



**Коммерциялық емес  
Акционерлік  
қоғам**

**АЛМАТЫ  
ЭНЕРГЕТИКА  
ЖӘНЕ  
БАЙЛАНЫС  
УНИВЕРСИТЕТІ**

Инженерлік  
Кибернетика  
кафедрасы

## **БЕЙСЫЗЫҚТЫ АВТОМАТТЫ РЕТТЕУ ЖҮЙЕЛЕРІ**

5В070200 – Автоматтандыру және басқару мамандығы студенттері үшін зертханалық жұмыстарды орындау бойынша әдістемелік нұсқаулықтар

Алматы 2014

ҚҰРАСТЫРУШЫЛАР: Б.А.Чернов, А.К. Аталыкова. Бейсызықты автоматты реттеу жүйелері: 5B020700 - Автоматтандыру және басқару мамандығы студенттері үшін зертханалық жұмыстарды орындау бойынша әдістемелік нұсқаулықтар. – Алматы: АЭЖБУ, 2014. – 35 б.

Әдістемелік нұсқаулықта зертханалық жұмыстарды орындаудағы әрбір зертханалық жұмыстың, автоматты басқару және реттеу жүйелердегі бейсызықты құрылғылардың сипаттамалары келтірілген, тәжірибелі мәліметтерді өңдеу және жұмысты орындау әдістемесі, ұсынылған әдебиеттер тізімі мен бақылау сұрақтары берілген.

Барлық зертханалық жұмыстар «Көпконтурлы АБЖ» текшені қолдану арқылы құрастырылған.

Әдістемелік нұсқаулық 5B070200 - Автоматтандыру және басқару мамандығының студенттеріне арналған.

Кесте – 1, Ил. – 13, әдеб. көрсеткіші – 41 атау.

Пікір беруші: аға оқытушысы Абдрешева С.Б.

«Алматы энергетика және байланыс университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамының 2014 жылғы жоспары бойынша басылады.

© «Алматы энергетика және байланыс университеті» КЕАҚ, 2014 ж.

## Мазмұны

Зертханалық жұмыс №1. Статикалық бейсызықты буындар.....	4
1 Қолданылатын құрылғылардың сипатталуы .....	4
1.1 «Көпконтурлы АБЖ» текшесі .....	4
1.2 Арнайы программалық қамтамасыздандыру. «Көпконтурлы АБЖ» программадағы оператордың құралы.....	8
2 Қысқаша теориялық мағлұмат. Бейсызықты буындардың түрлері мен типтері.....	9
3 Зертханалық жұмысқа тапсырма.....	12
4 Зертханалық жұмыстың орындалу реті .....	13
5 Жұмыстың нәтижесі және есеп берудің мазмұны.....	13
Зертханалық жұмыс №2. Бейсызықты буындарды автоматтандырылған амалмен зерттеу .....	14
1 Қысқаша теориялық мағлұмат.....	16
1.1 Өлшеулерді автоматтандыру .....	16
1.2 Арнайы форманың сигналдар генераторы .....	17
2 Зертханалық жұмысқа тапсырма.....	17
3 Зертханалық жұмыстың орындалу реті .....	18
4 Жұмыстың нәтижесі және есеп берудің мазмұны.....	19
Зертханалық жұмыс №3. Гармоникалық әсер кезіндегі бейсызықты буындардың шығысындағы сигналдардың формасын зерттеу .....	20
1 Қысқаша теориялық мағлұмат.....	20
1.1 Гармоникалық сызықтандыру әдісі .....	20
1.2 Бейсызықтылықты гармоникалық сызықтандыру .....	21
2 Зертханалық жұмысқа тапсырма.....	22
3 Зертханалық жұмыстың орындалу реті .....	23
4 Жұмыстың нәтижесі және есеп берудің мазмұны.....	24
Зертханалық жұмыс №4. АБЖ фазалық портреті .....	25
1 Қысқаша теориялық мағлұмат.....	26
1.1 Процестердің фазалық жазықтықта бейнеленуі .....	26
1.2 Электрондық модельдердің сұлбалары .....	27
2 Зертханалық жұмысқа тапсырма.....	28
3 Зертханалық жұмыстың орындалу реті .....	28
4 Жұмыстың нәтижесі және есеп берудің мазмұны.....	29
А қосымшасы Операциондық күшейткіштер туралы жалпы мағлұмат.....	31
Әдебиеттер тізімі.....	33

## Зертханалық жұмыс №1. Статикалық бейсызықты буындар

**Жұмыстың мақсаты:** операцияндық күшейткіштерде құрылған әртүрлі инерциясыз бейсызықты буындарды оқып білу және олардың статикалық сипаттамаларын (СС) эксперимент арқылы зерттеп меңгеру.

