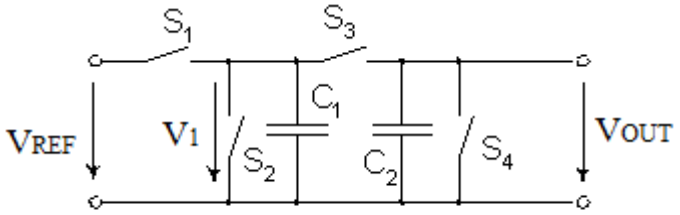
$$V_{OUT} = \gamma \cdot V_{REF} = \frac{D \cdot V_{REF}}{2^N}. \qquad (4.2)$$

Қарастырылған сұлба тамаша сызықтығы түрлендіруді қамтамасыз етеді, құрамында прецизионды элементтер (тірек көзі кернеуді қоспағанда) жоқ. Кемшілігі - төмен жылдамдығы.

4.2.2 Конденсаторларға қосылған тізбектелген ЦАТ .

ЦАТ ШИМ-мен жоғарыда қарастырылған сұлбасы алдымен сандық коды уақытша интервалын түрлендіреді, N-разрядтық түрлендіру алу үшін 2^N уақытша қажет кванттардың (тактов) көмегімен екілік санауышты квант қалыптасады.

4.1суретте келтірілген тізбектелген ЦАТ сұлбасы, тактың аз саны цифрлық-аналогтық түрлендіруін орындауға мүмкіндік береді.



4.1 сурет – Конденсатордағы тізбектелген ЦАТ сұлбасы

Бұл сұлба конденсаторлардың сыйымдылығы C_1 және C_2 тең. Алдында циклді түрлендіру C_2 конденсаторы S_4 кілтімен таусылады. Кіріс екілік сөз дәйекті код түрінде қойылады. Оның қайта құру, дәйекті түрде кіші разрядтың d_0 бастап жүзеге асырылады. Әрбір тактті түрлендіру екі жартылай тактан тұрады. Бірінші жартылай тактіде C_1 конденсатор d_0 - 1 кезде V_{REF} тірек кернеуіне дейін зарядталады, S_1 кілтінің тұйықталуы арқылы немесе d_0 = 0 кезде нөлге дейін S_2 кілтінің тұйықталу арқылы таусылған. Екінші жартылай такт кезінде S_1, S_2 және S_4 тұйықталмаған кілттерінде S_3 кілт тұйықталады, C_1 және C_2 арасындағы заряды екіге бөлуді туғызады.

Нәтижесінде

$$V_1(0) = V_{OUT}(0) = (d_0 / 2) \cdot V_{REF}. \qquad (4.3)$$

осы теңдеуді аламыз.

Әзірге C_2 конденсатордағы заряд сақталады, C_1 конденсатордың заряд рәсімі, d разрядты кіріс сөздер қайталануы тиіс. Жаңа циклдан кейін конденсаторлар қайта зарядтау кернеуін құрайтын болады:

$$V_{OUT}(1) = V_1(1) = \frac{(d_1 + d_0/2)\cdot V_{REF}}{2} = \frac{(2d_1 + d_0)\cdot V_{REF}}{4}. \qquad (4.4)$$

Дәл солай, қалған разрядтар сөздер түрлендіру арқылы орындалады. Нәтижесінде, N-разрядтық ЦАТ-ның үшін шығыс кернеуі тең болады:

$$V_{OUT}(N-1) = V_1(N-1) = \frac{V_{REF}}{2^N}\sum_{k=0}^{N-1} d_k 2^k = \frac{V_{REF}}{2^N} D. \qquad (4.5)$$

Егер түрлену нәтижесі қандай-да бір ұзақ уақыт сақтауға қажет, қосу құрылғысын таңдау және сақтау (УВХ) үшін шығу сұлбасы керек. Цикл аяқталғаннан кейін цикл таңдауды түрлендіру жүргізу керек, УВХ сақтау режиміне аудару және жаңадан бастау керек.

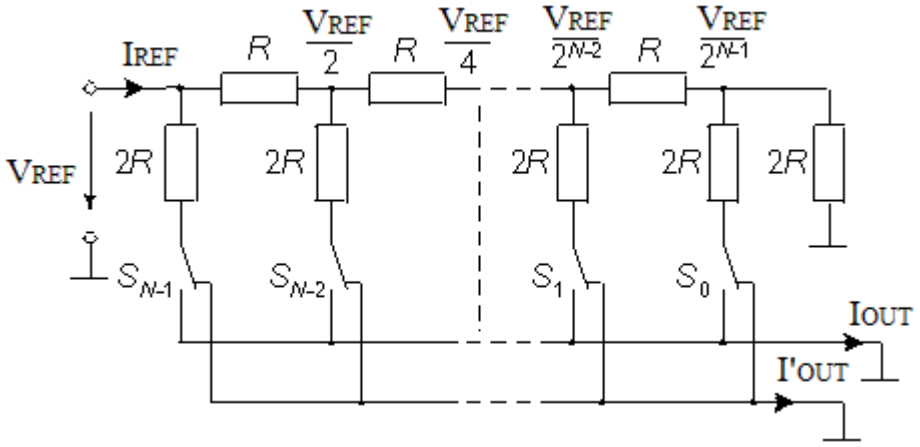
Осылайша, бір ЦАТ ШИМ-ға қарағанда, ұсынылған сұлбасы 2^N кванттардың кіріс коды үшін түрлендіру орындайды, бұл айтарлықтай аз. Мұнда тек екі келісілген конденсатордың кішігірім сыйымдылықтары қажет. Орнату аналогты бөлігінің сұлбасы разрядтылығы, қайта құрылатын кодқа тәуелді емес. Алайда, ЦАТ жедел әрекетіне деген дәйекті айтарлықтай артта қалып параллель сандық-аналогтік түрлендіргішке шектейді қойылады.

4.3 Параллель ЦАТ

4.3.1 Салмақ токтар жинақталған ЦАТ.

Көптеген сұлбалар параллель ЦАТ негізделген токтар салмағы сандық екілік разрядтарға тең, токтар, разрядтар жинақталуы тиіс, олар 1 тең.

Сұлбада тапсырма салмақтық коэффициенттерін сатыларда түрлендіргіштің жолымен жүзеге асырады дәйекті бөлу тірек кернеу көмегімен резистивной матрица тұрақты импеданс. Негізгі элементі мұндай матрицаны білдіреді бөлгіш кернеудің (4.2 сурет), ол қанағаттандыруы тиіс келесі жағдайы: егер ол нагружен арналған кедергісі RL, онда оның кіріс кедергісі RIN сондай-ақ, қабылдауы тиіс мәні RL.

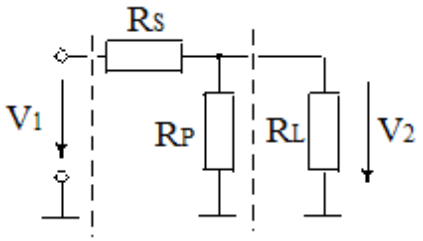


4.2 сурет - Қайта қосылғыштар және R - 2R матрицамен құрылған ЦАТ сұлбасы

α = V_2/V_1 тізбек бәсеңдеу коэффициенті, бұл жүктемеде алдын ала белгіленген мәні болуы тиіс. Осы шарттарды орындау кезінде кедергіні білдіру үшін келесіні аламыз:

$$R_P = \frac{\alpha}{1-\alpha} R_L,\ R_S = (1-\alpha) R_L. \qquad (4.6)$$

Екілік кодты кодтағанда a = 0.5. Егер R=2R қойса, 4.3 суретпен сәйкес келеді.



4.3 сурет - R=2R матрицасының сатыларын құру

Өйткені кез-келген жағдайы S_k қосқыштарын, олар резисторлардың жалпы шиналар сызбаларымен бірге төменгі қорытындылар қосады, тірек кернеу көзі R_{IN} = R тұрақты кіріс кедергісіне жүктелген. Бұл кез келген ЦАТ кіріс коды айнымас тірек кернеу кезінде кепілдік береді.

4.5 суретке сәйкес сызбаның шығатын токтары келесі өрнектермен анықталады:

$$I_{OUT} = \frac{V_{REF}}{R \cdot 2^N} \sum_{k=0}^{N-1} d_k 2^k = \frac{V_{REF}}{R \cdot 2^N} D; \qquad (4.8)$$

$$I'_{OUT} = \frac{V_{REF}}{R \cdot 2^N} \sum_{k=0}^{N-1} \bar{d}_k 2^k = \frac{V_{REF}}{R \cdot 2^N} \bar{D}; \qquad (4.9)$$

ал кіретін ток

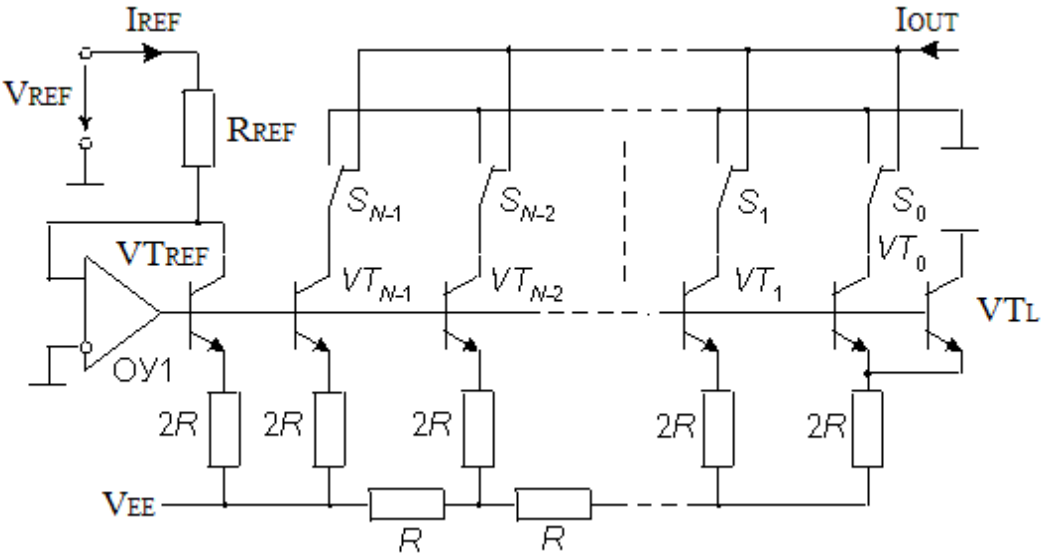
$$I_{IN} = I_{OUT} + I'_{OUT} + \frac{V_{REF}}{R \cdot 2^N} = \frac{V_{REF}}{R}. \qquad (4.10)$$

Өйткені 2R матрицасы резисторлардың төменгі қорытындылары, S_k қосқыштарын кез келген жай-күйінде біріктірілген, жалпы шиналар сұлбалары арқылы төмен кедергісі тұйық кілттер, кернеу кілттерінде әрқашан шағын, шегінде бірнеше милливольт болады. Өйткені демалыс ток ЦАТ байланысты V_{REF} желілік, түрлендіргіштер осындай типті болады сандық кодты көбейту аналогтық сигнал (тірек кернеуіне кіру үшін) бере отырып жасалады. Мұндай ЦАТ көбейтілген деп атайды

Осы сұлбаның дәлдігі, бұл жағдай үшін ЦАТ бар жоғары дәрежелік, келісу R қажет кедергісін кілттерден бастап разрядты тоқпен төмендетеді. Әсіресе кілт үшін жоғары разрядтар маңызды болып табылады.

Ток-өрісі көздерінде ЦАТ жоғары дәлдікпен алынады. Айырмашылығы алдыңғы нұсқасын, онда салмақ токтар қалыптасады резисторлармен салыстырмалы түрде шағын кедергісін және соның салдары ретінде, кедергі кілттер мен жүктемеге тәуелді, бұл жағдайда өлшенетін токтар транзисторлармен ток көздері бар жоғары динамикалық кедергісімен қамтамасыз етіледі

Салмақ токтар резистивті матрица көмегімен қалыптасады. Транзисторлардың потенциалды базасы бірдей, ал олар тең болуы үшін барлық транзисторлар потенциалды эмиттері тең болуы керек, алаңда оларды әртүрлі салмақты коэффициенттерімен сәйкес эмиттер жасайды. Оң жақ резистор матрица жалпы шинасына қосылмаған, сұлбасы 4.5-суретте, ал екі VT_0 және VT_L бірдей транзисторлармен параллель қосылған, соның нәтижесінде VT_0ток арқылы VT_1 жартысына тең. Кіріс кернеуі үшін резистивті матрицалар көмегімен құрылады және тірек транзистордың VT_{REF} және операциялық $ОУ_1$, шығу кернеуі белгіленеді, бұл коллекторлі VT_{REF} ток транзистордың I_{REF} мәнін қабылдайды.



4.4 сурет – Ток көзіне параллель жалғанған ЦАТ сұлбасы

N-разрядты ЦАТ шығушы тогы

$$I_{OUT} = \frac{I_{REF}}{2^N} D. \qquad (4.11)$$

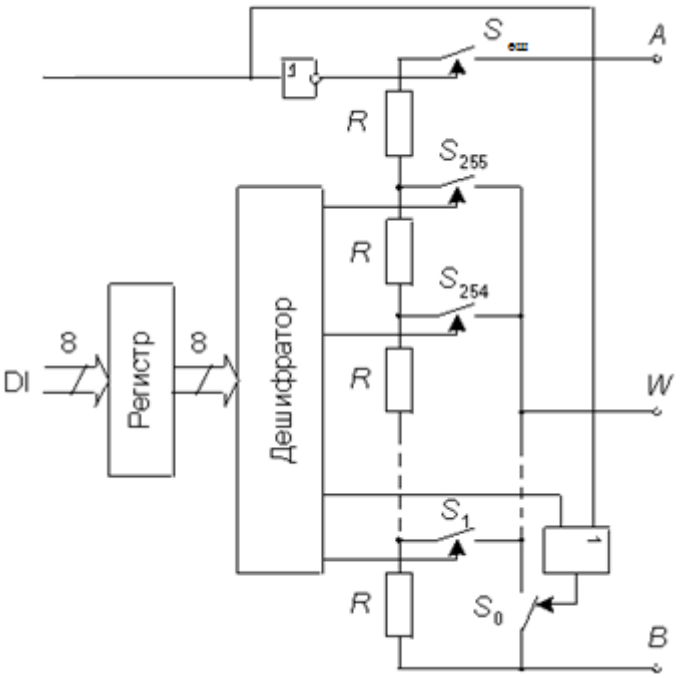
4.3.2 Кернеуді өлшеудегі ЦАТ.

Түрлендіргіш негізін тізбектей жалғанған тізбегі 256 резисторларды тең кедергіні құрайды. W қорытынды арқылы $S_0...S_{256}$ кілттері кез келген нүктесінде осы тізбектің байланысты кіріс саны қосылуы мүмкін. Кіріс екілік код D дешифратормен 8х256 унитарлы ұстанымдық коды тікелей басқарушы кілттерімен өзгертіледі.

Егер U_{AB} кернеуін А жане В шешімімен қоятын болса, онда W және В шешімдерінің кернеуі

$$V_{WB} = V_{AB} D. \qquad (4.12)$$

Артықшылығы: жоғары сызықтығы және кепілдендірілген монотондылық өтпелі сипаттамалары. Кемшілігі: дайындау қажеттілігі үлкен саны келісілген резисторлар.



4.5 сурет – Кернеумен есептелген ЦАТ блок-сұлбасы

5 Дәріс №5. АЦТ классификациясы және сипаттамасы

Дәрістің мақсаты: аналогты сигналды цифрлы кодқа түрлендірудің әдістері мен рәсімдерін оқып үйрену, параллель және тізбектей-параллель АЦТ сызбасы және жұмыс істеу принципі.

5.1 Жалпы мәлімет

Аналогты-цифрлық түрлендіргіштер (АЦТ) кіруші аналогты сигналдар құрылғылармен қабылдайтын, тиісті сандық сигналдар үшін

микропроцессорларды өңдеу және басқа да сандық құрылғылармен жабдықталу болып табылады.

Аналогты-сандық түрлендіру рәсімі үздіксіз түрлендіру функциясының V(t) реттілігі сандарды $\{V(t_j)\}$, j= 0, 1, 2,..., жатқызылған кейбір тіркелген сәттерді білдіреді. Бұл рәсімге екі дербес операцияны бөлуге болады. Олардың бірінші рәсімі дискретизация деп аталады, үздіксіз функциясының V(t) үздіксіз дәйектілігі $\{V(t_j)\}$ қайта құрудан тұрады. Екіншісі кванттау деп аталады және дискретті $\{V(t_j)\}$ сенімхат үздіксіз бірізділікте жүреді.

Үздіксіз сигналдардың дискретизациясы негізіне өлшенген сома ретінде көрсетілген басты мүмкіндік жатады:

$$V(t) = \sum_j a_j f_j(t), \qquad (5.1)$$

мұндағы, a_j – бастапқы сигналды дискретті уақытқа сипаттайтын кейбір коэффициенттер немесе сандар;

$f_j(t)$ – сандар бойынша сигналды қалпына келтіру кезіндегі қарапайым функциялар жиынтығы.

Дискреттіліктің ең көп таралған формасы Котельников теоремасына (таңдама теоремасы) негізделген бірыңғай формасы болып табылады. Бұл теоремаға сәйкес a_j коэффициенттері ретінде дискреттік уақыт $t_j = j \cdot \Delta t$ кезіндегі сигналдыңлездік мәндерін қолданған жөн, ал дискреттілік периоды мына шартпен анықталады:

$$\Delta t = \frac{1}{2F_{\max}}, \qquad (5.2)$$

мұндағы, F_{max} – түрлендірілген сигнал спектірінің максималды жиілігі.

Осыған байланысты (5,1) өрнегі бізге таныс таңдама теоремасына айналады:

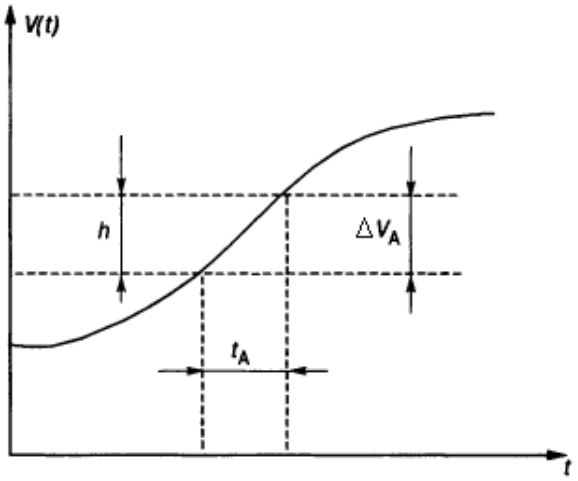
$$V(t) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} V(j\Delta t) \frac{\sin[2\pi F_{\max}(t - j\Delta t)]}{2\pi F_{\max}(t - j\Delta t)}. \qquad (5.3)$$

Қатаң шектелген спектрлері бар сигналдар үшін бұл өрнек жеке басын куәландыратын табылады. Алайда нақты сигнал спектрі асимптота бойымен ғана нөлге ұмтылады. Дискретті бірыңғайлықты мұндай сигналдарға қолдану сынамалармен іріктелген ақпаратты өңдеу жүйелерін нақты жоғары жиілікті бұрмалауға ұшыратады. Бұл бұрмалауды азайту үшін дискреттілік жиілігін арттыру керек, немесе АЦТ алдында бастапқы сигналдың спектрін шектейтін төменгі жиіліктердің косымша фильтрін қолдану қажет.

Жалпы жағдайда дискреттілік жиілікті таңдау қолданылған (5,1) өрнектің fj(t) түріндегі функциясына және таңдамаларына байланысты бастапқы сигналды қалпына келтіру кезінде туындайтын қателік деңгейіне байланысты болады. Мұның бәрін АЦТ қалаған жылдамдықты анықтайтын дискретизация жиілігін таңдау кезінде ескеру керек. Дискретизация операцияларын орындау кезіндегі АЦТ - дің орналасуын толығырақ қарастырайық.

Жеткілікті тар жолақты сигналдар үшін дискреттілік операциясын кванттау операциясымен біріктіру арқылы АЦТ-дің өзімен орындауға болады. Мұндай дискреттіліктің басты заңдылығы ретінде, жалпы жағдайда кіріс сигналының параметрлеріне байланысты, бір түрлендірудің аяқталу уақыты мен оның аяқталуының белгісіздігі жатады. Оларды апаруға тиіс есептер мағынасы мен уақыт моменттерінің арасындағы бірмәнді сәйкестілік табылмай жатыр. Уақыт бойынша өзгеретін сигналдармен жұмыс істеу нәтижесінде спецификалық қателіктер туындайды, олар өзінің туындауына байланысты спецификалық, оларды бағалау кезінде, жалпы уақытпен сипатталатын апертурлық белгісіздік түсінігі енгізіледі.

Апертурлық t_A уақыты дегеніміз – жинақтау мәні мен соған жататын уақыт арасындағы белгісіздік сақталатын уақыт. Апертурлық белгісіздіктің әсері өлшемдер мезетінде берілген сигналдың лездік мәнінің қателігі ретінде, немесе сигналдың лездік мәні берілген кездегі жүргізілген өлшемге байланысты уақыт мезетіндегі қателік болуы мүмкін. Бірыңғай дискреттілік кезінде апертурлық белгісіздіктің нәтижесі ретінде апертурлық деп аталатын және апертурлвқ уақыт кезіндегі сигналдың артуына сандық турде тең болатын амплитудалық қателіктердің пайда болуы жатады.



5.1 сурет –Кванттау қадамына тең болған кездегі,
апертурлық қателіктің пайда болуы

Әдетте апретурлық қателіктердің бағалау үшін синусоидалы сынақ сигналы $V(t) = V_{max} \cdot \sin\omega t$ қолданылады, бұл сигнал үшін апертурлық қателіктің салыстырмалы максималды мәні:

$$\Delta V_A / V_{\max} = \omega t_A . \qquad (5.4)$$

Егер АЦТ-дің N-разрядты 2^{-N} түрінде кеңейтілген түрінің апертурлық қателігі кванттау қадамынан (5,1 сурет) аспау керек деп қабылдасақ, онда сигнал жиілігі, t_A апертурлық уақыт және салыстырмалы апертурлық қате арасындағы байланыс мына түрде болады:

$$1/2^N = \omega t_A . \qquad (5.5)$$

Қателігі 1%, жиілігі 100 кГц болатын синусоидалы сигналдың дискреттілігін қамтамасыз ету үшін, АЦТ-тің түрлендіру уақыты 25 нс тең болуы керек. Сол уақытта осындай тез әсерлі АЦТ-тің көмегімен, спектр ені 20 МГц жуық болатын сигналдарды дискреттеуге болады.

Осылайша АЦТ-тің комегімен болған дискреттілік тез әсерлі АЦТ пен дискреттілік кезеңінің арасындағы елеулі айырмашылықтардың талаптарына әкеледі. Бұл айырмашылықтар 2.....3 тәртібіне әкеледі және ол дискреттілік процесін қиындатып және қымбаттатып жібереді, тіпті салыстырмалы түрде тар жолақты сигналдар үшін тез әсерлі АЦТ қажет. Сигналды тез өзгертетін жеткілікті кең класстар үшін бұл қателік аз апертурлық уақыты бар сақтау және таңдау құралдарында шешіледі.

«Кедергі-код» түрлендірулерінің бір бірінен дәлдігі арқылы, түрлендіру жылдамдығы және аппараттық жүзеге асырудың қиындығына байланысты ерекшеленетін көптеген әдістері бар.

Параллельді АЦТ (Аналогты-цифрлық түрлендіру).

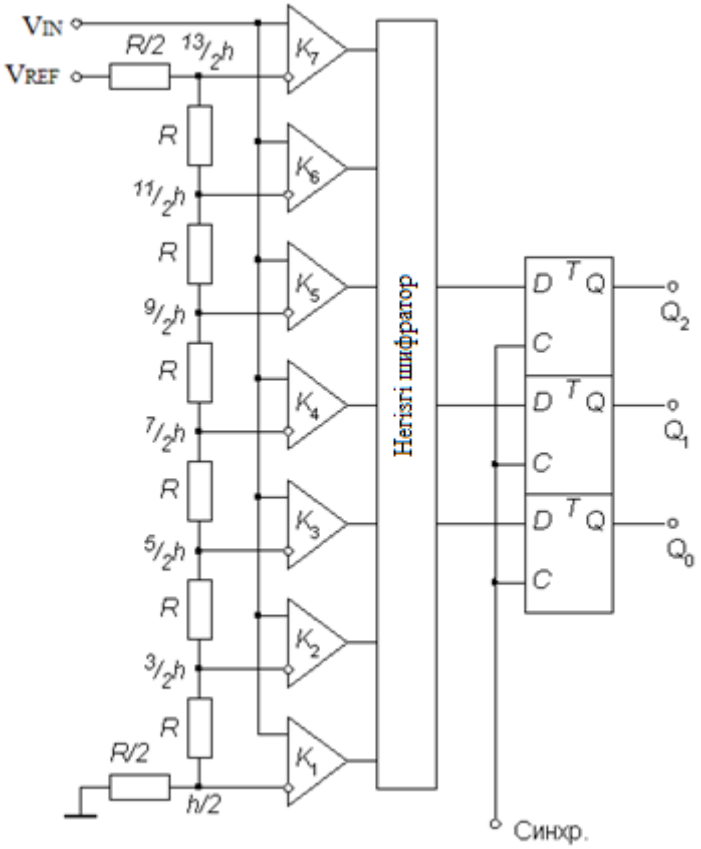
Бұл типтегі АЦТ сигналдың квантталуын кіріс сигналға параллель қосылған компараторлар жиынтығымен бірге іске асырады.

3 разрядты сан үшін аналогты-цифрлық түрлендіруді қарастырайық.

Үш екінші разряд арқылы, нольді қосқанда, 8 әртүрлі сан келтіруге болады. Демек, жеті компаратор қажет. Резисторлық (кедергілік) бөлгіш алқылы жеті арнайы эквидистанттық тірек кернеуі пайда болады.

Егер берілген кіріс кернеу 5/2h және 7/2h диапозонының аралығынан шықпаса, онда 1-ден 3-ге дейінгі компараторлар 1 жағдайына қойылады, ал 4-ден 7-ге дейінгі компараторлар 0 жағдайына қойылады, бұндағы $h = V_{REF}/7$-кіші мәнді АЦТ разрядына сәйкес кіріс кернеу кванты. Бұл топтағы кодтардың үш өлшемді екілік санға түрлендіруін, басымдылық шифраторы деп аталатын логикалық аспап іске асырады. Оның күйінің диаграммасы 5.1 кестеде көрсетілген. Басымдылық шифраторын АЦТ-ның шығысына тікелей қосу, шығыс кодты оқу кезіндегі қателікке алып келуі мүмкін. Мысалы, үштен төртке ауысу, немесе, екілік кодта 011-ден 100-ге ауысу. Егер аз кідіріс уақытына байланысты үлкен разряд өзінің күйін басқаларынан бұрын өзгертсе, одна уақытша шығысында 111 саны, яғни жеті саны, пайда болады. Бұл жағдайда қателік көлемі өлшеніп отырған диапазонның жартысына тең болады. Аналогты-цифрлық түрлендіргіштің түрлендіру нәтижесі сақтау құрылғысына жазылатындықтан, қате шама алу мүмкіндігі бар. Бұл продлемманы шешу үшін, мысалы, іріктеу сақтау құрылғысы пайдаланылады. 5.1 кестесінен көріп отырғанымыздай, кіріс сигналын үлкейтсек компаратор 1 күйіне астыдан үстіге кезекпен қойылады. Бірақ бұндай кезектесуге кіріс сигналының тез артуы кезінде кепілдік берілмейді. Себебі, уақыт кідірісі әртүрлі болуына байланысты компаратор басқа кезекпен қосылуы мүмкін.

Басымдылық кодтау қателіктен құтылуға мүмкіндік береді, себебі кіші разрядтағы бірліктерге шифратор мән бермейді.



5.2 сурет - Параллельді АЦТ сұлбасы

5.1 кесте - параллельді АЦТ күйінің кестесі

Кіріс кернеу V_{IN}/h	Компаратор күйлері $K_7K_6K_5K_4K_3K_2K_1$	Шығыстар $Q_2\ Q_1\ Q_0$
0	0000000	000
1	0000001	001
2	0000011	010
3	0000111	011
4	0001111	100
5	0011111	101
6	0111111	110
7	1111111	111

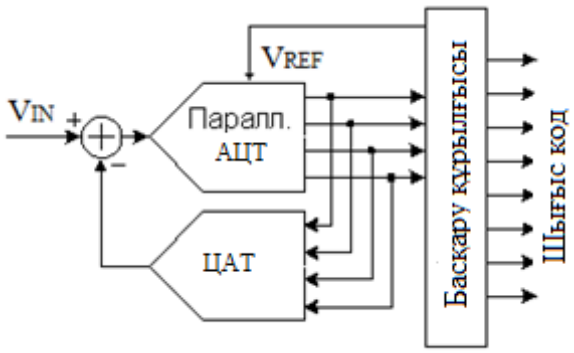
Компароторлардың бір уақытта жұмыс істеуіне байланысты параллельді АЦТ ең тез болып табылады. Мысалы, MAX104 типті сегізінші разрядты түрлендіруші, бір секундта 1 млрд есеп алуға мүмкіндік береді, кідіріс уақыты 1.2 нс көп емес уақытта. Бірақта бір кемшілігі бұл схема күрделі. Шыныменде, N-разрядты параллельді АЦТ 2^{N-1} компаратордан және 2^N үйлескен резисторлардан тұрады. Осыдан оның қымбаттылығы (жүздеген АҚШ

доллары) және куатты көп пайдалануы шығады. Мысалы, MAX104 типті түрлендіргіш 4 Вт куат пайдаланады.

5.3 Тізбекті-параллельді АЦТ

5.3.1 Көпжақты тізбекті-параллельді АЦТ.

Көпжақтылар типіне жататын 8-разрядтық тізбекті-параллельді АЦТ үшін мысалды қарастырайық (5.4 сурет). Мұнда түрлендіру процессі уақыт бойыншп бөлінген . Түрлендіргіш 4-разрядтық параллель АЦТ-дан тұрады, h кванты 4-разрядтық ЦАТ және басқару құрылғылары қайнауымен анықталады. Егер максималды кіріс сигналы 2,56-ға тең болса, онда бірінші текті түрлендіргіш кванттау h1=0.16 қадамымен жұмыс істейді. Бұл уақытта ЦАТ-тың кіру коды нөлге тең. Басқару құрылғысы АЦТ-дан алынған бірінші текті төрт үлкен разрядты сөзді шығыс регистріне беріліп, бұл сөз ЦАТ-тың кірісіне беріліп, АЦТ-ның тірек кернеуін 16 есеге азайтады. Осындай жағдаймен, екінші текті кванттау қадамын h2= 0.01 есептеу кезінде пайда болған сұлбаның кіріс кернеуінен ЦАТ-тың шығыс кернеуіне қалыптасқан қалдығы шығыс сөздерінің кіші жарты байтына айналатын болады.



5.3 сурет - Көпжақты АЦТ-ның структуралық сұлбасы

Алдыңғы түрлендіргіштегідей көпжақты АЦТ-ның кіріс кернеуі түрлендіру кезінде өзгермеуі тиіс, ол үшін кіру алдында және кіріс сигналының қайнаркөзіне таңдау және сақтау құрылғыларын қосу қажет.

Тез істеу жағынан көпжақты АЦТ көпсатылы АЦТ мен тізбекті АЦТ-ның арасындағы жақындату аралығы болып табылады.

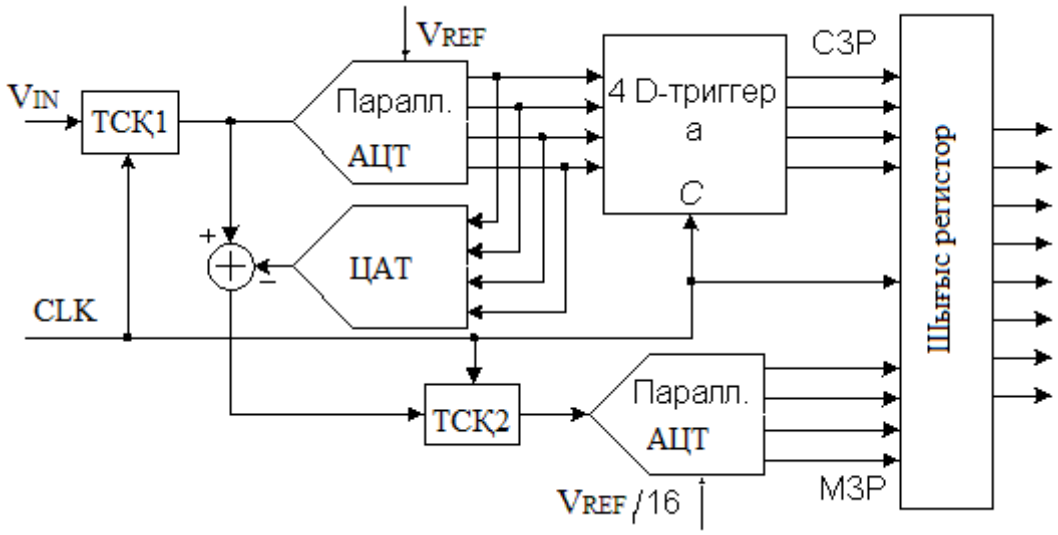
5.3.3 АЦТ конвейері.

Көпсатылы АЦТ-ға кіріс сигналын өңдеудің көпсатылы конвейерлі принципін қолданып, жұмыс істеу жиілігін арттыруға болады.Қарапайым екісатылы АЦТ-ларда (5.3 сурет) алғашында АЦТ1-дің көмегімен үлкен разрядты шығыс сөздерін өзгерту жүзеге асады да, кейін ЦАП-қа шығыс сигналын орнату периоды жүзеге асады. Бұл интервалда АЦТ2 жұмыс істемейді. Екінші қалдықты түрлендіру этапында АЦТ2 түрлендіргіші жұмыс істеп, АЦТ1 жұмыс істемейді. Түрлендіргіш сатыларына аналогты-цифрлы

сигналдардың жиіліктерін енгізу барысында, конвейерлі АЦТ-ны аламыз, 8-разрядтық нұскасының сұлбасы 5.4 суретте көрсетілген.

Аналогты элемент жиілігі ТСҚ2 таңдау және сақтау құрылғыларын орындайды, ал цифрлы төрт D-триггерді. Триггерлер үлкен жарты байттардың шығыс регистріне бір период уақыт сигналының CLK берілуін азайтады.

Таңдау сигналдары, уақыт сигналдарының өзгерген түрлері, ТСҚ1 мен ТСҚ2-ге әр түрлі уақытта түседі. ТСҚ2 ТСҚ1 уақытына қарағанда сақтау режиміне кештеу түседі, ол АЦТ1 мен ЦАТ-ның жалпы таралу жиілігінің сигналына тең. Уақыт сигналының артқы фронты кодтарды D-тиггері мен шығыс регистріне жазуды басқарады. Кіріс сигналдарын толық өңдеу уақыты CLK-ның екі периодына сәйкес келеді, бірақ шығыс кодтарының жаңа мәндерінің шығу жиіліктері уақыт сигналының жиілігіне сәйкес келеді.



ЦАТ - цифрлы-аналогты түрлендіргіш;
АЦТ - аналогты-цифрлы түрлендіргіш;
ТСҚ - таңдау-сақтау құрылғылары.

5.4 сурет - Конвейерлі АЦТ-ның структуралық сұлбасы

Осындай жағдаймен, көпсатылы АЦТ-ның конвейерлі архитектурасы максималды жиіліктің дискреттілігін бірнеше есеге өсіруге мүмкіндік береді. Сонымен қатар сигналдың жалпы кідіріс өтпелілігі сақталады, тиесілі қарапайым көпсатылы АЦТ-ға тең саты саның айтарлықтай құндылықтары жоқ.

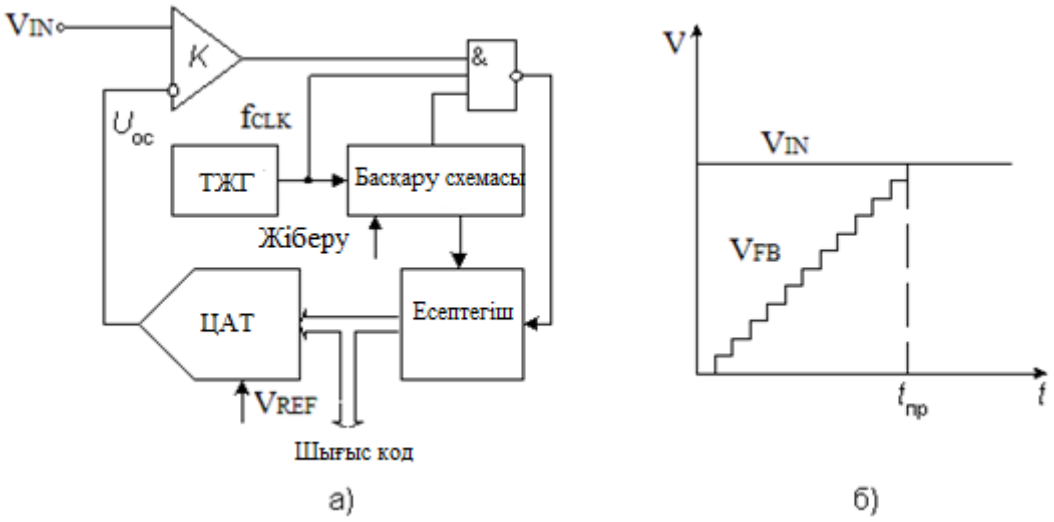
6 Дәріс №6. Тізбекті интегралдағыш АЦТ

Дәрістің мақсаты: аналогты сигналдардың түрлендіру әдістерін тізбекті және интегралдағыш АЦТ-тер арқылы оқып үйрену, олардың жұмыс істеу принципімен және қолдану кезіндегі шектеулерімен танысу.

6.1 Тізбекті АЦТ

6.1.1 Тізбекті санағыштың АЦТ-і.

Бірлік жуықтаулы АЦТ Компаратор, санағыш және цифрлы-аналогты түрлендіргіштен (ЦАТ) (6.1 сурет) тұрады. Компаратордың бір кірісіне кіріс сигналы түседі, ал басқасына ЦАТ-тің кері байланысқан сигналы түседі. Түрлендіргіштің жұмысы, тактілі импульстер генераторынан келіп түсетін импульс санын анықтайтын, санағышты қосатын импульстің келуінен басталады. Санағыштың шығу коды түрлендіргішті V_{FB} кері байланыс кедергісіне айналдыратын ЦАТ-ке беріледі. Түрлендіру процесі, кері байланыс кедергісі кіріс кедергісімен салыстырылып және өзінің шығыс сигналымен тактілі импульстердің санағышқа келіп түсуін тоқтататын компаратор қосылғанша жалғасады. Компаратордың шығуы 1-ден 0-ге өткен кезде түрлендіру процесі аяқталды деген сөз. Шығу коды түрлендіру аяқталатын кездегі кіріс кедергісіне пропорционал.



а) құрылымдық сұлба; б) шығу сипаттамасы.

6.1 сурет - Тізбекті санағышты АЦТ

АЦТ-тің бұл түрінің түрлендіргіші ретінде айнымалы уақыт және кіріс кернеуі болып табылады. Оның максималды мағынасы максималды кіріс кернеуіне және N дәрежедегі екілік санағыштың разрядтылығына және f_{CLK} тактілі импульстердің жиілігіне сәйкес келеді:

$$t_{\max} = (2^N - 1) / f_{CLK}. \qquad (6.1)$$

Мысалы, N=10 және f_{clk}= 1 МГц кезінде, t_{max} = 1024 мкс. Ол 1 кГц шамасында дискреттіліктің максималды жиілігін қамтамасыз етеді.

Түрлендірудің статикалық қателігі ЦАТ және компаратор қолданатын жиынтық статикалық қателікпен анықталады. Санағыш импульстің жиілігін өтпелі процестердің аяқталуына байланысты таңдау керек.

Осыған орай, Тізбекті санағышты АЦТ-тің ерекшелігі – бірнеше кГц-қа жететін дискреттіліктің азғантай жиілігі болып табылады.

Берілген класстағы АЦТ-тің жетістігі – түрлендіру процесі кезінде тізбекті ретімен анықталатын, құрылымының салыстырмалы

қарапайымдылығы. Қазіргі таңда мұндай АЦТ интегралды микросұлба ретінде жасалмайды.

6.1.2 Тізбектілі жуықтайтын АЦТ.