### 1 Қолданылатын құрылғылардың сипатталуы

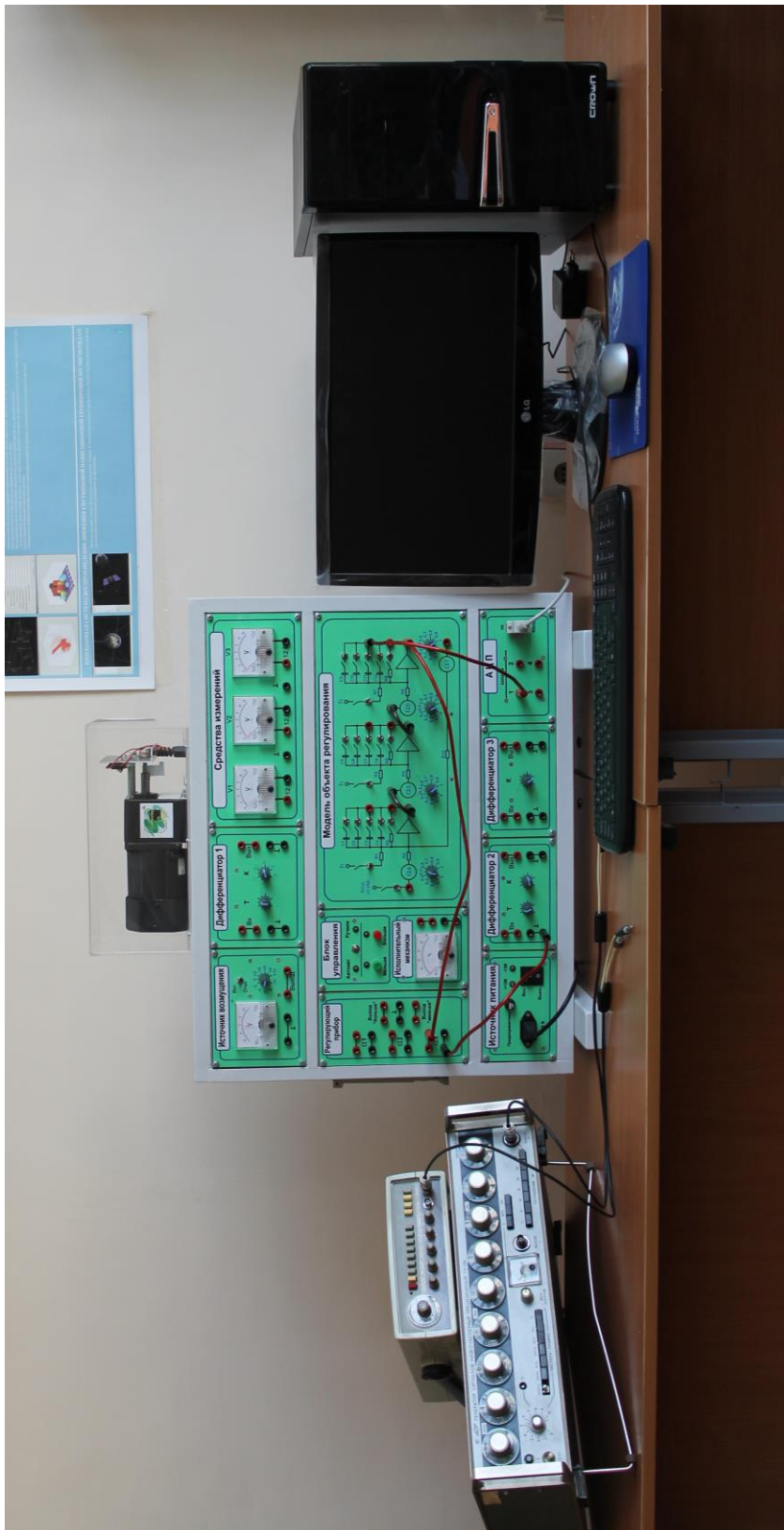
Зертханалық жұмыс «Көпконтурлы АБЖ» (2 сурет) текшеде орындалады. Өлшеулерді автоматты режимде өткізу үшін және өлшеулердің қорытындыларын өңдеу үшін текшенің қасында дербес компьютер және тасымалданатын С1-83, С1-107 осциллографтар мен DEGEM SYSTEM-141В1, ГЗ-110 типтес генераторлар орнатылған.

#### 1.1 «Көпконтурлы АБЖ» текшесі

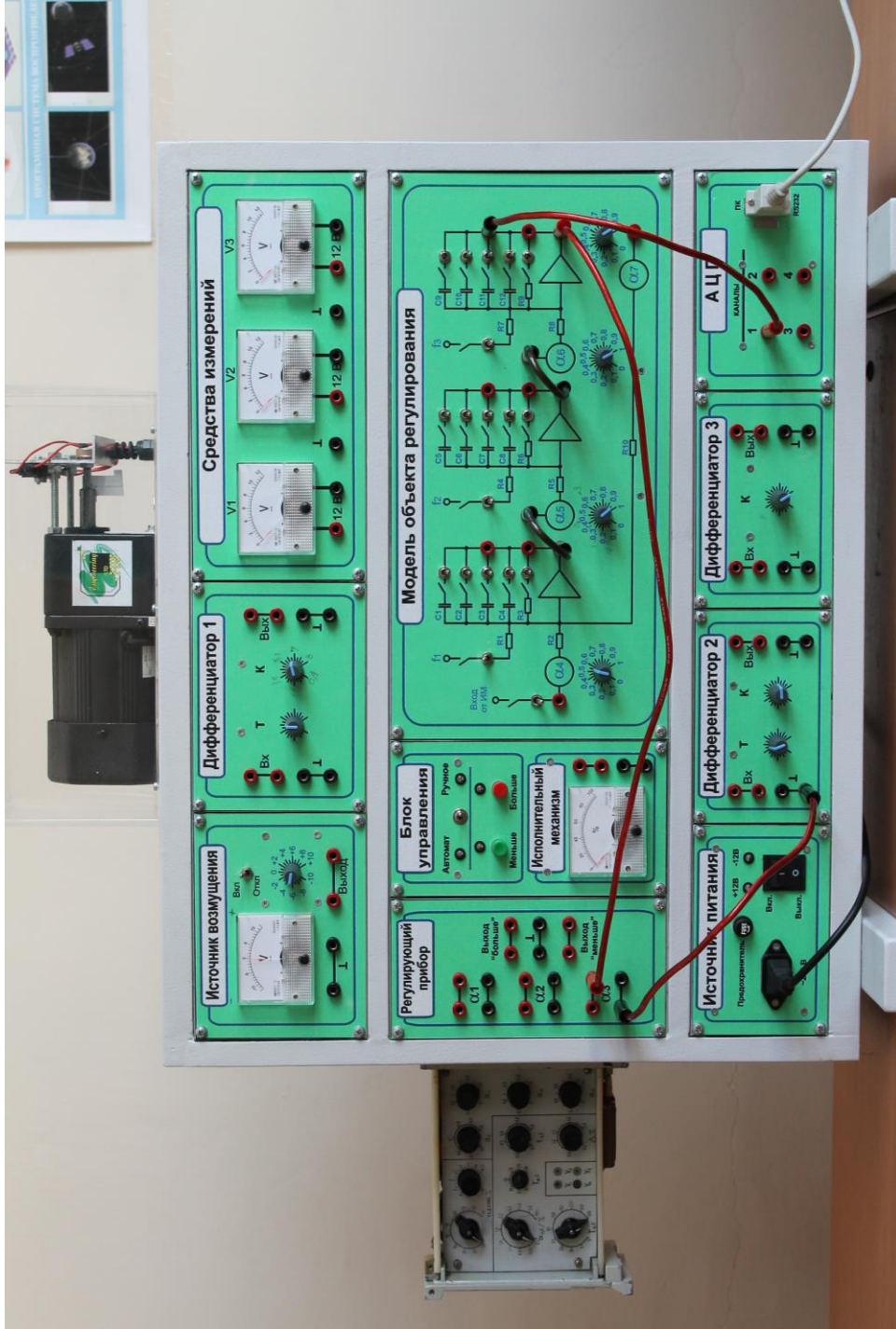
«Көпконтурлы АБЖ» текшеде (3 және 4 суреттер)  $U_{кк}$  кернеудің ішкі нұсқамалық вольтметр бар реттелетін тұрақтандырылған екіполярлы қоректендіру көзі, резисторлар мен интегралды операцияндық күшейткіштерде жасалған қайта құрылатын бейсызықты элементтер, жіберу аппаратурасы бар басқару блогы (ББ), бірфазалық электрқозғалтқыш түрінде айнымалы тоқты редукторы бар тұрақты жылдамдықпен атқарылатын реверсивті орындаушы механизм (ОМ), ОМ білік жағдайларының көрсеткіші (ЖК), айнымалы резистор түрінде реттеуші орган (РО) және  $U_{ом}$  басқарылатын кернеудің көзі түрінде V1 вольтметр, төртарналы АЦТ және бір уақытта төрт сигналды өлшеуге, тіркеуге және графиктер мен олардың функционалды тәуелділіктерін тұрғызуға мүмкіндігі бар арнайы программалық қамтамасыздандыруы бар дербес компьютер (ДК) орнатылған.