Бұл түрлендіргіштер класының негізінде дихотомия принципі, яғни өлшенетін 1 /2,1 /4, 1/8 және т.б. шамаларының мүмкін болатын максималды мәндерімен тізбектелген түрде салыстыруы. Бұл N-разрядты тізбектілі жуықтайтын АЦТ-ке, тізбекті санағыш 2^N-1 қолданғанға қарағанда, N тізбекті қадам (итерация) ішінде бүкіл түрлендіру процесін іске асыруға мүмкіндік береді және тезәсерлік кезде елеулі қолжетімділіктерге әкеледі. Сонымен N=10 кезінде тезәсерлік 100 есе көбейеді, ол 1 секундта 10^5...10^6 дейін түрлендірулер алуға мүмкіндік береді. Осы уақытта, қолданылған САТ-ке байланысты анықталатын, осы типті түрлендірудің статикалық қателігі өте аз болуы мүмкін, бұл дискреттіліктің 200 кГц жиілігі кезінде 18 екілік разрядқа дейінгі айыру қабілетін ңске асыруға мүмкіндік береді (мысалы, DSP101 Burr-Brown фирмасы).

Тізбектілі жуықтайтын АЦТ (6.2,а сурет), үш басты түйіннен тұратын, 4-разрядты түрлендіргіштен: компаратор, тізбекті жуықталу регистрі (ТЖР) және ЦАТ-тен тұрады. «Пуск» командасы берілгеннен кейін, ТЖР-нен бірінші тактілі импульс келгеннен соң, шкаласының жартысына тең (4-разрядты ЦАТ үшін ол 1000 = 8_{10}) ЦАТ-тің кірісіне код беріледі. Осының арқасында V_{FB} кедергісі САТ шығысында мынаған тең:

$$V_{FB} = 2^3 h\,. \qquad (6.2)$$

мұндағы, h – кіші разряд мағынасына сәйкес, ЦАТ-тің шығу кернеуінің кванты.

Бұл шама түрлендіргіш сигналдың мүмкін диапазондарының жартысын құрайды. Егер кіріс кернеуі бұл шамаға қарағанда көп болса, онда компаратордың шығу кезінде 1 орнатылады, кіші болса 0 орнатылады. Осы соңғы жағдайда басқару сұлбасы үлкен d_3 разрядты қайтадан бастапқы 0-жағдайына ауыстыру керек.

Сәйкесінше, осының соңынан қалдық,

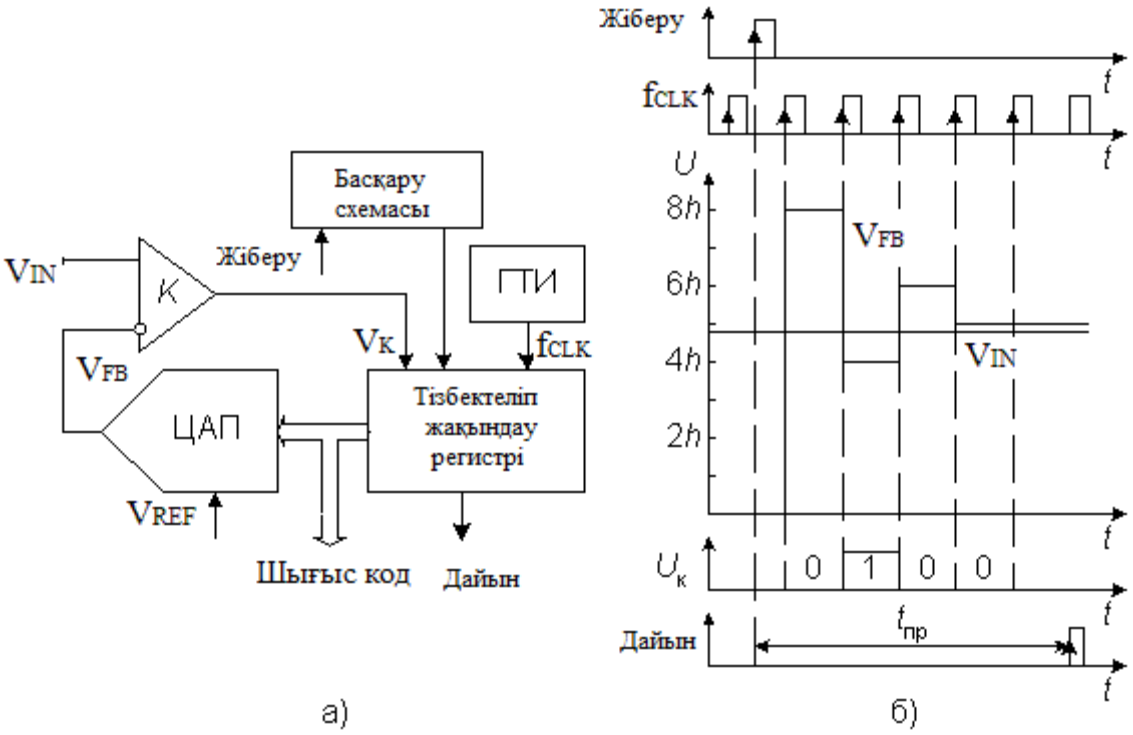
$$V_{IN} - d_3 2^3 h \qquad (6.3)$$

жақын тұрған кіші разрядпен салыстырылады және т.б.

Тізбекті жуықтау регистрінде V_{IN} бір кіші разрядтың мағынасына сәйкес келетін сандық-аналогты түрлендіруден кейін кернеу пайда болатын 4 туралау қадамынан алынатын екілік сан пайда болады. Шығу саны тізбекті параллельді екідік кодтың N сызығы түріндегі жуықтау регистрімен саналады. Бұдан басқа, компаратордың шығысындағы түрлендіру процесі кезінде, 6.9,б суреттер көрсетілгендей, үлкен разрядтармен тізбекті код түріндегі шығыс саны қалыптасады.

Таңдау және сақтау құрылғыларсыз жұмыс кезінде апертурлық уақыт түрлендіргіштің бастау және шынында аяқталған уақыт аралығына тең, ол тізбекті санағыш АЦТ кезінде де кіріс сигналына байланысты, яғни айнымалы

болып табылады. Осы кезде пайда болатын апертурлық қателіктер сызықтық емес сипатқа ие. Сондықтан кіріс және түрлендіргіш сигналдың қайнар көзінің арасындағы тізбекті АЦТ-тің тиімді қолданылуы үшін сақтау және таңдай құрылғыларын қосқан жөн.



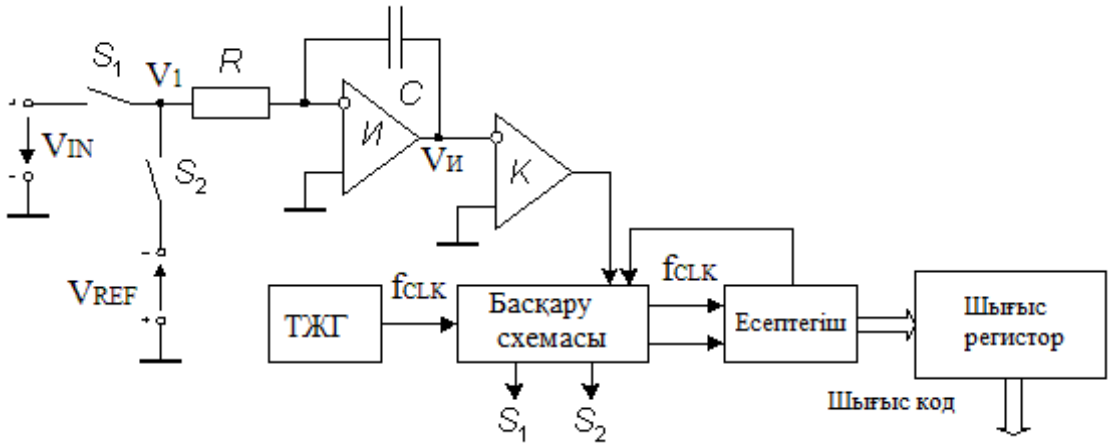
а) функционалдық сұлба; б) уақытша диаграммалар.

6.2 сурет - Тізбектілі жуықтайтын АЦТ

6.2 Интегралдағыш АЦТ

6.2.1 Көптактілі интегралдағыш АЦТ.

Екі негізгі тактте жұмыс істейтін АЦТ сұлбасы 6.3 суретте көрсетілген. Түрлендіру екі кезеңнен тұрады: интегралдау кезеңі және есеп кезеңі. Бірінші кезеңнің басында S_1 кілті жабық, ал S_2 кілті ашық. N интеграторы V_{IN} кіріс кедергісін интегралдайды.



6

.6.3 сурет – Екі тактілі интегралдағыштың сұлбасы

Кіріс кернеуінің интегралдау уақыты t_1 тұрақты; таймер ретінде санағыш ретіндегі қайта есепте коэффициенті $К_{сч}$ қолданылады, сондықтан

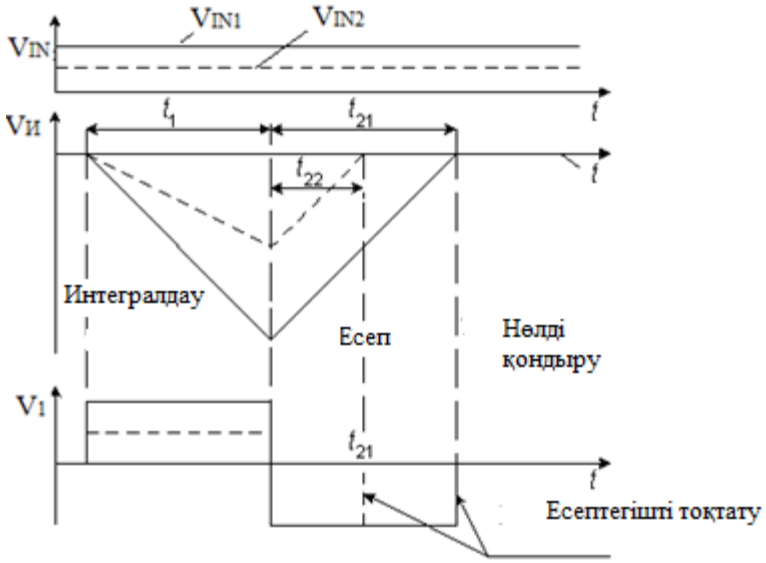
$$t_1 = \frac{K_{СЧ}}{f_{CKL}}. \qquad (6.4)$$

Интегралдаудың аяқталу кезіне қарай интегратордың шығыс кернеуі мынаған тең:

$$V_И(t) = -\frac{1}{RC}\int_0^{t_1} V_{IN}(t)dt = -\frac{V_{IN(AV)}K_{СЧ}}{f_{CLK}RC}, \qquad (6.5)$$

мұндағы, $V_{IN(av)}$ - t_1 уақыт кезіндегі орташа кіріс кедергісі.

Интегралдау кезеңі аяқталғаннан кейін S_1 кілті ашылады, ал S_2 жабылады, және интегратордың кірісіне V_{REF} қолдау кернеуі келіп түседі. Бұл ретте кіріс кернеуіне қарама қарсы белгідегі қолдау кернеуі таңдалады. Санау кезеңінде интегратордвң шығыс кернеуі, 6.4 суретте көрсетілгендей, сызықты түрде абсолютті түрде азаяды.



6.4 сурет – Екі тактілі интегралдағыш АЦТ-тің уақытша диаграммалар процесі

Интегратордың шығыс кернеуі 0-ден өткен кезде санау кезеңі аяқталады. Бұл ретте компаратор К қайта қосылып, санау тоқтатылады.

Қорытқы нәтижеге түрлендірілген кернеудің лездік мәндері емес, t_1 уақыты кезіндегі орташа мәндері ғана кіреді. Сондықтан айнымалы кернеу жиілік өскен сайын азая түседі.

6.2.2 Сигма-дельта АЦТ.

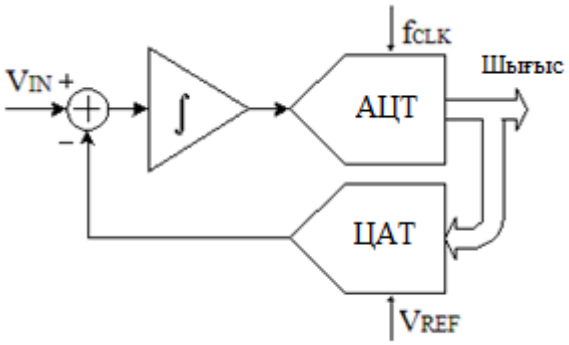
Көптактілі интегралдағыш АЦТ-дің бірнеше кемшіліктері бар:

- операциялық күшейткіштің сызықты емес өту сипаттамалары жоғары айқынды АЦТ түрлендіру сипаттамаларының интегралды сызықты еместігіне әсер етеді, нәтижесінде, олар көптактілі етіп жасалады;
- бөгеуілден қорғанушылық деңгейі төмен;

- сыртқы резистрлер және конденсаторлардың болуы, олар габариттер мен бөгеттерді көбеюіне әсер етеді.

Бұл кемшіліктер сигма-дельта АЦТ құылғыларының көбісінде жойылған. Бұл түрлендіргіштердің аты екі блоктан пайда болған: Сумматор(операцияның белгіленуі - ∑) және интегратор(операцияның белгіленуі -Δ). Осы түрдегі түрлендіргіштерге қойылған принциптердің бірі шу әсерінен болған қателікті азайтуға мүмкіндік береді, және айыру қабілетін көбейтеді – ол үлкен уақыт интервалында есептеу нәтижелердің орташалануы.

АЦТ-дің басты түйіндері – ол сигма-дельта модуляторы және цифрлық фильтр. Бірінші ретті N-разрядты сигма-дельта-модуляторының сұлбасы 6.5 суреттер көрсетілген.



6.5 сурет – Бірінші ретті сигма-дельтамодуляторының құрылымдық сұлбасы

Бұл сұлбаның жұмысы, алдынғы жұмыс сұлбасынан алынған, $V_{IN}(t)$ кіріс сигналының шамасының ЦАТ-тің шығыс сигналының шамасына азаюына негізделген. Алынған айырма интегралданады, содан кейін жоғары емес разрядты параллельді АЦТ-тің кодына түрлендіріледі. Кодтардың тізбегі төменгі жиілікті сандық сүзгішке(фильтр) келіп түседі.

Модулятордың реті интегратор санына және сұлбадағы сумматорға байланысты анықталады. Екінші ретті сигма-дельта-модуляторлары екі сумматордан және екі интегратордан тұрады және сигнал/шу қатынасы бірінше реттіге қарағанда көбірек болады.

Сигма-дельта АЦТ-тің жетістіктері:

- түрлендіргіш сипаттамаларының сызықтығы;
- сигма-дельта АЦТ-тің интеграторының конденсаторының сыйымдылығы анағұрлым аз(ондаған пикофарад), сондықтан олар интегралды сұлбаның кристалында жасала береді.

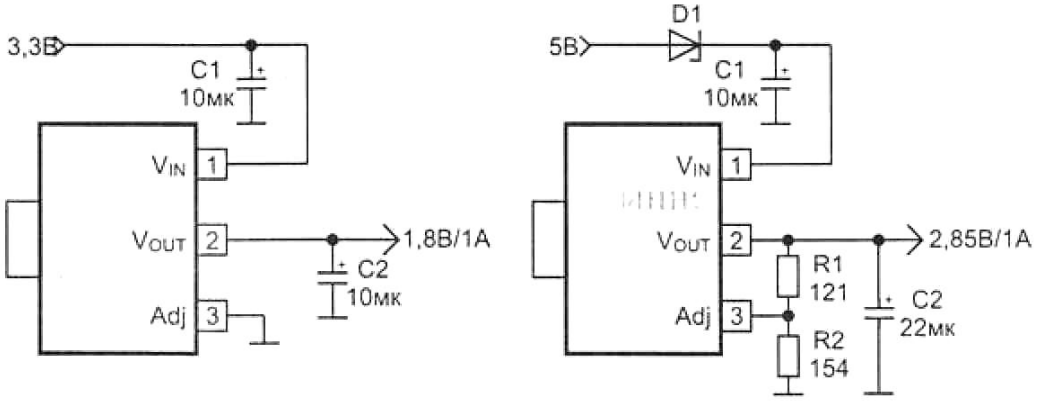
7 Дәріс №7. Кернеудің, токтың және тестілі сигналдардың қорек көздері

Дәрістің мақсаты: тіректік кернеудің, токтың, кернеу тұрақтандырғыштардың, DC-DC түрлендіргіштердің және тестілік сигналдардың генераторларының негізгі микросұлбаларын оқып-үйрену.

7.1 Кернеу көздері

7.1.1 Кернеу көзінің микросұлбалары.

Кернеу көздері арнайы интеграл негізді өлшеу аспаптарында колданылады. Интегралды төменвольтты кернеу көздерін MAXIM (Dallas Semiconductor) фирмасы шығарады. Олар тұрақты 2.5 немесе 5 В, ықтималдық қателігі 2.5 немесе 10 мВ кернеуден тұрады. 7.1 суретте MAX606 микросұлбасының негізгі қосылу сұлбасы көрсетілген.



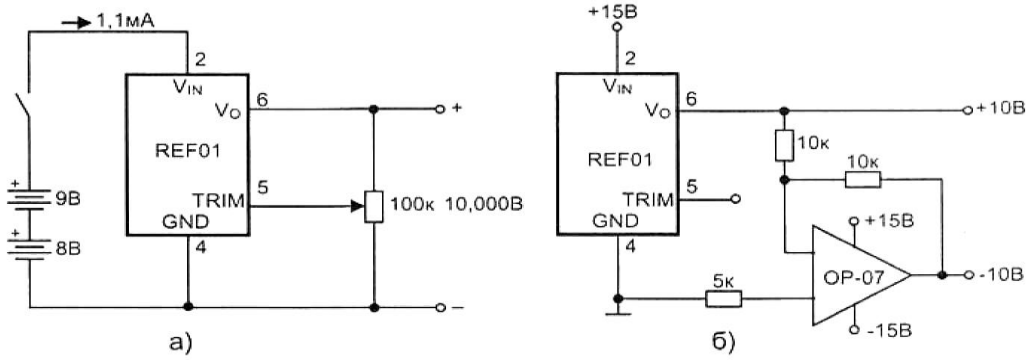
а) реттелмейтін ; б) реттелетін.

7.1 сурет

Микросұлбалардың шу деңгейі төмен. Үлкен жиіліктерде шу деңгейін төмендету үшін сапалы конденсатордың шығу нүкетісін шунттау керек-он немесе жүздеген нФ.

Сондай-ақ REF01/02 атты реттелетін кернеу көзі бар микоросұлбалар шығарылады, айтарлықтай жоғары кернеу алуға мүмкіндік береді 5-10 В арасында ықтмалдық қателігі 3% аспайды. 7.2,а суретіндегі сұлба негізгі сұлба болып табылады. Ауыспалы резистордың көмегімен шығатын кернеді реттеуге және орнатуға болады.

7.2,б суретінде шығатын кернеудің оң және теріс түрі көрсетілген. Мұндай түрлендіргіштер температураны жиі өлшейтін мультиметрде қолданылады.



7.2 сурет - REF01 микросұлбасының кейбір қолдану сұлбалары

7.1.2 Қайталанатын стабилизаторлардың сұлбалары.

Өлшеуіш аспаптың түйіндері мен сыналатын аспаптың , әдетте аса үлкен тұрақты кернеу көзін қажет етеді. Оларды кернеу стабилизаторлары микросұлбасының көмегімен жасайды.

Мұндай микросұлбалар 3 классқа бөлінеді:

- қайталанатын тұрақты кернеу;
- параллельді тұрақты кернеу;
- импульсті құрушы және тұрақты кернеу.

Көпшілік микросұлбалар 1-ші типке жатады және олардың жұмысы аса танымал қайталанатын тұрақты стабилизаторға негізделген, және негізінде интегралдық күшейткіш қолданылады. Бұл сізге жүздеген немесе мыңдаған тұрақтану коэффициентін алуға мүмкіндік береді.

$$K_{ст} = (\Delta U_{кір}/U_{шығ})/(\Delta U_{шығ}/U_{кір}). \qquad (7.1)$$

Мұндай стабилизаторларда (мысалы LM320) негізінде $\Delta U_{кір} > \Delta U_{шығ}$, өйткені кернеудің бір бөлігі аса мықты биполярлы немесе өткелі транзистордың реттейтін элементіне келіп құлайды.

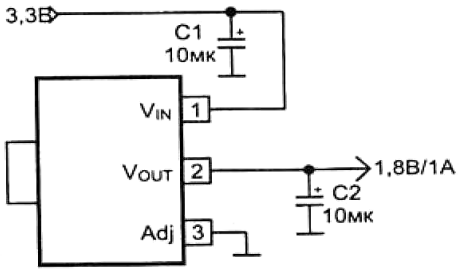
7.3 суретте қайталанатын микросұлбаның реттелмейтін шығу және кернеудің аз құлау элементі көрсетілген. Ол 0,4 тен 1,3 дейін құралады. Шығу кернеуіне тәуелді (1.8-3.3В).