Белгіленген құрылғылардың тізбегі ББ, ОМ, РО және ЖК қосымша реттелетін тұрақтандырылған  $U_{ом}$  екіполярлық кернеуді алуға арналған. АЦТ текшедегі таңдалатын нүктелерден алынған аналогты сигналдарды цифрлауға арналған. Текшеде операцияндық күшейткіштер интегралды микросұлбалар LM358M түрінде қолданған.

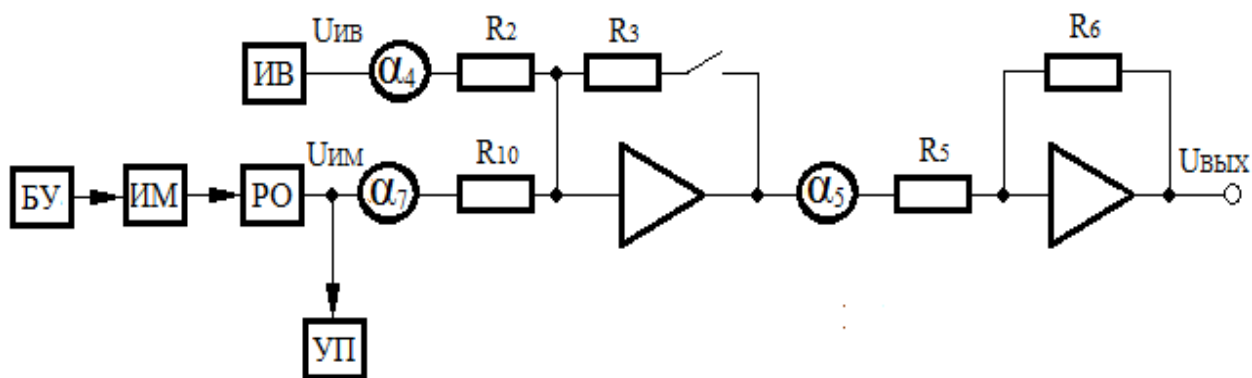
Текше тұрақты ішкі электр байланыстар бар біртұтас теру-коммутациялық өрісті құрайтын және жалпы рамада тіркелген модульдердің жиынтығы түрінде жасалған. Жұмысшы тапсырманы орындауға арналған сұлбаларды операцияндық күшейткіштер, кернеу бөлгіштер (потенциометрлер)  $\alpha_4... \alpha_7$ , резисторлар, конденсаторлар, тумблерлер және *коммутациялық сымдар* деп аталатын түрлі түсті, әртүрлі ұзындықпен арнайы иілгіш электр өткізгіштер көмегімен теру-коммутациялық өрісте жинайды. Коммутациялық сымдардың соңында бірполюсті ашалар бар, оларды теру-коммутациялық өрістегі ұяшықтарға кіргізеді. Текшедегі модульдердің электр сұлбалардың «жалпы нүктесі» бар, сондықтан керекті кіріс пен шығысты байланыстыру үшін тек бір ғана коммутациялық сым жеткілікті.



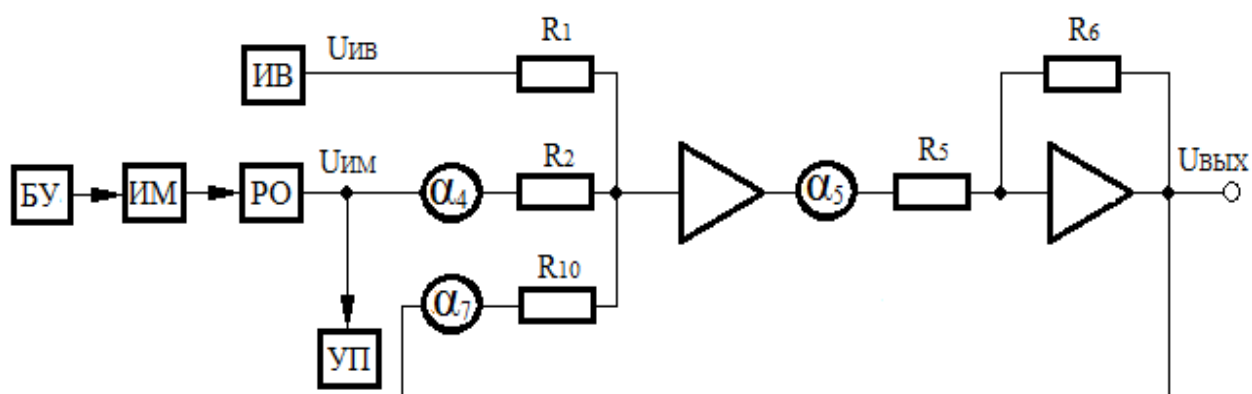
1 сурет – Оқу құрылымдар кешенінің түрі



2 сурет – «Көпконтурлы АБЖ» текше



3 сурет – Бірмәнді бейсызықтарды зерттеуге арналған зертханалық құрылғының функционалды-принципиалды сұлбасы



4 сурет - Бірмәнді емес бейсызықтарды зерттеуге арналған зертханалық құрылғының функционалды-принципиалды сұлбасы

Электр тізбекті тек қоректендіру көзі өшіп тұрған кезінде жинау керек. Сонымен бірге коммутациялық сымдарды бір-бірімен шатаспайтындай, салбырамайтындай, тартылмайтындай тыңғылықты орналастыру қажет.

Текшедегі тумблерлердің тұтқалары үстіңгі орнында болғаны – бұл олардың іске қосылғанына сәйкес келеді.  $\alpha_4 \dots \alpha_7$  потенциометрлердің беріліс коэффициенттерін орнатылған тұтқалар көмегімен  $0 \dots 1$  аралықта реттеуге болады.

«Әсердің көзі» (ӘК) модульдегі нұсқамалық вольтметрдің нолі шкаланың ортасында орналасқан. Нұсқаманың нольден оң немесе сол жағында орналасуы - оң таңбалы немесе теріс таңбалы  $U_{ӘК}$  кернеуге сәйкес болғаны.

Ыңғайлы болу үшін операциондық күшейткіштің әрбір шығысы үш рет қайталанған (көбейтілген). Қолданылатын күшейткіштердің бір

(инверсиялайтын) кірісі бар. Операциондық күшейткіштер туралы жалпы мәліметтер А қосымшасында келтірілген.

Импульсты және жоғарғы жиіліктік сигналдарды өлшеу мен тіркеу үшін стандарттық құрылымы бар *осциллографикалық сынауықпен* жабдықталған С1- 83 типтес екіканалды осциллографты немесе С1-107 типтес портативті осциллограф-мультиметрді пайдалануға болады. БЭ резисторлардың келесі номиналды мәндері бар:  $R_1 = R_3 = R_4 = R_6 = R_7 = R_9 = R_{10} = 1 \text{ Мом}$ ,  $R_2 = R_5 = R_8 = 200 \text{ кОм}$ .

## **1.2 Арнайы программалық қамтамасыздандыру. «Көпконтурлы АБЖ» программадағы оператордың құралы**

Аталған программалық қамтамасыздандыру (ПҚ) текшеден алынған цифрлық және графикалық ақпаратты визуализациялауға арналған.

1.2.1 ПҚ іске қосу үшін жұмыс үстелдегі «САР» ярлықты манипулятормен екі рет басады. Одан басқа ПҚ іске қосу жолы - тізбеліктен Windows – Пуск > Программы > Chip Engineering > САР деген арқылы іске қосылу мүмкін. ПҚ терезесі жұмыстық облысында негізгі тізбелікті, процестердің диаграммаларын және жағдайдың тақтасын шығарып көрсетеді. Негізгі тізбеліктің тақтасы келесі бөлімдерден тұрады «Файл», «Измерение» және «Вид графика».

ПҚ текшемен СОМ-порт арқылы байланысқан. Оны іске қосу үшін негізгі тізбеліктің «Измерение» бөліміндегі «Соединить» бұйрығын таңдау керек. ПҚ дурыс қосылса графиктерде текшеден алынған сигналдар көрсетіледі.

ПҚ текшеден ажырату үшін негізгі тізбеліктің «Измерение» бөліміндегі «Разъединить» бұйрығын таңдау керек. Ажырату орындалғаннан кейін жағдайлар панелінде «отключено» пайда болады және мәліметтер графиктерде жаңартылмайды.

1.2.2 ПҚ баптауларын өзгерту үшін негізгі тізбеліктегі «Измерение» бөліміндегі «Настройка» бұйрығын ерекшелейді. Экранда тек қана графиктердің баптауларын өзгертетін келесі тізбеліктерден құрылған ПҚ формасы пайда болады «Порт», «Графики», «Канал 1», «Канал 2», «Канал 3» және «Канал 4». Порттың және каналдардың баптаулары жеке текшеге және оның АЦТ-не бейімделген. Сондықтан порттың және каналдың баптауларын өзгертуге болмайды.

Графиктердің баптауларына өту үшін манипулятордың сол жағындағы батырмасымен «Графики» бұйрығын таңдайды. Сол батырманы басқаннан кейін графиктердің баптаулары іске қосылады. Бұл баптаулар арқылы графиктердің Y өсі бойынша минималды және максималды мәндерін орнатуға болады (процестердің диаграммаларының өзгеру диапозондарын) және X өсі бойынша өлшеулердің санын беруге болады. «Время между измерениями» параметрі мүмкін болған мәндердің ішінен таңдалады және АЦТ екі көрші болатын өлшеулердің арасындағы уақытын анықтайды (АЦТ дискретизациялау мәніне кері мән). Өлшеулердің саны және өлшеулердің



уақыты не құрлым көп болса сол құрлым «скорость диаграммы» (жылдамдықтың диаграммасы) кіші болады.