International Rectifier (IR) фирмасы көпканалды тұрақты кернеуді шығарады.

Кемшіліктері: қысқа тұйықталу қаупі бар, сондықтан көп микросұлбалар қысқа тұйықталудан қорғалынған.

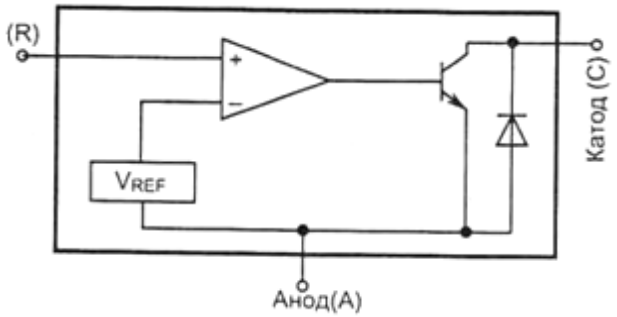
7.1.3 Параллельді стабилизаторлардың микросұлбалары.

Параллельді стабилизаторлар шунттау негізінде құрылған, тоқшектеуіш резистор көзіне жалғанған. Кернеуді арттырған кезде стабилизатордың компараторы шунттаушы транзсторды қаттырақ ашады және кернеу берілген аумағы бойынша түседі.



7.3 сурет - IRU сериясының шығу кернеуінің фикасациясын алуға арналған сұлба

Мұндай стабилизаторлар қысқа тұйықталудан қорықпайды және олар қарапайым аналогты стабилитрон (7.4) сурет сияқты қолданыла алады (көп кемшіліктерден айырылған).



7.4 сурет - К1156ЕР1П - аналогты стабилитронның функционалды сұлбасы

Танымалдылықты алған параллельді стабилизатордың бірі Kl156EP1П.

Бұл микросұлбалар тұрақты орнатылған күшейткіш кернеу көздері бар V_{REF} = 1,24 В ±1%, операциялық күшейткіш және параллельді реттеуіш транзистор. Егер кіріс R катодпен байланыста болса, онда екіполюсті болады, онда стабилитронның тұрақты өзгермейтін функциясына ұқсас болады және өте төмен динамикалық шығу кедергісімен 0,2-0,5 Ом болады.

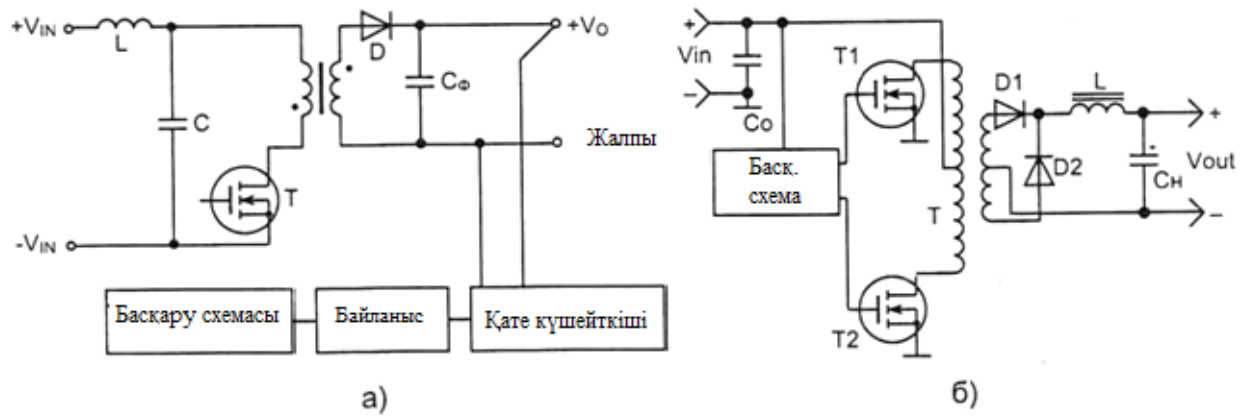
Егер R кірісті екі резистордың бөлінген жеріне қоссақ, онда кернеуді тұрақтандырғышты V_{REF} тен 20 В-қа дейін өзгертуге болады. Микросұлбаның рұқсат етілген себілу кернеуі 0,8 В-қа дейін, сондықтан оның қолданылуы аз қуатты құылғылармен шектелген.

7.1.5 DC-DC импульсті түрлендіргіштердің микросұлбалары.

Сызықтық тізбекті және паралеллельді кернеу тұрақтандырғышының басты кемшілігі, 30-60% ғана құрайтын пайдалы әсер коэффицентінің аз болуында. Оның 70-90% дейін өсуі электр энергиясының кілттік реттеу әдісін колдану кезінде мүмкін болады. Осы кезде кілттің көмегімен тұрақты кіріс кернеуі жеткілікті жоғары жиіліктегі импульс кернеуіне айналады. ОЛ трансформатордың көмегімен азайып, көбеюі мүмкін және түзелгеннен кейін шығыс кернеуі ретінде қолданылуы мүмкін.

Тұрақты кернеудің бір деңгейден екінші деңгейге импульстік түрленуі үшін DC-DC түрлендіргіш микросұлбалары қолданылады. Олар біртактілі (7.5,а сурет) және екітактілі (7.5,б сурет) болып бөлінеді.

Біртактілі түрлендіргіштер өте қарапайым және бір мықты Т дала транзисторында құралады. Түрлендіргіштің кірісінен кернеу (7.5,а сурет) LC фильтрі арқылы беріледі. Ашық транзистор кезінде трансформатордың бірінші байлауының индуктивтілігі кезінде энергия жиналады, ал жабық транзистор кезінде екінші байлау арқылы және Д диод $С_ф$ жинақтаушы конденсаторға беріледі.



7.5 сурет – Біртактілі (а) және екітактілі (б) DC-DC түрлендіргіштердің функциональды сұлбасы

Шығыс кернеуі тірек кернеуімен салыстырылып, және оның күшейткіш айырымы үйлесімдік күшейткішінен кейін кең-импульсті модуляторды (КИМ) басқару үшін қолданылады. Осыған орай, түрлендіргіш V_{out} шығыс кернеуін тұрақтандыратын үйлесімділіктің жабық жүйесі болып табылады.

Екітактілі түрлендіргіштерде транзисторларға деген талаптар азаяды (7.5,б сурет). Бұдан басқа, мұндай сұлба үлкен ПӘК-не ие және, екі жартылай өткізгішті тегістегіш $Д_1$ және $Д_2$ диодтарында қолданғандықтан, екі еселенген жиілікті шығыс кернеуінің толықсуын азайтады.

Түрлендіргіш жиілігі 25 пен 200 кГц арасында болады.

7.3 Синусоидалы сигнал көздері

7.3.1 Синусоидалы кернеуі көздерінің түрлері.

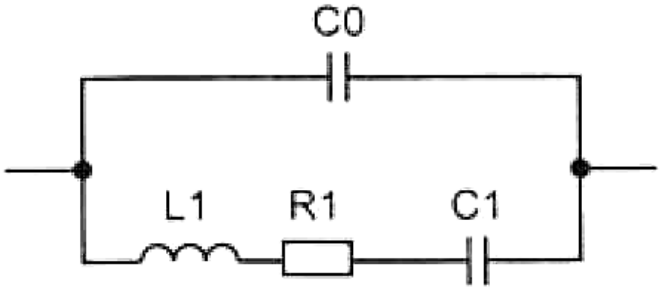
Есептеу техникасында генератордың синусоидалы кернеу көздерінің 3 басты түрлері қолданылады:

- төменгі жиілікті RC-генераторы;
- жоғары жиілікті LC-генераторлары;
- Пьезокриссталды, кварцтық және электромеханикалық резонаторлары бар генераторлар.

Кварцтық генераторлар ең жақсы таңдау қасиеттеріне ие. Оларға ондаған кГц-тен жүздеген МГц-ке дейінгі диапазон арасындағы жиіліктегі тұрақты кварцты генераторлар құрылады. Жоғары жиілікті резонаторлар жиілікті есептеу сұлбаларында көп қолданылады.

Кері пьезоэффекттің арқасында, кварцтық пластина айнымалы кернеуден қосымшаға қарай ауытқиды. Егер оның жиілігі механикалық резонатордың жиілігіне жақындаса, онда механикалық ауытқулардың амплитудасы бірден көбейеді және кварцтағы тура пьезоэффекттің арқасында, кварцтық пластина арқылы өткен тоқты өсіретін электрлік өріс пайда болады. Осы кезде резонатор, бірнеше миллионға дейін, Q төзімділікті тізбекті LCR-контур секілді болады. Пластина байлауының сыйымдылығын ескерсек,

кварцтық резонатордың эквивалентті сұлбасы 7.6 суретте көрсетілген түрге келеді.



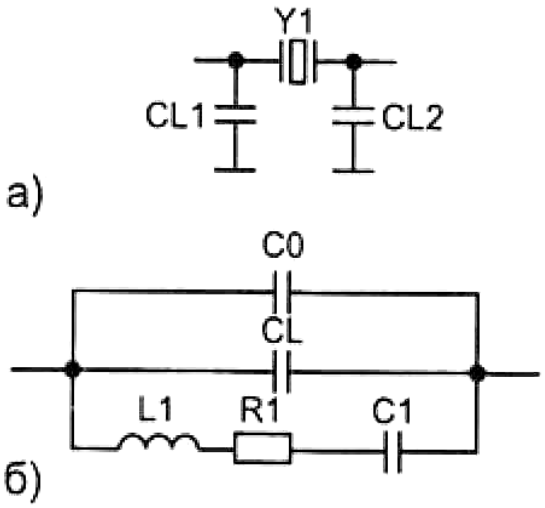
7.6 сурет –Кварцтық резонатордың эквивалентті сұлбасы

Кварцтың резонансы тізбекті секілді, параллельді эквивалентті ауытқулы контур болуымүмкін. Есептеулер нәтижесі резонанстық жиіліктің өте жақын, бірақ ерекшелігі бар екенін көрсетеді.

Кварцтық резонаторды баспа тақташасына орнату кезінде CL_1 және CL_2 монтаждау(кернеу) сыйымдылығын ескеру керек – 7.7,а сурет. Осының нәтижесінде кварцтық резонатордың эквивалентті сұлбасы 7.7,б суретте көрсетілгендей түрге келеді.

Тізбекті f_s және параллельді f_p резонансталған кварцтық резонаторлардың жиіліктері мынаған тең:

$$f_S = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 \cdot C_1}} \qquad \text{және } f_P = f_S\sqrt{1+\frac{C_1}{C_0 + C_L}}\,. \tag{7.2}$$



7.7 сурет –Баспа тақташаға (а) және эквивалентті сұлбаға(б) орнатылған кварцтық резонатордың сұлбасы

Кварцтық резонатордың төлқұжаттық деректерінде әдетте параллельдік резонанстың жиілігі және кернеу сыйымдылығы көрсетіледі. F_p-ға арналған формуладан номиналдық мағынадағы C_L сыйымдылығының сәйкессіздігі кезінде параллельдік резонанстың жиілігінің ауытқуын паспорттық деректерден байқау қиын емес. C_L кернеу сыйымдылығын ауыстыра отырып,

кварцтық резонанстың резонанстық жиілігін кейбір кішкене шектеулерде өзгертуге болады.

Кварцтық резонатордың механикалық қасиеттерінің өте жақсы тұрақтылығының және эквиваленттік контурлардың жоғары беріктілігінің арқасында, кварцтық автогенератрлардың бірыңғай тұрақсыздығының жиілігі 10^{-5}-10^{-4} құрайды, ал кварцтық резонаторлар үшін 10^{-8}-10^{-6} дәрежедегі термостатарға орналасады. Осы параметрлерге байланысты бірыңғай молекулярлы және лазерлі генераторларды қоспағанда кварцтық генераторлар басқалардан асады.

8 Дәріс №8. Магнит өрісін түрлендіргіштер

Дәрістің мақсаты: магнит өрісін түрлендіргіштердің жұмыс істеу принципін, Холл элементін, магниторезистрорлардың қолдану аймағы мен сипаттамасын, магнитодиодтарды,магнитотранзисторларды және Виганда датчикын оқып үйрену.

8.1 МӨТ сипаттамалары

Микроэлектроника мен интегралды магнит сезімталды элементтердің синтезі нәтижесінде жаңа ғылыми-техникалық бағыт – микромагнитоэлетроника пайда болды. Микромагнитоэлетроника бұйымдары өндірістік процесстерді басқару, автомобиль электроникасында, өлшеу мен есептеуші техникада, дефектоскопияда, медициналық және үй құрылғыларында пайдаланылады.

Магнит өрісін қолданушы құрылғылардың негізгі элементі, магнит өрісін электр сигналына түрлендіруші, магнит өрісін түрлендіруші болып табылады (МӨТ). МӨТ жасағанда шалаөткізгіштер мен металдарда болатын әртүрлі физикалық құбылыстар қолданылады.

Магнит өрісін түрлендіруші, төсем-ұстағышқа орнатылған, сигналды күшейткіш және өңдегіш электронды сұлбамен жалғау үшін бірнеше шығысы бар магнит сезімтал элемент (МСЭ) болып табылады.

Холл элементі, магниторезистор, магнитодиод, магнитотранзистор түрінде жасалған МСЭ үлкен сұраныста.

МӨТ-ті сипаттайтын негізгі критери болып,оған әсер ететін магнит өрісі индукциясының оның шығыс сигналына қатынасын көрсететін, шығыс сипаттамасы болып табылады.

МӨТ-тің сызықты емес түрлендіру коэффицентін графикалық түрде анықтайды. Ондай сипаттама 8.1 суретте көрсетілген.

Түзудің үстінен және астынан өтетін максималды ауытқу (е) бірдей болу үшін, шығыс сипаттамасыны кординатасының басынан өткіземіз.

Мысалы, Холл элементі үшін, $R_н = R_{опт}$. кезінде, оптималды жүктеме кедергісіне сәйкес келеді.

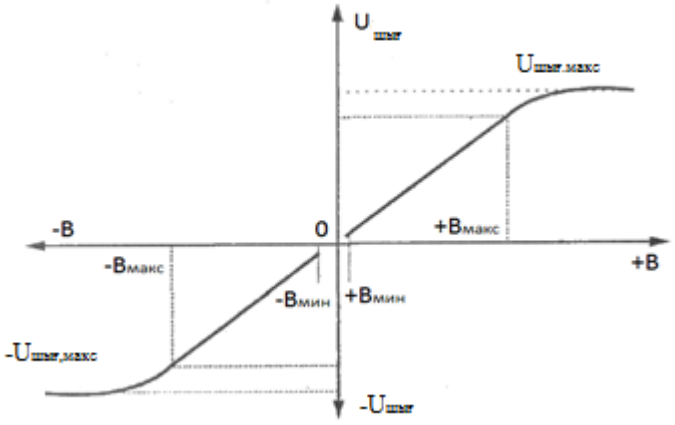
Максималды ауытқу келесі формула бойынша есептеледі:

$$\varepsilon = \Delta U_{ВЫХ} = U_1 - U_2 . \quad (8.1)$$

Сызықты емес коэффицент харахтеристикасы ΔF, шығыс сипаттамасы сезімталдығынан анықталады:

$$\Delta F = (\varepsilon / U_{ВЫХ.МАКС}) \times 100\% . \quad (8.2)$$

Бұндағы $U_{выхмакс}$- B = $B_{макс}$. кезіндегі, МӨТ шығысындағы кернеу.



8.1 сурет - МӨТ шығыс сипаттамасы

8.1 суретінде көрсетілген сипаттама бойынша, магнит өрісі индукциясының диапазонын анықтайды, ондағы түрлендіруші сипаттамасы сызықты. Бұл диапазон $B_{макс}$ до $+B_{макс}$. Аралығында жатыр. Динамикалық диапазон өлшемін D_B мына формуламен анықтаймыз:

$$D_B = B_{МАКС} / B_{МИН} . \quad (8.3)$$

Түрлендіруші сезімталдығының минималды межесін, $B_{макс}$ до $+B_{макс}$. диапазонында орналасқан, «жансыз аймақ» аталатын аймақ регламенттайды.

Бұл аймақ магнит өрісн түрлендірушілердің характеристиксымен және параметрлерімен анықталады. Мысалы: Холл элементі үшін «жансыз аймақ», оның қалдық кернеуінің мөлшерімен $U_{0СТ}$ және өзінің шығаратын шу деңгейіімен регламентталады.

МӨТ жұмыс істеу режимдеріне байланысты, магнит электронды құрылғыларды шартты үш топқа бөлуге болады.

Магнит индукциясының индикациясы бірінші топтағы МӨТ атқарады. Бұл топтағы құрылғылар Холл элементін, магниторезисторды, магнитодиодты, магнитотранзисторды қолданады. Бұларға дағы контатсыз реле, қозғалатын объект қозғалысы индикаторы, контактсыз қолмен енгізу клавишалары, «бұрыш-код» типтегі бұрылу бұрышы түрлендіргіштері, коллектросыз тұрақты ток двигательдері, контактсыз комутаторлар жуне т.б жатады.

Екінші топқа магнит индукциясын өлшеу үшін МӨТ қолданатын магнит электр құрылғылар жатады. Бұл топқа магнит өрісің кернеуін өлшегіштер, кернеу мен токты өлшегіштер, өте аз орын ауыстыруларды өлщегіштер,

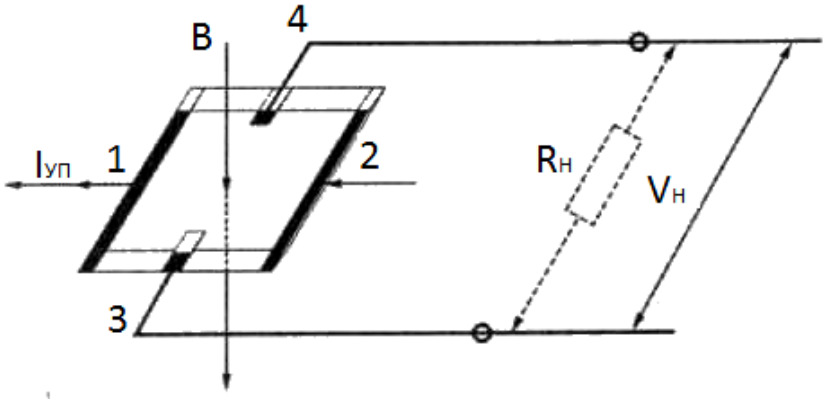
магнитодефетоскопияға арналған аспаптар, магнитофон бастиегі жаңғыртушылары, ақпарат оқуға арналған бастиектер жатады.

Үшінші топқа МӨТ қасиетін қолданатын электр сигналдарын аналогты күшейткіштер, электр қуаты мен энергиясын өлшегіштер, механикалық және электромагниттік қуат өлшегіштер, жиілік түрлендіргіштер, қайталанатын және кездейсоқ процесс анализаторлары жатады.

8.2 Холл элементтері

Холл элементтері, көбінесе Холл датчиктері деп атайды, магнит өрісінің ең көп таралған түрлендіргіштері болып табылады.

Осы элементтердің жұмысы көлденең орналасқан магнит өрісіндегі электр тоғының потенциалдардың көлденең айырымының туындауымен анықталатын Холл эффектісіне негізделген (8.2 сурет).



8.2 сурет – Холл элементінің сұлбасы

Холл элементі (ХЭ) ұзындығы 4 жақтан контактілер орналасқан жартылайөткізгішті материалдан жасалған платинадан тұрады. 1,2 контактілер тоқтық деп аталады, ал 3,4 контактілер кіріс немесе өлшеуіш деп аталады.

1 және 2 контакт арқылы басқарушы $I_{уп}$ тоғы өтеді, ал 3 және 4 контактілерден Холл кернеуі $V_н$ алынады.

Жалпы жағдайда Холл кернеуін (VH) көрсету үшін:

$$V_H = (R_H / d) \times (I_{УП} \times B), (B / A \times Тл), \quad (8.4)$$

мұндағы, $R_н$ - Холл тұрақтысы (Холл коэффиценті);

d – элемент қалыңдығы;

$I_{уп}$ – басқару тоғы;

B – ісер етуші магнит өрісінің индукциясы.

Холл элементінің негізгі параметрлері температураға байланысты болады. Холл элементінің магнит өрісі кернеу векторының электрлік және магнит өрісінің арасындағы α бұрышының функциясы болып табылады.