Өзгерістер тек «ОК» батырмасын басқаннан кейін сақталады. «Отмена» батырмасы баптаулардың формасының өзгерістерін сақтамай жабады. Графиктерді үлкейту үшін керекті графиктің облысына екі рет басса, ол экранға толық түрінде ашылады.

1.2.3 Өлшенетін мәндерді тек уақыттық функция ғана емес түрінде бейнелеуге болады: «X-Y» бейнелеу режим деп аталатын «Канал 1» мәндерді «Канал 2» мәндердің функциясы ретінде, ал «Канал 3» мәндерді «Канал 4» мәндердің функциясы ретінде де бейнелеуге мүмкіндік бар.

«X-Y» режимде графикті көру үшін «Вид графика» тізбелікте бейнелеуге қажетті графикті манипулятордың сол жағындағы батырма арқылы сәйкес келетін пунктты таңдау керек. Содан кейін, ПҚ негізгі терезесінде таңдалған арналардың масштабына және диапазондардың баптауларына сәйкес келетін X және Y осьтердің масштабы мен диапазоны терезеде шығады. Бір уақытта екінші графикті де «X-Y» режимде шығару үшін ең басында екінші графиктің терезесіне орын босату керек: бірінші графиктің терезесін монитордың экранының ортасынан шетке жылжытады, содан кейін бірінші графикті шығаруға арналған әрекеттерді қайталайды.

1.2.4 Программа текшеден келетін сигналдарды түсіре алады. Сақтау уақытында графиктерден алынған мәліметтер жеке файлда сақталады. Файлды ашу үшін негізгі тізбеліктегі «Файл» бөлімінің «Открыть» бұйрығы таңдалады. Файлды ашқаннан кейін графиктерде алдыңғы өлшеулерден сақталған сигналдар көрсетіледі.

Өлшеулердің файылын сақтау үшін негізгі тізбеліктің «Файл» бөліміндегі «Сохранить» бұйрығын таңдау керек. «Сохранить» таңдалғаннан кейін, экранға файлды сақтау формасы шығады. Өзгерістерді сақтауға арналған файлдың атын көрсетіп, «Сохранить» батырмасын басыңыз. Содан кейін графиктерде көрсетілген өлшеулердің мәліметтерін Microsoft Excel-де көруге болады.

Сақталған файлды Microsoft Excel программасында ашыңыз. Excel форматындағы жоғарғы жолда графиктің өлшеулердің саны көрсетіліп тұрады. Сол жағындағы тік жолда өлшеудің нөмірі көрсетіледі. Одан кейін 1 – 4 арналарға сәйкес келетін Ch1- Ch4 тік жолдар орналасады.

## **2 Қысқаша теориялық мағлұмат. Бейсызықты буындардың түрлері мен типтері**

*Бейсызықты* АБЖ дегеніміз - бұл кем деген де бір бейсызықты теңдеумен сипатталатын буыны бар АБЖ. Бейсызықты буындардың түрлерін атап кетейік [2]: релелі типтес, кесек-сызықты сипаттамамен, әртүрлі кескінді қиық сызықты сипаттамамен, қайтакөбейткіш және сигналдар бөлгіші, бейсызықты импульстық элемент, логикалық, айнымалы құрылымымен.

Бейсызықтыларды *статикалық* және *динамикалық* деп бөледі. Біріншілер бейсызықты алгебралық теңдеулермен сипатталады, ал екіншілер – бейсызықты дифференциалдау теңдеулермен. Статикалық БЭ-ді бейсызықты статикалық сипаттамалар түрінде көрсетуге болады [16].

Динамикалық бейсызықтылар тек динамикада айқындалады, яғни шамалар уақытқа байланысты өзгереді. Мұндай бейсызықтылар сәйкесетін шамалардың уақыт бойынша туындыларына тәуелді. Статикалық бейсызықтылар статика мен динамикада айқындалады [4].

Іс жүзінде [6, 7] тегіс бейсызықты, кесек-сызықты және кесек-тұрақты сипаттамалармен бейсызықты элементтер бар. Барлық бейсызықты сипаттамалар *бір мағыналы және бір мағыналы емес (көпмәнді)* болып бөлінеді. Бір мағыналы емес сипаттама деген, егер кірістегі сигналдың өсуімен шығыстағы шама бір тәуелділікпен өзгереді, ал азайған кезінде басқа тәуелділікпен өзгереді. Мұндай сипаттамаларды жиі *гистерезистік* деп атайды.