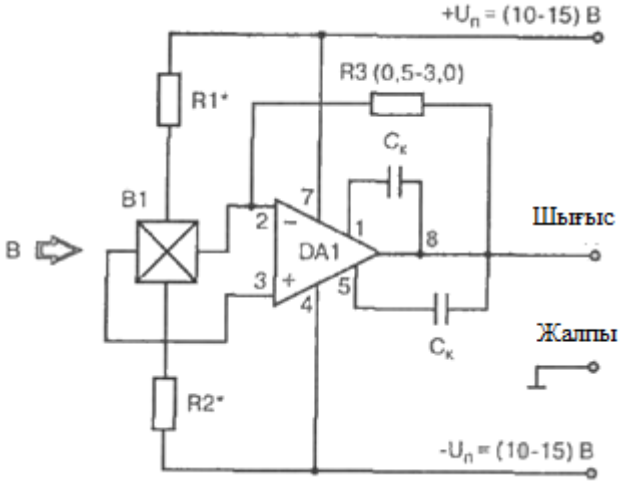
$$\gamma_\alpha = \gamma_B \times B \times \sin\alpha . \quad (8.5)$$

Холл элементінің магнит өрісінің сезімталдылығы 90° бұрышқа тең болған кезде максимумға жетеді. Магнит жүйесінің басқа да элементтері мен концентраттарын қолданған кезде жағдай басқаша болады.

Холл элементінің магнитті сезімтал элементтерді (МСЭ) жасау үшін мына элементтер көп қолданылады: кремний (Si), германии (Ge), арсенид индия (InAs), антимонид индия (InSb), арсенид галлия (GaAs), яғни жартылай өткізгішті металдар.

Холл элементтері айнымалы кернеу көзінен немесе токтан қоректенуі мүмкін.

8.3 суретте магнит өрісінің түрлендіргіші ретінде ДХК-0,5 түріндегі Холлдың кремнийлі элементі қолданылған, ол қорек тізбегіне R1, R2 шектік резисторлары арқылы жалғанады. Холл элементінің сигналын арттырғыш ретінде 740УД2Б операциялық күшейткішінің микросұлбасы қолданылады.



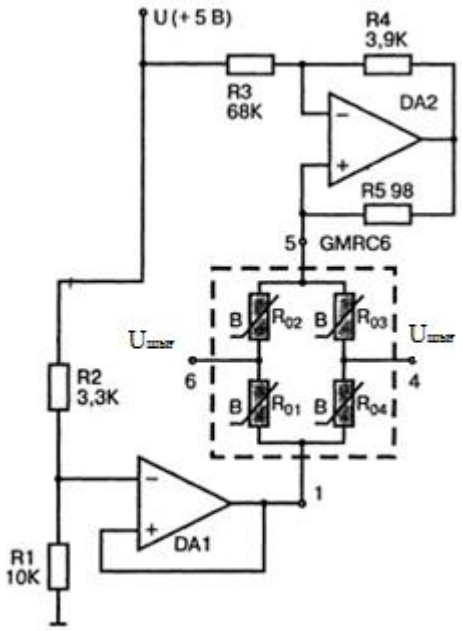
8.3 сурет –Магнитқабылдағыш құрылғының кіріс каскадының сұлбасы және кремнийлі Холл эффектісінің қолданылуы

8.3 Магниторезисторлар

Магниторезисторлар –магнит өрісі әсер еткен кездегі жартылай өткізгіштің (немесе металдың) электр кедергісінің іс-әрекетіне негізделген. Магниттік сезімталдылық, номиналды кернеу, жұсышы тоғы, ыстыққа төзімділік, тез әсер ету және жұмыс температурасының диапазоны секілді параметрлермен мипаталады. Құрылымы бойынша таспалы және тұтас деп бөлінеді.

Магниторезисторлар мен олардың негізінде жасалған құрылғылар тұрақты модульді (айнымалы) магнит өрісі кезінде жұмыс істей алады.

Мысал ретінде 8.4 суретте жұқа қабатты GMRC6 типті магниторезистордың қорек сұлбасы мен термиялық тұрақтану режимі көрсетілген.



8.4 сурет - Жұқа қабатты GMRC6 типті магниторезистордың қорек сұлбасы мен термиялық тұрақтану режимі

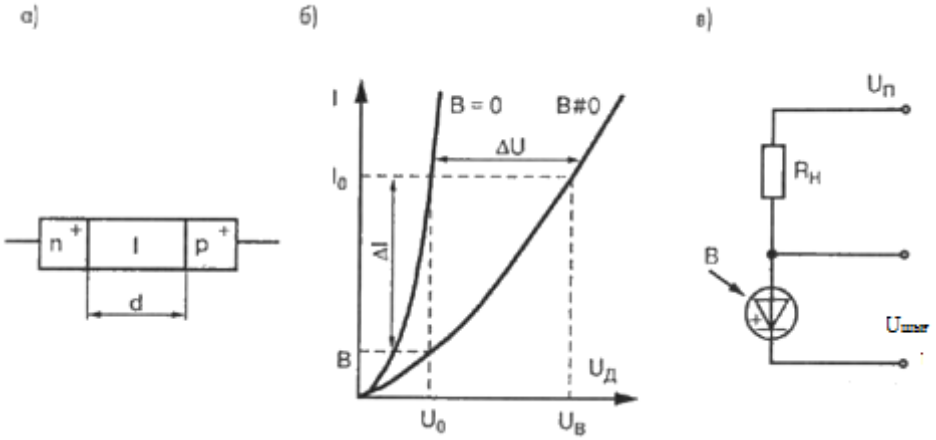
Магниторезисторлар айналу бағыты мен жылдамдық, сұйықтық және газ шығыны, бұрылу бұрышы мен орын, сызықтық орналасы, электрлік ток және кернеу датчиктерінде іске асырылады. Сондай –ақ оларды компьютердің түйіспесіз пернетақтасында, түйіспесіз айнымалы резисторда, вентильді электрқозғалтқыштарында, элетронды модулятор және түрлендіргіште, магнит өрісін өлшегіштерде, металл іздеуіштерде, электронды навигаторларда, тұрмыстық электр аппараттарында, автоматты бақылау жүйелерінде, ақпаратты есептеу құрылғыларында, банкнот дәлдігін анықтағыштарда кең қолданылады.

8.4 Магнитодиодтар

Магнитодиод деп жұмыс істеу принципі магнитодиодты эффектке негізделген магнит өрісінің түрлендіргішін айтамыз.

Магнитодиодтың вольт-амперлік сипаттамасы 8.5,б суретте көрсетілген. Қосылу сұлбасы 8.5,в суретте берілген.

Магнитодиод p-n өтпелі бар және жоғарыомды жартылай өткізгіштің аймағы орналасқан (8.5,а сурет) түзетілмейтін контактісі бар жартылай өткізгішті құрылғы. Қарапайым жартылай өткізгішті диодтан айырмашылығы, магнитодиод, өткізгіштігі өзіне жақын, ал d база ені L, $d < L$ болған кездегі таратушының диффузиялық жүгіру ұзындығынан бірнеше есе көп жоғарыомды жартылай өтізгіш металлдан жасалады. «Ұзын» диодтарда электр тоғы өткен кезде рекомбинация және базада және бетінде зарядтың айнымалы тасымалдауышының қозғалысы анықтаушы процесс болып табылады.

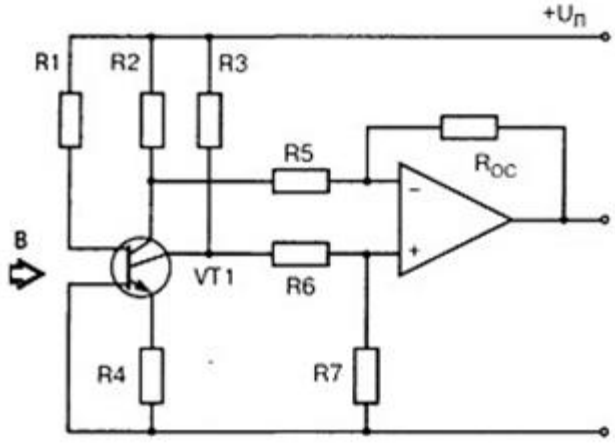


а – Ауысу құрылымы; б - ВАС; в –Қосылу сұлбасы.
8.5 сурет – Магнитодиод

Инжекцияның жоғары дәрежесі кезінде тура бағытта магнитодиодтың өткізгіштігі базаға инжекцияланған айнымалы таымалдауыштар арқылы анықталады. Кернеудің құлауы p-n өтпелінде емес, диодтағы секілді, жоғарыомды базада жүреді.

8.5 Магнитотранзисторлар

Магнитотранзисторлар деп құрылымдық және жұмыстық параметрлері магнит өрісінің коллекторлық тоғының максималды сезімталдылығын қабылдауға оңтайландырылған транзисторларды айтамыз. Шетел әдебиеттерінде магнитотранзисторларды магнисторлар деп те атайды



8.6 сурет – ОБ бар екі коллекторлы магнитотранзистордың сұлбасы

Магнит өрісінің перпендикулярлы немесе параллельді құрамдас бөлігіне сезімталдылығына байланысты магнитотранзисторлар көлденең және ұзындығы бойынша деп бөлінеді.

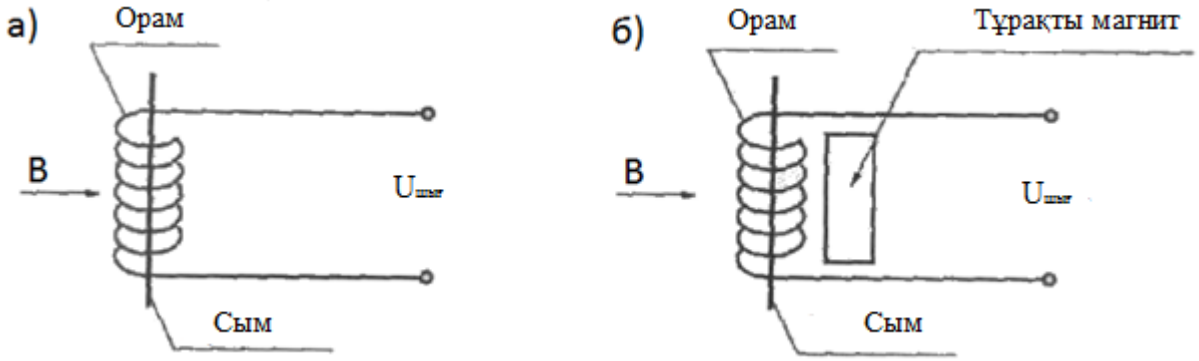
Датчиктің жұмыс істеу принципі Виганда деп аталатын эффектке негізделеді. Егер, арнайы физикалық құрылымы және химиялық құрамы бар ферромагнитті сымды, магнит өрісіне енгізсе, онда өріс кернеулігі бірқатар

бастапқы мағынадан асып түсіп, кенеттен өзгеріс байқалады. Бұл шекара бастапқы жағу шекарасы деп аталады. Сымның өзгеріс жағдайын, сымнан жанында орналасқан немесе сымды айнала оралған, байлау арқылы реттеуге болады.

Ең қарапайым Виганда датчигінің құрылымы 8.7 суретте келтірілген. Датчик викалло типті (10% ванадий, 52% кобальт және темір) ферромагниттік қоспасынан жасалған сымнан және байлаудан тұрады.

Виганда сымы магниттік жұмсақ өзекшеден және магниттік қатты сыртқы қабықшадан тұратын ферромагниттік цилиндрден жасалған. Сымның диаметрі 0,2-0,3 мм, ұзындығы - 5 - 40 мм.

Датчиктің байлауы әдетте диаметрі 0,5-0,1 мм болатын жезді сымның 1000-2000 орамынан тұрады.



а - байлаумен; б – магнит тұрақтысымен.

8.7 сурет – Виганда датчигі

Олардың қолдану аймағы өлшеу есептеулері мен бақылаудан бастап рұқсат беруді басқару жүйесіне дейін созылған.

9 Дәріс №9. Техникалық көру жүйелері

Дәрістің мақсаты: бейне датчиктерінің классификациясын, бейнені электр сигналына түрлендіру принциптерін зерттеу.

9.1 Бейненің берілуі мен қалыптасу негіздері

Бейне жіберу техникасына негізгі үлес қосқандар болып С. Катаев және екі орыс эмигранты- АҚШ-ғы В.Зворыкин мен Англиядағы И.Шоэнберг.

Ақпаратты ТКЖ түрлендірудің бірінші кезеңде бейне қалыптасуы жүреді, яғни жарықтығын анықтау Y(x, y) және әрбір нүктедегі нақты түсті анықтау. Бейне деген кеңістіктегі аймақтағы дененің жарығы пен түсінің таралуын білдіреді. Бейне қалыптасуы телевизионды және видекамера датчикының көмегімен жүзеге асады.

9.1.1 Түсті кодтау тәсілдері.

Көптеген эксперимент нәтижесі мына эмпириалдық тәуелділікке алып келді:

$$Y = 0{,}59\ G + 0{,}3\ R + 0{,}11\ B, \qquad (9.1)$$

мұндағы Y- ақ-қара бейненің амплитудасын сипаттайтын жарықтық.

G, R, B - жасыл, қызыл және көк сәулелену спектрлері.

Ақ және қара туралы түсінік өте субьективті, сондықтан «ақ түс» ұғымын орнату керек болды. Халықаралық қабылданған анықтама бойынша, ақ түс деп 6500 °С температурасында абсолют қара дененің жарқырауы түсі аталады. Сәулелену көздерін сипаттау үшін RGB түсті моделі қолданылады. Егер де объект жарықтанса, ол жарық толқынын шағылыстыратын түс қабылдағыш болады. Көптеген денелер күн сәулелерін немесе басқа да жарық көздерін шағылыстырады. Олай болса, егер объект қызыл болып көрінсе, ол тек ұзын толқындарды шағылыстырып, қалған толқындарды жұтады.

Түрлі-түсті бейне жіберген кезде көптеген ТКЖ-да RGB моделінің негізіндегі аддитивты түсті синтездеу аспаптары қолданылады. Оларға маниторлар мен телекамералар жатады. Жарықтану сигналы Y тікелей жіберіледі, ал түс туралы информация екі компонентті түс векторымен кодталады. YUV аталатын бұл моделде бізге белгілі жарықтылықты анықтайтын Y формуласына тағы екі, түс веторын анықтайтын U және V проекциялары қосылады:

$$U = R - Y,\ V = B - Y. \qquad (9.2)$$

Бұл видиосигнал композитты деп аталады. Сигналды түсті кинескоп қабылдағанда кері жаңғырту (декодирование) процессі іске асырылады:

$$\varepsilon_R = \varepsilon_\gamma + \varepsilon_U \text{, немесе } \varepsilon_R = \varepsilon_\gamma + \varepsilon_{R-\gamma};$$
$$\varepsilon_B = \varepsilon_\gamma + \varepsilon_V \text{, немесе } \varepsilon_B = \varepsilon_\gamma + \varepsilon_{B-\gamma};$$
$$\varepsilon_G = \varepsilon_\gamma - 0.509\varepsilon_U - 0.194\varepsilon_V \text{, немесе}$$
$$\varepsilon_G = \varepsilon_\gamma - 0.509\varepsilon_{R-\gamma} - 0.194\varepsilon_{B-\gamma}. \qquad (9.3)$$

Қазіргі кезде түсті телевидениянның үш түрі эксплуатацияда:

- американдық NTSC (National Television System Color);
- германдық PAL (Phase Alternation Line);
- француздық SECAM (Sequentiel couleur a memoire).

Бұл жүйелердегі түсті сигналды жіберу мен кодтау методтарында айтарлықтай айырмашылық бар.

Барлық жүйелерде түсті бейнеге дыбыстық сигнал қосылып, төменгіжиілікті телевизиондық сигнал пайда болады. Бұл сигнал бес рұқсат етілген жиілік диапозонының ішіндегі, бір негізгі жиілікті модуляциялау арқылы эфирмен таратылады.

9.2 Бейне датчигы

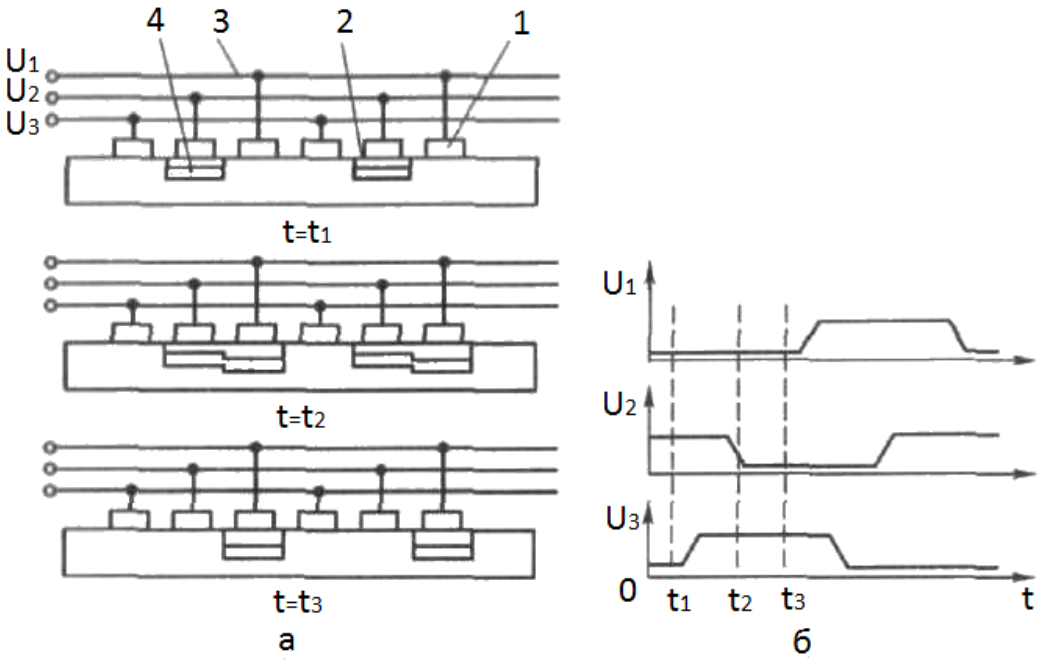
9.2.1 ЗБА-ғы телекамералар.

Зарядтық байланысы бар аспаптары (ЗБА) бар телекамераның ең басты артықшылығы ол, геометриялық бұрмалау проблемасын болдырмайтын, параметрлердің салыстырмалы температуралық тұрақтылығын және жоғарғы сенімділік қамтамассыз ететін қатаң берілген растр.

ЗБА-ың жұмыс істеу принципі негізінде, сыртқы өріс әсерінен шалаөткізгішті кристаллда және басқару әсерәнен, бір потенциалды шұңқырдан екіншісіне ауысатын зарядтық пакеттерде пайда болатын, потенциалды шұңқырдағы зарядтың корылдау принципі. Метал-оксид-шалаөткізгіш құрылым (МОЖ) немесе Шоттки барьері бар контакт зарыдтың жинақталып қорылдайтын ЗБА негізгі элементі болып табылады. Бұл элементтер потенциалдық шұңқырлар бірігуі және заряды бар байланыс орнату үшін максималды жақын орналасқан. Бірақ, сол уақытта жекелеген элементтер арасында зарядтың өздігінен ағып кетуінен қорғану үшін, стоп-каналдармен бөлінген. Екі-үш ЗБА элементі топтасып (олардың саны басқару фазсының санына байланысты) ЗБА ұяшығын құрайды. (9.1, а сурет).

ЗБА жұмыс істемес бұрын, оның бетіне оң кернеу беру арқылы p-n ауысуы индукцияланады. Белгілі бір фазалық кернеулер кезінде U_1, U_2, U_3, электродтар астында кезектесіп негізгі емес тасымалдағыштар үшін потенциалды шұңқырлар пайда болады, осының әсерінен p-n ауысуы зарядты жинақтау режимінде жұмыс істейді.

Егер ЗБА (ПЗС) ұяшығының бір элементін мөлдір қылып жасасақ, онда жарық ағынымен сәулелендіру кезінде онда элемент жарықтығы мен жарықтың түсірілу уақытына (уақыт экспозициясы) пропорционалды заряд жиналады. ЗБА (ПЗС) ұяшығының басқа элементтері мөлдір емес болып келеді. Зарядты жарықтан тыс аймаққа(зонаға) ауыстыру үшін басқарушы сигналдар U_1, U_2, U_3 басқа ұяшық элементтерінде кезекпен потенциалды шұңқыр құрады (9.1,б сурет).

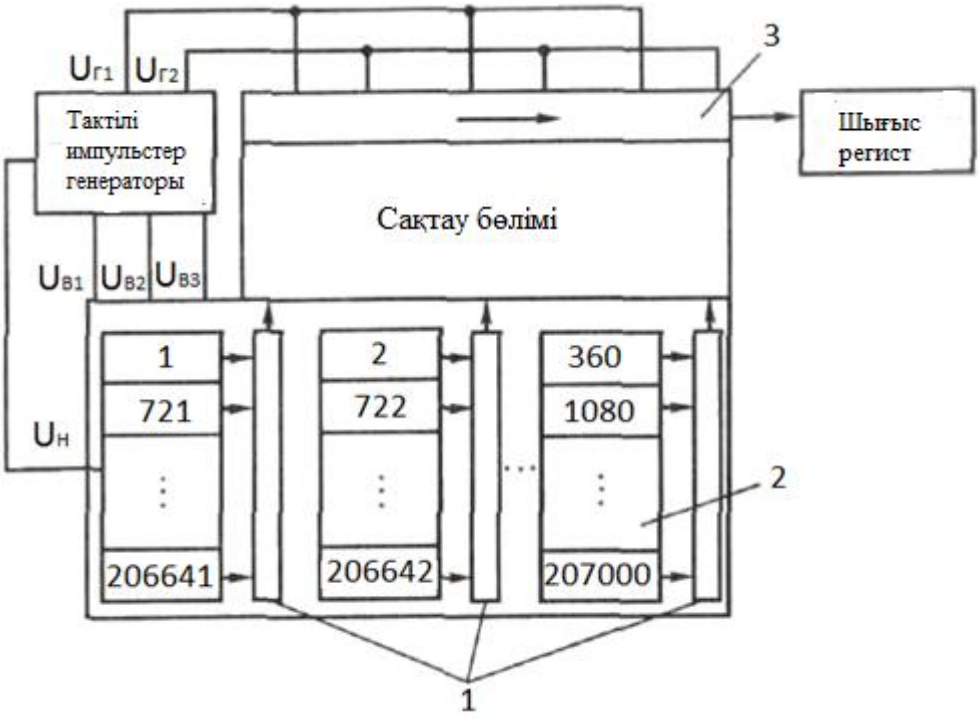


1 - мөлдір электрод; 2 – төсем(подложка); 3 – басқару сатысы, фазасы; 4 – потенциалды шұңқыр.

9.1 сурет –ЗБА(ПЗС) үшфазалы элементінің құрылымы(а) және уақытша диаграммалары(б)

Сурет датчиктеріде ЗБА(ПЗС) ұяшықтарының элементтері әдетте екі бөлімге(секция) біріктіріледі: жинақтау және сақтау, бұлардың әрқайсысы ұяшық матрицасы түрінде орындалады. Жинақтау бөлімі-жарыққа сезімтал бет, сақтау бөлімі жарықтан тыс аймақта орналасқан. Ығысу регистрі жинағын көрсететін ауыстыру бөлімі зарядтар ауысуы және жол жаймасын қалыптастыру үшін жұмыс жасайды.

Жаймалау тәсілдеріне байланысты матрицалар зарядтары жолдық ауысу, кадрлық ауысу және жолдық-кадрлық ауысу болып келеді. Матрицаның барлық ұяшықтарын оқу уақыты кадр жаймалау периодымен келісілген болуы керек, Жолды оқу сәуленнің тура түсуі кезінде жүргізілуі керек, ал ұяшықтың жарықталуы (экспозиция)-импульстің сөнуі кезінде (12 мкс төңірегінде). Алайда экспозицияның аз уақыты матрицаның керекті сезімталдығын қамтамасыз ете алмайды. Зарядты сақтау бөліміне ауыстыруға кететін уақытты азайту арқылы жаймалау периодын сақтай отырып, экспозиция уақытын арттыруға болады. Мысалға, Sony фирмасында шығарылған, жолдық ауысу зарядымен матрицада сақтау бөлімі жоқ және жинақтау бөлімінің ұяшық зарядтары ауыстыру бөліміне келіп түседі (ығысу регистрі жолы түрінде) және одан ары қарай матрицаның шығу регистріне жіберіледі. Sony фирмасымен шығарылған матрицада ЗБА(ПЗС) зарядтың жолдық –кадрлық ауысуында кадрдың жоларалық жаймалау режимі іске асырылған (9.2 сурет).



1 – тік жол жылжу регистрі; 2 – жинақтау бөлімі; 3 – көлденең жол жылжу регистрі.

9.2 сурет –жолдық-кадрлық ауысу зарядымен ЗБА(ПЗС) матрица сызбасы (сұлбасы)

Тақ жартылай кадрды шығару рәсімін қарастырайық. Тактылық импульстер генераторы $U_н$ сигналы паралельді заряд ауысуы бар 2 жинақтау бөліміндегі тақ жолдар ұяшықтарынан 1-ші тік жол жылжу регистрына көшірілуін қамтамасыз етеді. Осы жарты кадрға сәйкес келетін зарядтар $U_{в1}$, $U_{в2}$ және $U_{в3}$ сигналдарымен сақтау бөліміне көшіріледі, ал одан ары қарай 3-ші көлденең жол жылжу регистріне көшіріледі. Зарядтардың оны жағалай шығу регистріне көшірілуі $U_{г1}$ және $U_{г2}$ сигналдарымен жүзеге асады. Содан кейін бұл процесс жұп жарты кадр үшін қайталанады. Сақтау бөлімінен шығу регистріне көшірілу импультің сөну уақытында, ал оларды жинақтау бөлімінен оқу келесі экспозиция кезінде жүзеге асады.

ЗБАдағы (ПЗС) телекамера әдетте заряды жолдық-кадрлық ауысу матрицасынан,басқару құрылғысынан және далалық транзисторы бар шығу каскады, видео күшейткіш, қызметтік сигналдар генераторы және араластырғыштан тұрады. Транзистордың шығатын жерінде видеоимпульстардың тізбектелуі жинақталады, ол күшейтуден кейін араластырғышқа түседі. Ол жерде оған сөнетін және үйлестіруші импульстер келіп қосылады.

ЗБА-да матрицаның размерін көрсету үшін «пішім» параметрі қолданылады. Ол видикон диаметрі мен сондай жарыққа сезімтал бет ауданданына сәйкес келеді. Матрица пішімі көп болған сайын, онда ЗБА ұяшықтары көп болады және рұқсат ету қабылеті де жоғары болады. ЗБА-

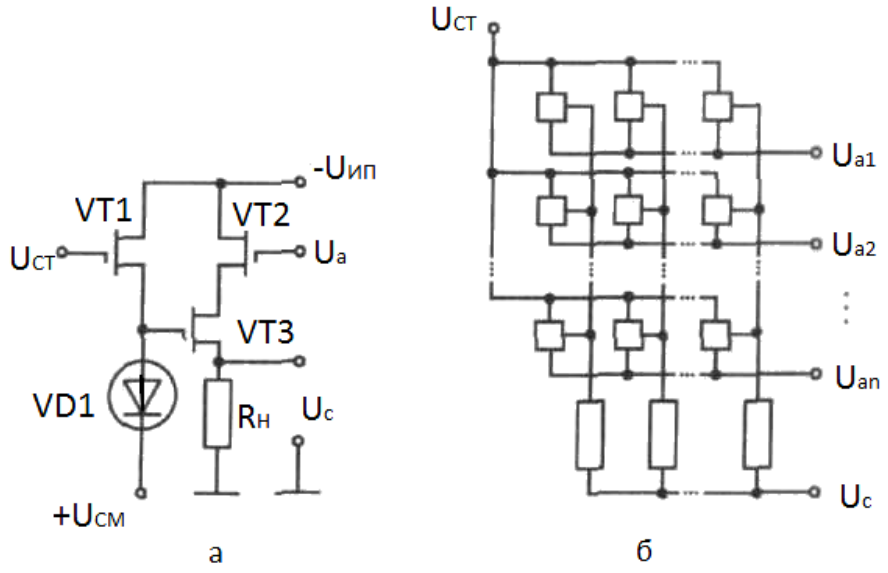
дағы телекамераларда 1/4, 1/3, 1/2, 2/3 және 1 дюйм пішімді матрицалар бар. Матрица пішімі бұрыштық аумаққа да әсер етеді:объективтері бірдей ½ дюйм пішімді матрицамен камера 1/3 дюйм пішімді матрицаға қарағанда көп аумақ алады.

ЗБА-дағы телекамераның артықшылықтары: тез әрекеттілік,суретті тез сақтау қабілеттілігі, сыртқы қоздырушы әрекеттерге тұрақтылық, сонымен қатар аз габаритты мөлшер мен салмақ. Кемшіліктері: салыстырмалы аз сезімталдығы және рұқсат ету қабілеті.

9.2.2 Фотодиодты матрицалы телекамералар.

Фотодиодты матрицалар ауысатын зарядты аспаптарға жатады. Олардың негізгі артықшылықтары – элемент бойынша адрестеу және деректерді параллельді шығару. Фотодиодты матрицаның жұмыс істеу негізінде кері аралас p-n –ауысуының жарық ағынының ауысуына пропорциональды құлайтын зарядты жинақтау қасиеті жатыр. Бұл тип датчиктері оптикалық түрлендіргіште,сканер, принтер және т.б. қолданады.

Фотодиодты матрицаның негізгі элементі - VD_1 фотодиоды бар ұяшық және VT_1, VT_2 және VT_3 үш аумақтық транзисторлар (9.3,а сурет).



а – ұяшықтың электрлік сұлбасы; б – фотодиодты матрица сұлбасы.

9.3 сурет – Фотодиодты матрица

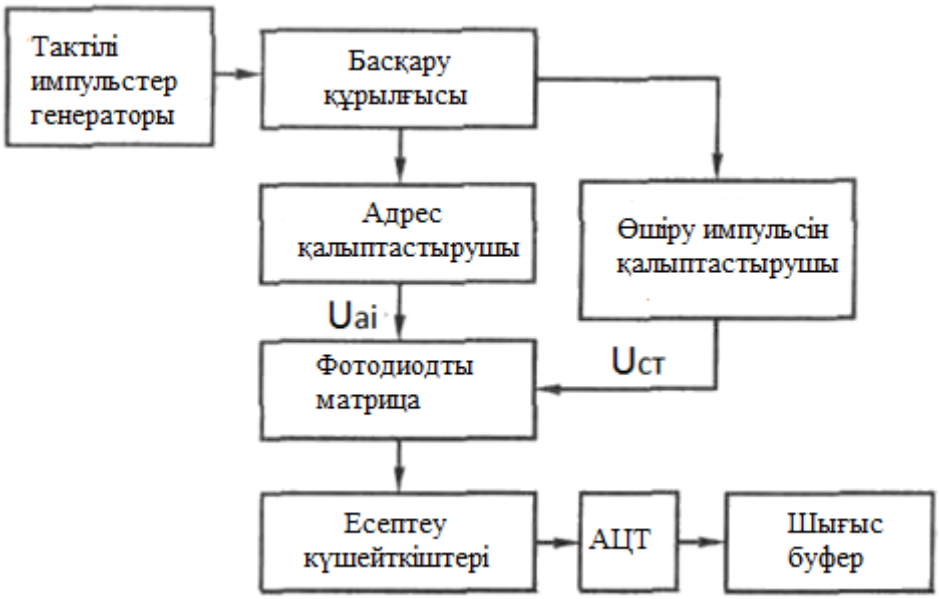
Ұяшық екі режимде жұмыс істейді: зарядты жазу және сигналды шығару. Жазу режимінің басында VT_1 трансизторына оны ашатын $U_{ст}$, өшіру импульсі келіп түседі. Соның негізінде тізбек бойынша $+U_{см}$ -дан $-U_{ип}$ –қа дейін ток ағады және фотодиодтың (бұл режимде конденсаторға ұқсас) ішінде заряд жинала бастайды. Сигналды шығару режимі VT_1 транзисторын жабып және $t_{нак}$ уақыт аралығында U_a. импульс мекен-жайымен VT_2 транзисторын ашудан басталады. Бұл кезде $R_н$ жүктеме кедергісі арқылы ток аға бастайды,

және оның өлшемі фотодиод потенциалымен VT_3 транзисторының ашылу дәрежесіне байланысты болады.

U_c сигналы ұяшықтан шығатын жерінде оның жарықтандырылуына тәуелді болады. Ұяшықтар матрицаға біріктіріледі, сол себепті барлық ұяшықтардың шығыстарында сәулеге сезімтал беттің жарықталуы туралы ақпаратты береді (9.3,б сурет).

Жазудың жаңа циклы матрицаның барлық ұяшықтарына бір мезгілде сыртқы қалыптастырғыштан кезектегі өшіру импульсін беруден басталады. Бұл кезде фотодиод сыйымдылығы өзінде сақталған зарядтардың барлығын өшіріп, қайтадан зарядтала бастайды. Мекен-жай импульсі матрицаның таңдалған жолына беріледі, және осы жолдағы барлық ұяшықтар параллельді түрде оқыла бастайды. Сол себепті, фотодиодты матрицада ақпаратты оқудың параллельді-тізбектелген түрі ұйымдастырылады.

Фотодиодты матрицамен телекамераның құрылымдық сұлбасы 9.4 сурете көрсетілген.



9.4 сурет - Фотодиодты телекемераның құрылымдық сұлбасы

Тактілік импульстар генераторы жұмыс жиілігін орнатады, ал басқару құрылғысы матрица ұяшықтарының сұрақ қою бірізділігін анықтайды. Мекен-жайды қалыптастырушы, амплитуда мен мекен-жай импульстерінің ұзындығын орнатады және оқудың берілген тәртібі бойынша оларды матрицаның шығу адрестеріне бөледі.Ұяшықтағы деректер оқуды күшейткіштерден және АЦП-дан буферлік құрылғыға келіп түседі. Бұл құрылғы камерадан деректерді шығару жылдамдығына және бірізділігіне келісуге және оларды суреттерді өндеу процессорына кіргізуді келісуге пайдаланады. Кадрлерді шығару жиілігі $t_{нак}$ уақытымен анықталады және 200...5000 Гц диапазонында құбылады.

Артықшылығы: әрбір элементті жеткізу мүмкіндігі, тез әсер етуі, аз салмақтығы және аумақты өлшемі, жоғары механикалық төзімділігі және сенімділігі.

Кемшілігі: аз шешуші қабілеттілігі және сигнал шуы (бөлек ұяшықтардың фотоэлектрлік сипаттамаларының әртүрлілігінен).

10 Дәріс №10. Жылулылық режимді моделдеу

Дәріс мақсаты: баспалық тақталардың және құрылғы мен жүйе түйіндерінің жылулық режимін моделдеу әдістерін оқып, үйрену, аумалы температураларды анықтау және жылулық ағындарды бұру әдістері.

10.1 Жалпы жағдай мен түсініктер

Жылулық режимдер айтарлықтай дәрежеде құрылғылардың электрлік, сенімділік, топологиялық және басқа да сипаттамаларын анықтайды.

Жартылай өткізгішті құрылғылар –транзисторлар мен диодтарды түзеткіштер үшін жылулық ток I_o және термогенерация I_g: температуралық тәуелділіктері сәйкес келеді.

$$I_{об}(T) = I_g(T) + I_0(T) = I_{g0} \cdot \exp(B_1 \cdot (T - T_0)) + B_2 \cdot I_{00} \cdot \exp(B_3 \cdot (T - T_0)), \quad (10.1)$$

Бұл жерде $I_{об}$ _ p-n-өтпелдегі кері ток;

I_{go}, I_{oo} – қалыпты жағдайдағы термогенерация тогы мен жылулық ток өлшемдері;

B_1, B_2, B_3 – жуықтама коэффициенттері (мысалға, кремнийлір-n-өтпелдер үшін: $B_1 = 0{,}07$, $B_2 = 0{,}001$, $B_3 = 0{,}13$).

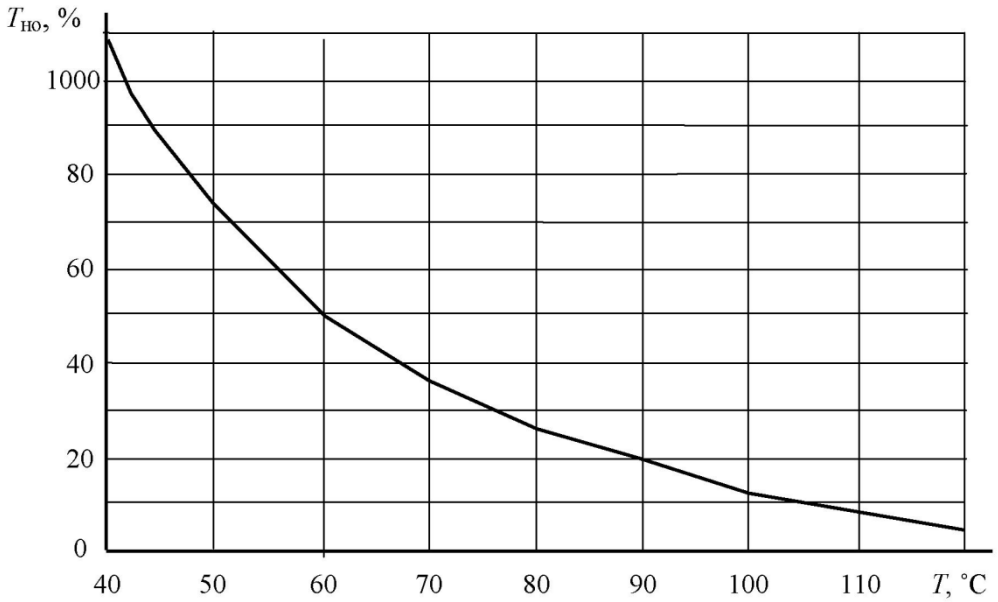
Түйінді режимде жұмыс істейтін транзисторлар мен түзетуші диодтар үшін олардың қосылу және өшу уақыттарының температуралық тәуелділігі тән. Ол p-n-өтпелдің тұрақты уақыттың температураға тәуелділігінен анықталады - $\tau_{p\text{-}n}$:

$$\tau_{p-n} = \tau_{0p-n} \cdot 10^{C_1(T-T_0)}, \quad (10.2)$$

Мұндағы $\tau_{op\text{-}n}$ - қалыпты жағдайдағы өтпел уақытының тұрақтысы;

C_1 – жуықтық коэффициенті.

Элементті базаның жылулық режимі айтарлықтай дәрежеде оның сенімділігін анықтайды.Мысалға, РЭА тмпературасының 60-тан 80°С-қа дейін артуы, жұмыс істеудің орташа уақытын 2 есеге дейін төмендетеді (10.1 сурет).



10.1 сурет –РЭА температуралық тәуелділік

Қатты жылулық және вибрациялық әсерлерге ұшырайтын ПС-та, аз ғана жылулық жүктемелер баспалық тақта материалдарының физика-механикалық өлшемдерінің өзгерісіне алып келеді. Бұл, өз кезегінде, баспа түйіндерінің механикалық сипаттамаларының өзгерісіне алып келеді.

10.2 Баспа түйіндерінің конструктивтік ерекшеліктері

Жылулық процесстің баспа түйіндері құрылысында ағып өтуіне қарағанда, олардың құрылыстық-технологиялық ерекшеліктері туралы ақпаратты келесі түрде көрсетсек, рәсімдесек болады:

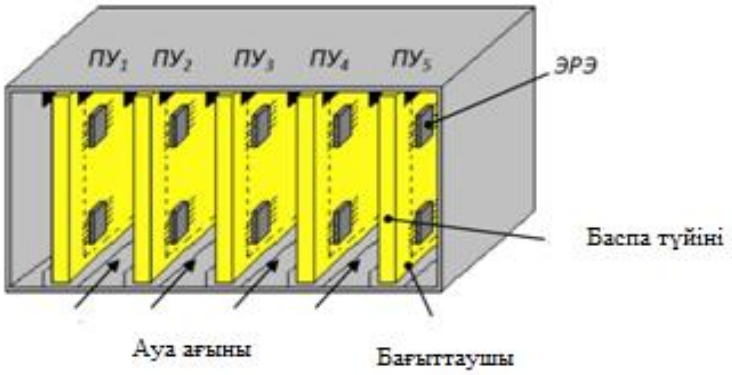
1) Баспа түйінінің (БТ) салмақ түсетін конструкциясының күрделі құрылымы болуы мүмкін (мысалы, қатпарлы). Онда қатыса алады қималар және т. б.

2) БТ көтергіш конструкцияларында электрлік компоненттердің (ЭТ) көбі орналасады, сондай-ақ шағын радиаторлар, жылу шиналар, экрандар және т. б. сияқты қосымша конструктивтік элементтер орналасады. Жылу бөлетін ЭК қуаттары 20-30 В жетуі мүмкін.