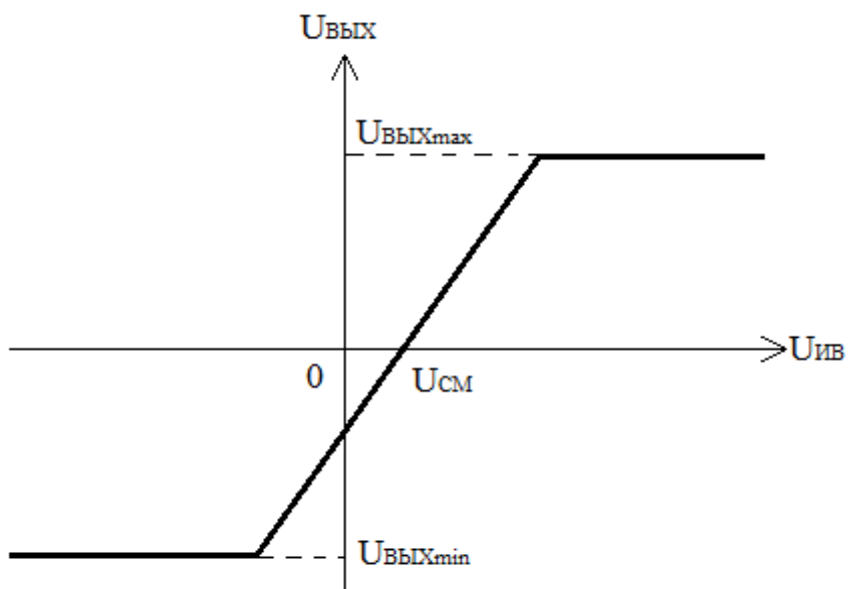
Автоматты жүйелерде [1, 4, 7, 12, 16] нақты бейсызықтылардан кесек-сызықты аппроксимациямен ерекшелінетін келесі типтік статикалық бейсызықтылар кең тараған: *сезімсіздік аймағы бар, шектелу (қанықтыру), өлі жүріс, гистерезис, люфт, тіреуіш, диодтық сипаттама (идеалды түзеткіш), деңгей бойынша кванттау, идеалды реле (құрғақ үйкеліс), сезімсіздік аймағы бар реле, гистерезисі бар реле, сезімсіздік аймағы бар және гистерезиспен реле* және басқалары.

Статикалық бейсызықтылар *үздіксіз* немесе *релелі, ілмектік гистерезистік* немесе *ілмектік озушы* [15]. *Қарапайым бейсызықты элементтер* бұл статикалық (*инерциясыз*) бір мағыналы бейсызықтылар [7, 10].

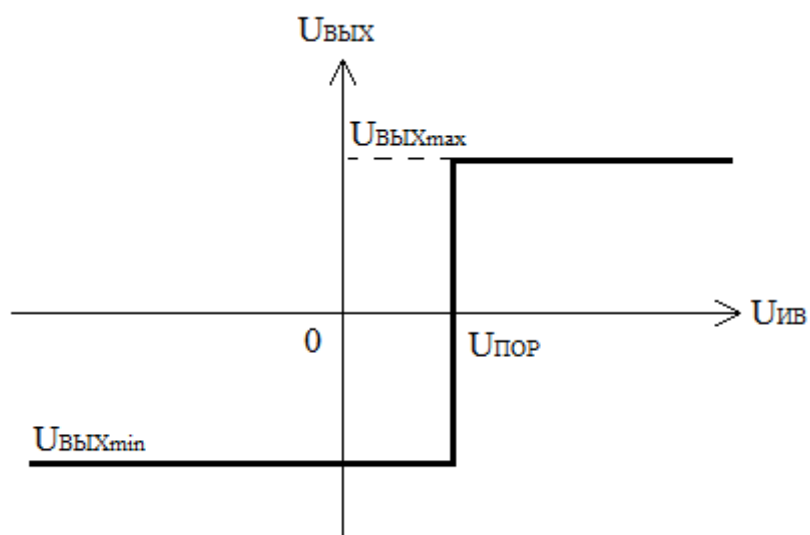
Бейсызықты АБЖ құрылымы мен теңдеуі жалпы түрінде өте күрделі болу мүмкін. Күрделіктің дәрежесі бейсызықты элементтердің санына, түріне және қосылу орнына тәуелді. Бірақ, өндірістік автоматикада кездесетін көптеген жүйелерде *бірғана* маңызды бейсызықты элемент болады.

Автоматты жүйелердің [21] басқаратын құрылғыларда релелі элементтермен қоса *ерекше бейсызықтыларды* пайдаланады. Оларға [10] жоғарыда айтылған *сигналдар көбейткіштер, логикалық элементтер* және *айнымалы құрылымы бар* элементтер жатады.