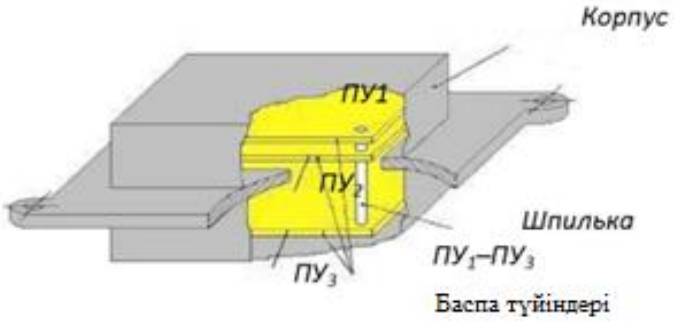
3) ЭК көтергіш конструкцияларға кездейсоқ түрде, стандартты және стандартты емес орнату нұсқаларын пайдалана отырып бекітіледі.

Баспа тораптар (ПС)КС, әдетте, бағыттаушы және ағытпа (10.2 сурет) көмегімен, шпилькалар көмегімен (10.3 сурет) немесе арнайы теплостоктар пайдалана отырып орнатылады.

Баспа түйіндері блоктар құрамында салқындатылады немесе қосымша, жеке салқындатқыш құралдар болуы мүмкін (мини-желдеткіштер, жылу құбырлары, микротаңазытқыштаржәне т. б.).



10.2 сурет- Кассет блогы құрылысы



10.3 сурет- Ұлғайттық блок конструкция

10.3 Электрожылулық аналогия

Техниакалық объектілерде жылулық процесстерді зерттеу үшін әртүрлі әдістер қолданылады. ПС құрылыстарында, олардың құрылыс ерекшеліктерін және салқындату шарттарын ескерсек, жылулық аймақтарда инженерлік есептерді нақты дәлділікпен зерттеуге мүмкіндік беретін әдістердің бірі-электро-жылулық аналогия (ЭЖА) болып табылады. ЭЖА әдісі ПС құрылыстарында ағып өтетін жылулық процесстерді эквивалентті электрлік тізбек түрінде көрсете алады. Эквивалентті электрлік тізбек кейін сандық тізбек бойынша ЭЕМ-да электрлік тізбекте жақсы жұмыс істелінген математикалық аппараттар көмегімен талдау жасалынады. Математикада бұл тәсілді жылулық процесстерді сипаттайтын, жеке туындыларда дифференциалды теңдеулерге орын басушы ретінде қарауға болады. Мысал ретінде стационарлық есептерді шешуде қатты изотропты денелерге Фурье-Кирхгофтың дифференциалды теңдеуін қолдануды қарастырайық. Бұндай теңдеу декартты координаттар жүйесінде мынандай түрде болады:

$$\lambda \nabla^2 T + q_V = 0, \qquad (10.3)$$

мұндағы q_v - ішкі энергияның меншікті қуат көзі;

λ – изотропты қатты дененің жылу өткізгіштік коэффициенті ($\lambda=\lambda x=\lambda y=\lambda z$);

T - температура;

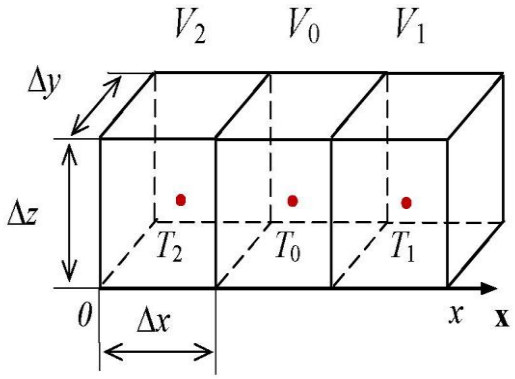
$$\nabla^2 = \frac{d^2}{dx^2} + \frac{d^2}{dy^2} + \frac{d^2}{dz^2} -$$ Лаплас операторы.

(10.3) теңдеуінің жазылуы үзіліссіз процессті дискреттімен ауыстыру мүмкіндігі жол берілуіне негізделген, яғни:

$$\lambda\left[\frac{\Delta^2 T}{\Delta x^2} + \frac{\Delta^2 T}{\Delta y^2} + \frac{\Delta^2 T}{\Delta z^2}\right] + q_V = 0\,. \qquad (10.4)$$

Келесі ойлар үшін шартты-қатты денені Δx, Δy, Δz өлшемдерімен көлемдер(параллелепипед) тізбегіне бөлеміз.

0_x осьне қатысты көлемдер жиының қарастырайық. Ол үшін қатты денеде V_0 көлем бөліп аламыз және оны V_1, V_2 көлемдерімен біріктіреміз. (10.4 сурет). Шартты-изотермиялық көлемдеге сәйкес келетін центрлер температураларын T_0, T_1, T_2 белгілейміз.



10.4 сурет – Бірнеше көлемдерге бөлінген шартты-қатты дене және 0_xосіне қатысты көлемдер жиыны

V_0 көлемінде q_0 меншікті қуатыменішкі энергия көзі бар. Онда 0_x осіндегі V_0 көлемі келесі 10.4 теңдеуі түрге енеді:

$$\frac{\Delta^2 T}{\Delta x^2} = \frac{\dfrac{T_1 - T_0}{\Delta x} - \dfrac{T_0 - T_2}{\Delta x}}{\Delta x} = \frac{T_1 - T_0}{\Delta x^2} - \frac{T_0 - T_2}{\Delta x^2} = \frac{T_1 - 2T_0 + T_2}{\Delta x^2}\,. \qquad (10.5)$$

0_y және 0_z осьтеріне сәйкесінше көлемдер жиының қарастырайық: (10.4 сурет).

0_y және 0_z осьтеріне қатысты құраушы теңдеулерге айырымдық аналогия жазсақ :

$$\frac{\Delta^2 T}{\Delta y^2} = \frac{T_3 - T_0}{\Delta y^2} - \frac{T_0 - T_4}{\Delta y^2},$$

$$\frac{\Delta^2 T}{\Delta z^2} == \frac{T_5 - T_0}{\Delta z^2} - \frac{T_0 - T_6}{\Delta z^2}. \qquad (10.6)$$

(10.5) және (10.6)теңдеулерді қарастыра отырып (10.4) теңдеуін келесі түрде жазуға болады:

$$\lambda\left[\left(\frac{T_1 - T_0}{\Delta x^2} - \frac{T_0 - T_2}{\Delta x^2}\right) + \left(\frac{T_3 - T_0}{\Delta y^2} - \frac{T_0 - T_4}{\Delta y^2}\right) + \left(\frac{T_5 - T_0}{\Delta z^2} - \frac{T_0 - T_6}{\Delta z^2}\right)\right] + q_0 = 0. \qquad (10.7)$$

(10.7) теңдеуінің екі жағын да $V_0 = \Delta x \cdot \Delta y \cdot \Delta z$ көлеміне көбейтіп, келесіні аламыз:

$$\begin{aligned}
&\left[\frac{\lambda \cdot \Delta y \cdot \Delta z}{\Delta x} \cdot (T_1 - T_0) - \frac{\lambda \cdot \Delta y \cdot \Delta z}{\Delta x} \cdot (T_0 - T_2)\right] + \\
&\left[\frac{\lambda \cdot \Delta x \cdot \Delta z}{\Delta y} \cdot (T_3 - T_0) - \frac{\lambda \cdot \Delta x \cdot \Delta z}{\Delta y} \cdot (T_0 - T_4)\right] + \\
&\left[\frac{\lambda \cdot \Delta x \cdot \Delta y}{\Delta z} \cdot (T_5 - T_0) - \frac{\lambda \cdot \Delta x \cdot \Delta y}{\Delta z} \cdot (T_0 - T_6)\right] + Q_0 = 0,
\end{aligned} \qquad (10.8)$$

мұндағы $Q_0 = q_0 \cdot \Delta x \cdot \Delta y \cdot \Delta z$ - V_0. көлемінде шашылатын, жылулық қуат.

(10.6) теңдеуіне өлшемдерді енгізейік:

$$\sigma_x = \frac{\lambda \cdot \Delta y \cdot \Delta z}{\Delta x}, \sigma_y = \frac{\lambda \cdot \Delta x \cdot \Delta z}{\Delta y}, \sigma_z = \frac{\lambda \cdot \Delta x \cdot \Delta y}{\Delta z}. \qquad (10.9)$$

σ_x, σ_y, σ_z өлшемдерінің физикалық мағынасы және 0_y және 0_z осьтерінде қатты дененің көршілес көлемдері арасындағы жылу өткізгіштік (Вт/К) өлшемі бар (10.4 сурет). Енгізілген өлшемдер негізінде (10.8) теңдеуі келесі түрге енеді:

$$\begin{aligned}
&[\sigma_x \cdot (T_1 - T_0) - \sigma_x \cdot (T_0 - T_2)] + [\sigma_y \cdot (T_3 - T_0) - \sigma_y \cdot (T_0 - T_4)] + \\
&[\sigma_z \cdot (T_5 - T_0) - \sigma_z \cdot (T_0 - T_6)] + Q_0 = 0.
\end{aligned} \qquad (10.10)$$

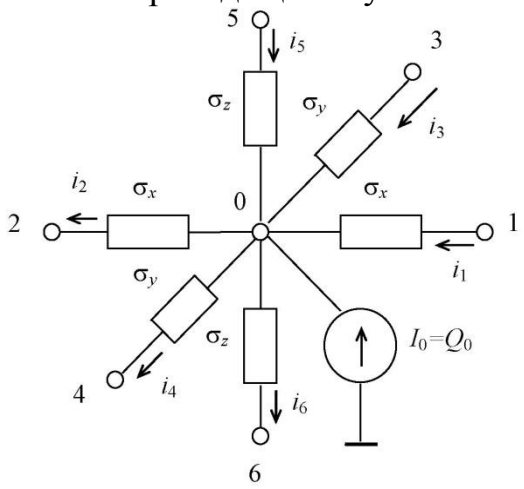
Қатты дененің жай көлеміндегі жылу алмасуды сипаттайтын,қорытынды-айырымдық (10.10) теңдеуі, 10.5 суретте көрсетілген электр тізбегіндегі 0-ші түйіннің токтар суммасына жазылған Кирхгофтың 1-ші заңына сәйкес келеді.

Енді қатты дененің шектес көлемін қарастырайық, мысалға 0_xосіне қатысты (V_1 көлемі 10.6 суретте). Суретте көрсетілген бойынша №1 түйін қатты дене шекарасынан асып, яғни қоршаған ортада тұрғанын көруге болады. Δx ізі қатты дене шекарасынан жасанды жолмен шығарылған.

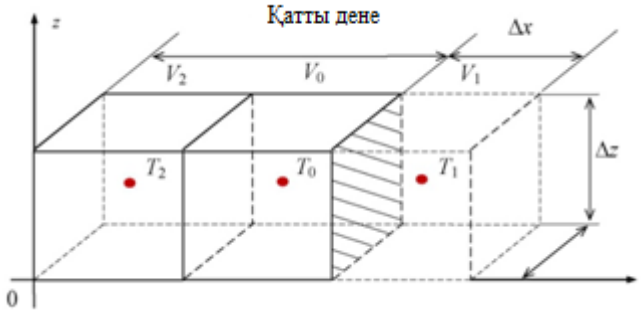
(10.7) теңдеуіне $\lambda_г$ өлшемін енгізіп, қайта көшіріп жазамыз:

$$\frac{\lambda_Г(T_1-T_0)}{\Delta x^2}-\frac{\lambda(T_0-T_2)}{\Delta x^2}+\lambda\left[\left(\frac{T_3-T_0}{\Delta y^2}-\frac{T_0-T_4}{\Delta y^2}\right)+\left(\frac{T_5-T_0}{\Delta z^2}-\frac{T_0-T_6}{\Delta z^2}\right)\right]+q_V=0, \quad (10.11)$$

мұндағы $\lambda_т$ – қатты дене материалының жылу өткізгіштік коэффициентті емес, ал сонымен бірге қоршаған орта мен қатты дене арасындаағы шекарада кіретін интервалдың жылу өткізгіштік коэффициенті.



10.5 сурет - V_0 жай көлемнен жылу беруші процесті моделдейтін электрлік тізбек бөлігі

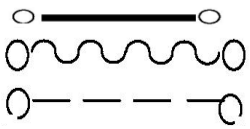


10.6 сурет – Қатты дененің V_1 шекаралық жай көлемі (V_0 және V_2 көлемдері)

Бөлімдердің шекарасының жылу өткізгіштік құрамын тәжірибелік зерттеулерде, қоршаған орта мен дене бетінің арасындағы жылу алмасу заңын анықтауда $\lambda_г/\Delta x$ қатынасы алынады. Бұны жылу беру коэффициенті немесе α жылу алмасу коэффициенті деп атайды.

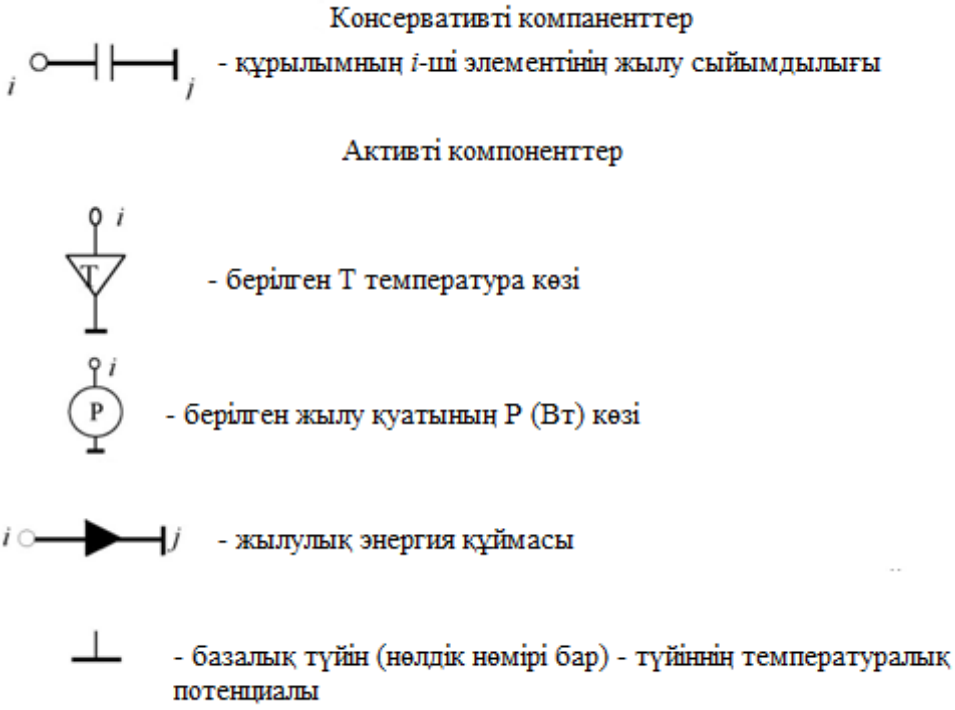
Жылулық процестер үлгілерінде (ЖПҮ) бұтақтар өлшемдерін есептеу үшін бұндай үлгілерді қолдану, оларды құрылыстың геометриялық және жылу-физикалық өлшемдері арқылы анықтауға мүмкіндік береді. Ол өз кезегінде конструкциялардың кез келген ерекшеліктерін ескеруге мүмкіндік береді. 10.7-10.8 суреттерінде жылулық процесс үлгілерінің кейбір құрамдарының белгіленулері көрсетілген.

Диссипативтілік –кинетикалық энергияның жылулыққа ауысуы.



контактілі жылу алмасу;
жылу шығару;
қоршаған ортаға табиғи конвекция.

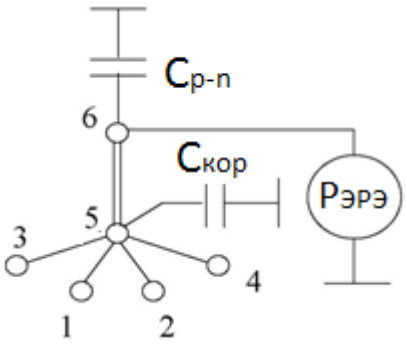
10.7 сурет – Копологиялық ЖБҮ-ң диссипативті компоненттерінің белгіленуі



10.8 сурет - Консервативті және активті компоненттердің белгіленуі

Аналогия тәсілін қолданып, жылулық өткізулерді есептеп шығарғаннан кейін, жылулық процестердің математикалық үлгілерін матрицалық формада жазуға көшуге болады. Мысалға, түйінді потенциалдар базисін пайдалану.

Көренкілік үшін электр тізбегінің активті элементтің (транзистор, күшейткіш, микросұлба) жылулық моделін мысалға келтірейік.



10.9 сурет - Электр тізбегінің активті элементінің жылулық моделі

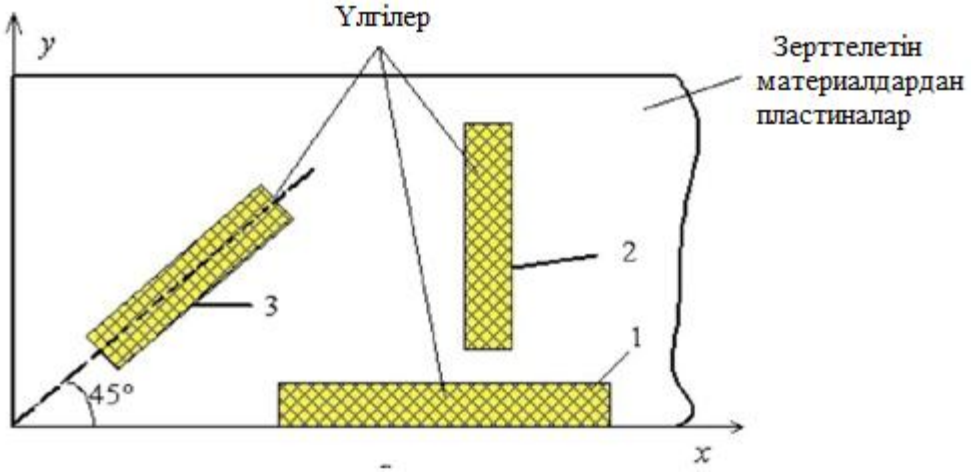
11 Дәріс №11. Механикалық режимдерді моделдеу

Дәріс мақсаты: амортизаторлар түрлерін таңдау үшін баспа тақталары мен түйіндеріне және жүйелеріне механикалық жүктемелерді моделдеу әдістерін оқып,үйрену.

11.1 Баспа түйіндерінің механикалық процестер түрлері

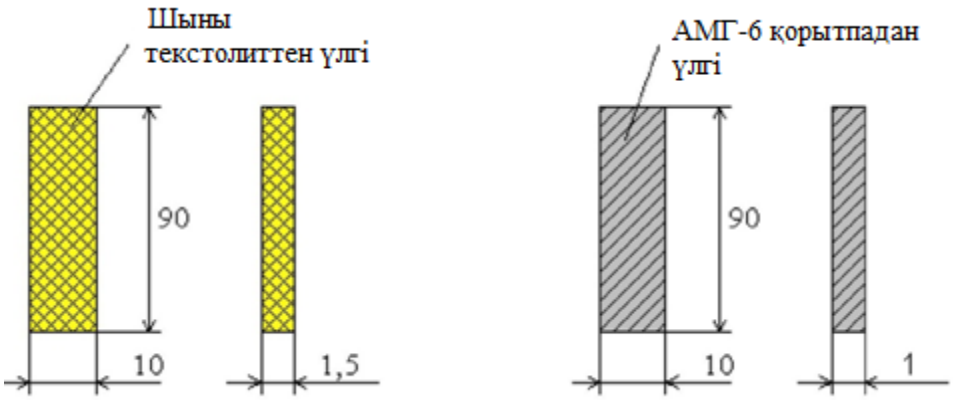
Шынытекстолит ПП дайындау үшін негіз болып табылады. Ол қарқынды механикалық әсерлерге ұшырайтын және өзара перпендикулярлы бағыттарда орналасқан және полимерленген шайырмен сіңдірілген, шыны талшықтың бірнеше қабатынан тұратын құрылымды көрсетеді,

Мұндай құрылымына байланысты шынытекстолит анизотропиялық қасиеттерге ие болады (материал құрылымының өзгеруіне байланысты беріктігінің тәуелділігі). 11.1-11.3 суреттерде шынытекстолиттен және АМГ-6 қоспасынан жасалған пластиналар пішімі эскизі, үлгілер мөлшері мен оларды сынау сұлбалары келтірілген.

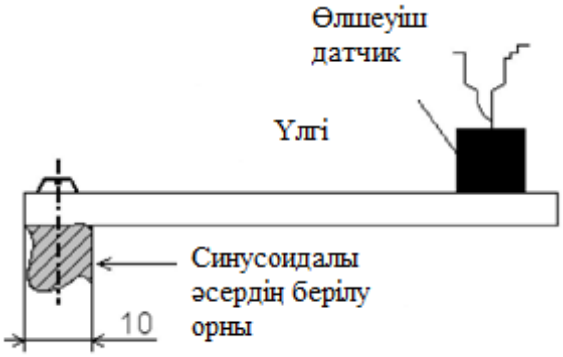


1 – бойлық бағытта; 2 – көлденең бағытта; 3 – 45° бұрышпен бағытында.

11.1 сурет – Материалды пішу эскизі



11.2 сурет – Үлгілер өлшемі

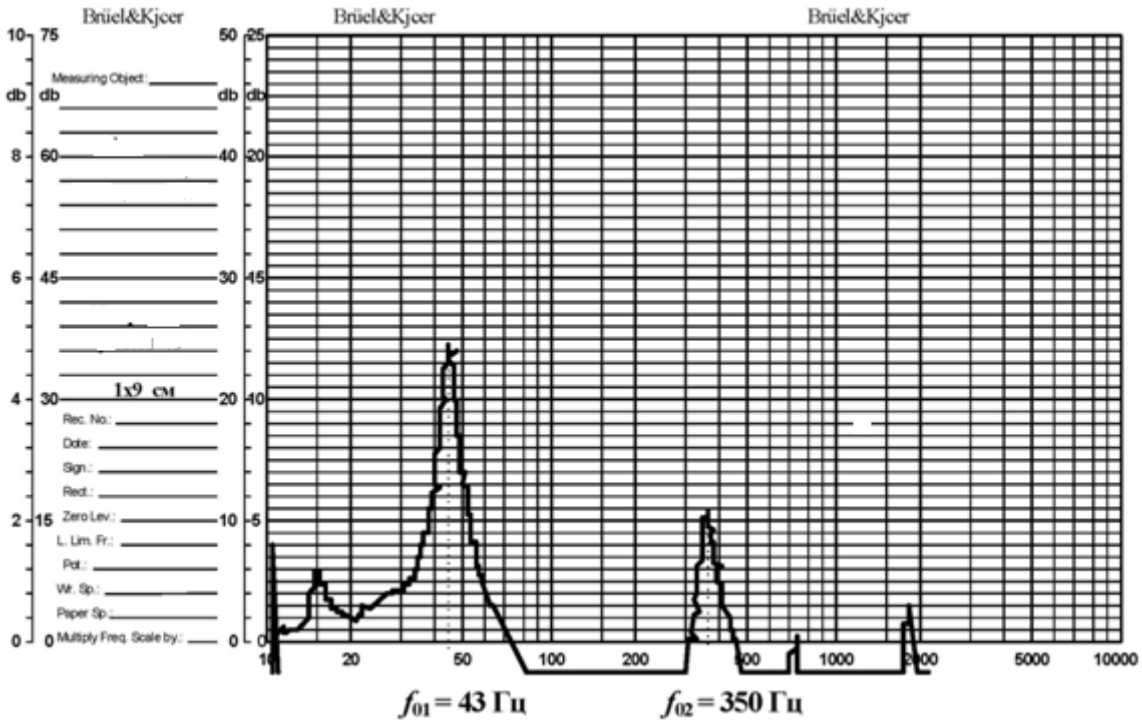


11.3 сурет – Зертелетін үлгі мен датчиктің орнатылу эскизі

Тәжірибе нәтижесінде әрбір үлгі үшін вибро үдеудің синисоидалы әсер етудің қозғаушы жиілігінен тәуелділігі алынған болатын (11.4 сурет).

11.4-11.6 суреттерден көрініп тұрғандай 45° бұрыш бағытындағы шынытекстолиттің қаттылық қасиеттері оның бойлық және көлденең бағыттардағы қаттылық қасиеттерінен ерекшеленеді .

Бұл зерттелініп отырған үлгілердің 20% жуық (f_{01}) бірінші және (f_{02}) екінші резонанстық жиілігі айырмашылығымен түсіндіріледі.



11.4 сурет – Шынытекстолит АЧХ (АЖС)

Жоғарыда келтірілген интенсивті механикалық әсерге ұшырайтын баспа тақталарының механикалық сипаттамаларын қарастыра отырып, келесі өлшемдер жиынын қоссақ болады:

E_1 – осы ПП үлгі материалын 0_x немесе 0_y осіне қатысты игендегі оның тығыздық модулі;

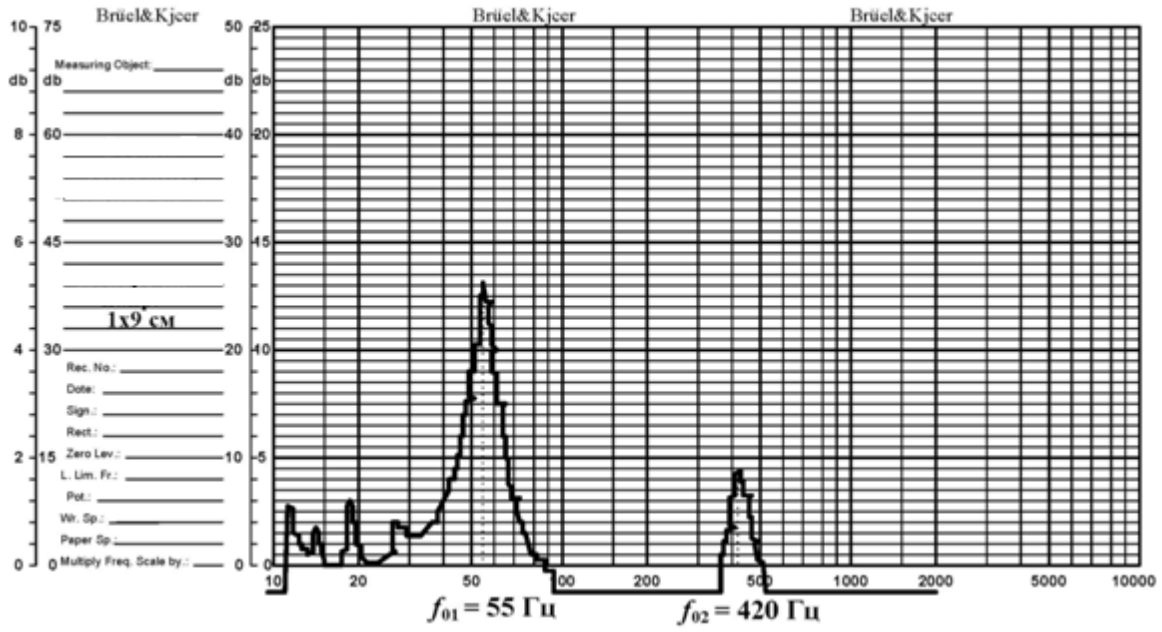
E_{45} - ПП үлгі материалының негізге 45° бұрышпен қиып алғандағы тығыздық модулі;

μ_1,μ_{45} – негізге 45° бұрышпен және 0_x немесе 0_y осьтерінің өзгерісі кезіндегі Пуассон коэффициенті;

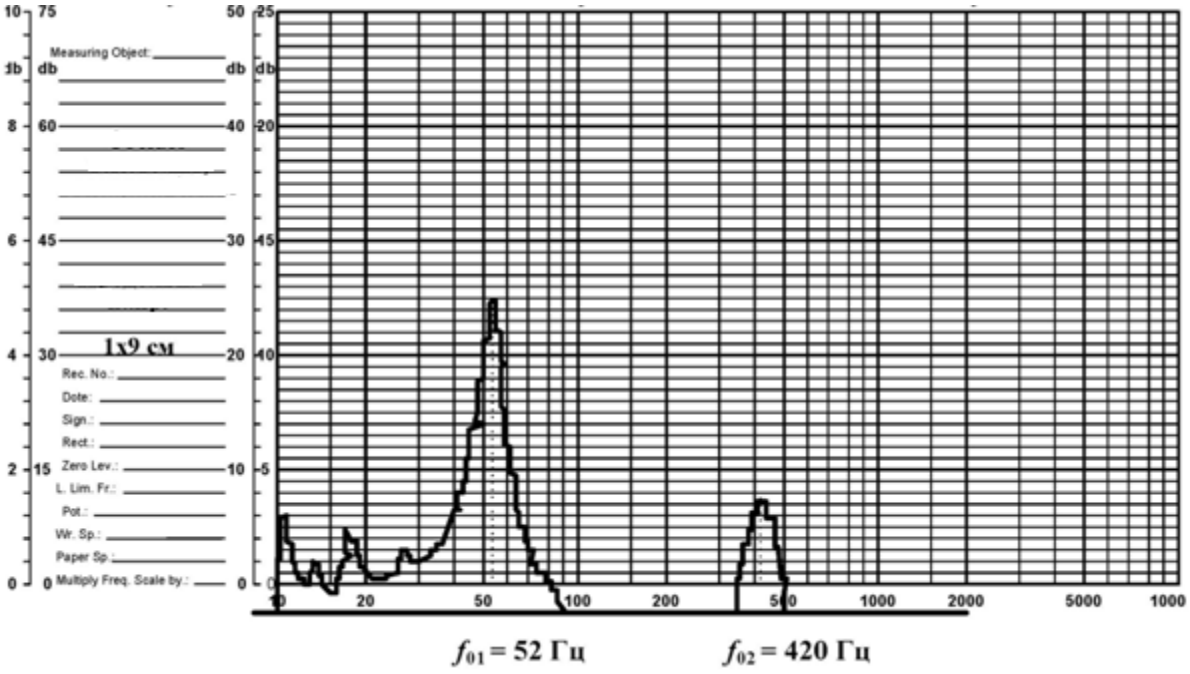
ρ - ПП материал тығыздығы;

ψ – вибрациялық өзгеріс кезіндегі материалдағы энергия шашырау коэффициенті.

Вибрациялық әсер кезіндегі материалдағы энергия шашырау коэффициентісыртқы механикалық әсерлердің салдарынан болатын өлшемдерден, материалдағы механикалық кернеу өлшемінен, вибрациялық әсер жиілігінен және материал температурасынан тығыз байланысты.



11.5 сурет – Шынытекстолит АЧХ (АЖС)



11.6 сурет - Шынытекстолит АЧХ (АЖС)

Жалпы алғанда, ПУ құрылысын анизотропиялық жергілікті орнатылған ЭК-мен, қаттылық қабырғалармен және т. б., сондай-ақ қосымша салмақпен күшейтілген пластина ретінде сипаттауға болады.

11.2 Вибрациялық әсерлердің өлшемдері

ПС-та вибрациялық әсерлерді гармоникалық (детерминерленген), полигармоникалық және кездейсоқ деп жіктесек болады.

Гармоникалық әсерлер X_m амплитуда мен T тербеліс периодымен сипатталатын, периодты тербеліс процесі болып табылады. τ уақыт моментіндегі орын ауыстырудың мәні келесідей анықталады.

$$X(\tau) = X_m \cdot \sin(2pt/T + j) = X_m \cdot \sin(\omega\tau + j), \qquad (11.1)$$

мұндағы ω = 2π/T – айналым жиілігі;
φ – гармоникалық тербеліс фазасы.

Гармоникалық әсер кезіндегі амплитудалық үдеу келесідей табылады

$$A = \omega^2 \cdot X_m. \qquad (11.2)$$

Полигармоникалық вибрациялық әсер бірнеше гармоникалық әсерлердің қосындысы түрінде берілуі мүмкін әсер болып табылады:

$$X(\tau) = \sum_{i=1}^{M} X_{mi} \cdot \sin(\omega_i \tau + j_i), \qquad (11.3)$$

мұндағы X_{mi}, ωi, φi - амплитуда, айналым жиілігі және і-ші гармоникалық тербелістің бастапқы фазасы.

Гармоникалық әсерлер әртүрлі бірлік күшті айналмалы механизмдері(электр қозғалтқыштар, турбинналық двигательдері және т. б.) бар, ПС орнататын объектілерде туады. Полигармоникалық әсерлер бірнеше, саны бойынша әртүрлі айналымы бар механикалық құрылғыларды ПС орнату объектілерінде бар кезде туады.

Кездейсоқ процестерді екі топқа жіктеуге болады: 1-ші топ – стационарлық (сипаттамалар санаудың басталуынан тәуелді емес); 2-ші топ – стационарлық емес (сипаттамалар санаудың басталуынан тәуелді).

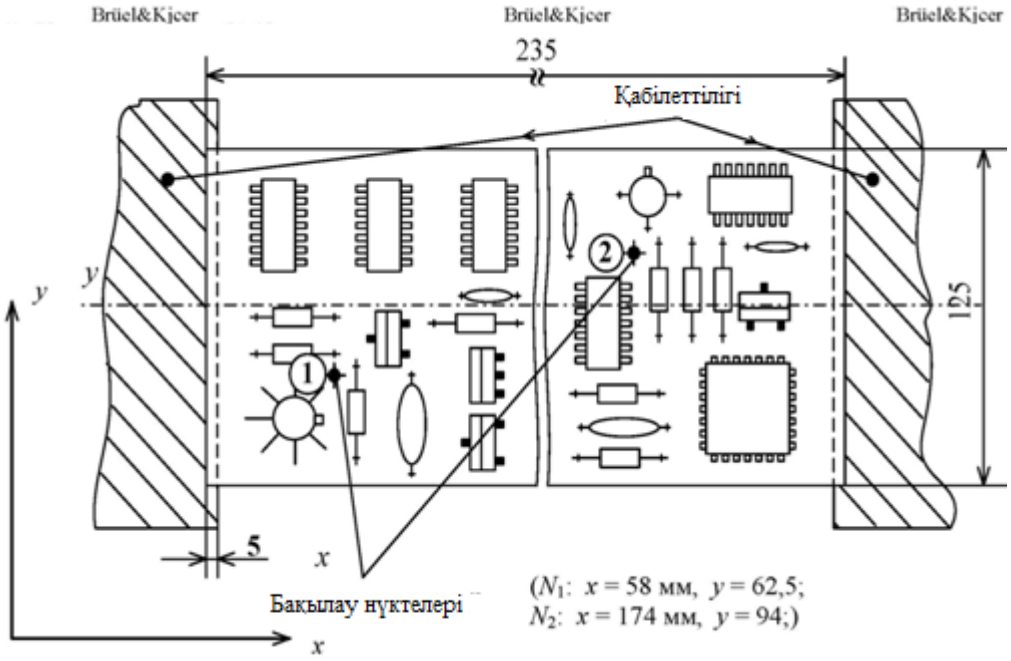
Стационарлы кездейсоқ процессте оның әрбір іске асырылуының бірдей сипаттамаларға ие болады, ал стационарлы емес процестің іске асырылуы бірдей қасиеттеріне ие болмайды.

Стационарлы кездейсоқ тербелісті процесі жиілікті спектрге ие. Алайда бұл процесті белгілі бір амплитудалар мен фазалардан тұратын гармониканы құрайтындар қосындысы түрінде елестетуге болмайды. Себебі кездейсоқ процесті іске асыру бірдей және кездейсоқ түрде өзгеріп отырады. Осыған байланысты, кездейсоқ тербелісті спектр сипаттамасын діріл диапазонының бірлік жиілігіне келетін, діріл қуаты тұрғысынан сипаттаған жөн. Тәжірибеде кездейсоқ діріл параметрлерін бағалау үшін үдеудің спектрлі тығыздығы ұғымын пайдаланады G(ω):

$$G(\omega) = \lim_{\Delta\omega \to 0} \frac{a}{D\omega} = \int_{-\infty}^{+\infty} K_X(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau, \qquad (11.4)$$

мұндағы ω – айналым жиілігі;
а – үдеудің орта квадраттық өлшемі $a = \sqrt{D(\omega)}$.

11.7-суретінде функционалдық ұяшықтар үлгі құрылысының эскизі келтірілген (металл негізді, қалыңдығы 1,5 мм көпқабатты баспа тақталары ЭК-мен тақтаның әрбір жағына орнатылған), ал 11.8 - суретте тәжірибе негізінде алынған функционалды ұяшықтың №1 бақылау нүктесінің жиіліктік сипаттамасы.



11.7 сурет – Функционалды ұяшық эскизі

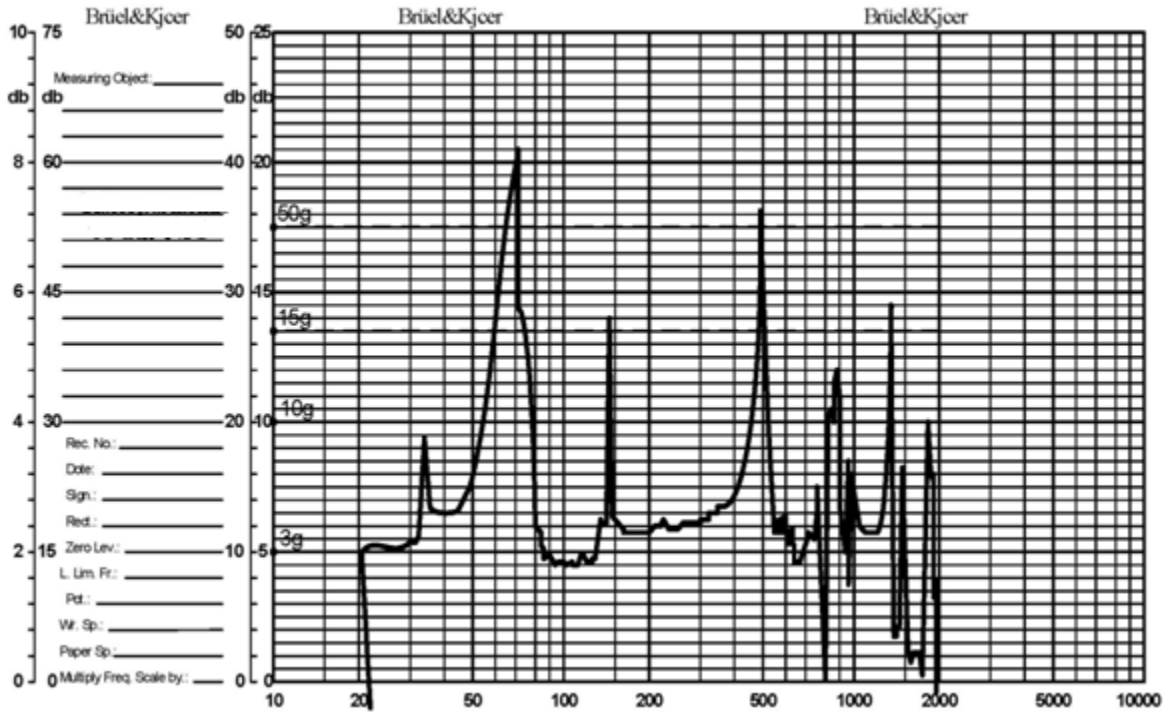


Рисунок 11.8 – 1 нүктедегі АЧХ гармоникалық әсер

Әдебиеттер тізімі

1 Бараночников М.Л. Микромагнитоэлектроника. Т.1. – М.: ДМК Пресс, 2001. – 544 с.

2 Воротников С.А. Информационные устройства робототехнических систем. – М.: Изд – во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 384 с.

3 Грачев А.А. Конструирование электронной аппаратуры на основе поверхностного монтажа компонентов. – М.: НТ Пресс, 2006. – 384 с.

4 Зотов М.Г. Многокритериальное конструирование систем автоматического управления. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 375 с.

5 Колесов Ю.Б. Моделирование систем. Объектно-ориентированный подход. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 192 с.

6 Пирогова Е.В. Проектирование и технология печатных плат. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2005. - 560 с.

7 Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры: Учебник для вузов /Под ред. Шахнова В.А. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 568 с.

8 Макаров Ю.Н. Перспективные технологии приборостроения. – М.: Экономика, 2011. – 406 с.

Мазмұны

Кіріспе.....3
1 Дәріс №1. Құралдардың жобалауына арналған жүйелі көзқарас.....3
2 Дәріс №2. Сенсорлы жүйелердің объектілі бағытталған жобалауы.....8
3 Дәріс №3. Интерфейстік электроника және техниканың өлшеу әдістемесі..14
4 Дәріс №4. Цифрлы- аналогты түрлендіргіштер.....19
5 Дәріс №5. АЦТ классификациясы және сипаттамасы.....25
6 Дәріс №6. Тізбекті интегралдағыш АЦТ.....31
7 Дәріс №7. Кернеудің, токтың және тестілі сигналдардың қорек көздері...36
8 Дәріс №8. Магнит өрісінің түрлендіргіштері.....41
9 Дәріс №9. Техникалық көру жүйелері.....47
10 Дәріс №10. Жылулық режимді модельдеу.....53
11 Дәріс №11. Механикалық режимдерді модельдеу.....59
Әдебиеттер тізімі.....66