3 суретте келтірілген сұлба арқылы 5 және 6 суреттегі бір мағыналы СС бейсызықты элементтерді құруға болады. Бұл суреттегі  $U_{ж}$  – жылжу кернеуі,  $U_{қд}$  – қайта қосылу деңгейдің кернеуі.

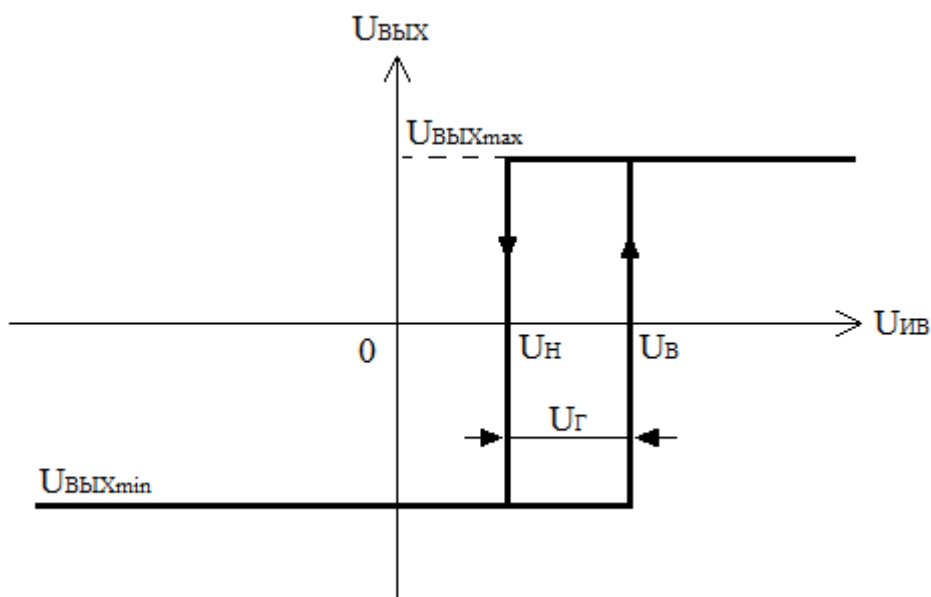


5 сурет – Күшейту буынның статикалық сипаттамасы



6 сурет – Салыстыратын құрылғының (компаратордың) статикалық сипаттамасы

4 суретте келтірілген сұлба 7 суреттегі бір мағыналы емес СС бейсызықты элементті құруға мүмкіндік береді. Мұндағы  $U_T$  – төменгі қайта қосылу деңгейдің кернеуі,  $U_J$  – жоғарғы қайта қосылу деңгейдің кернеуі,  $U_T$  – гистерезистің шамасы.



7 сурет – Зерттелетін бір мағыналы емес бейсызықтының статикалық сипаттамасы

### 3 Зертханалық жұмысқа тапсырма

3.1 «Көпконтурлы АБЖ» текшенің құрылымымен, техникалық сипаттамасымен және программалық қамтамасыздандырумен танысу (1.1 бөлімшесі).

3.2 Шығыс кернеудің амплитуда бойынша шектелуі бар күшейту буынды жинап, сынап және баптап көру. Оның әртүрлі күшейту коэффициенттері үшін,  $U_{Ж}$  жылжу шамалары және  $U_{ШЫҒmax}$ ,  $U_{ШЫҒmin}$  шектелу үшін СС алу және графиктерін тұрғызу (5 сурет).

3.3 Шығыс кернеудің амплитуда бойынша шектелуі бар салыстыру құрылғыны (компараторды) жинап, сынап және баптап көру. Оның әртүрлі  $U_{дең}$  қайта қосу деңгейдің шамалары үшін және  $U_{ШЫҒmax}$ ,  $U_{ШЫҒmin}$  шектелу үшін СС алу және графиктерін тұрғызу (6 сурет).

3.4 Шығыс кернеудің амплитуда бойынша шектелуі бар гистерезис пен шектелу бар релелі буынды жинап, сынап және баптап көру. Оның әртүрлі  $U_{Т}$ ,  $U_{Ж}$  қайта қосу деңгейдің шамалары үшін және  $U_{ШЫҒmax}$ ,  $U_{ШЫҒmin}$  шектелу үшін СС алу және графиктерін тұрғызу (7 сурет).

3.5 Барлық эксперименттер үшін зерттелген бейсызықты буындардың түрлері мен типтерін анықтау.

3.6 Зерттелген бейсызықты буындардың параметрлеріне әсер ететін ББ баптаулар мен  $\alpha_4$ ,  $\alpha_5$ ,  $\alpha_7$  талдау.

#### 4 Зертханалық жұмыстың орындалу реті

4.1 Күшейту буынды зерттеу үшін сұлбасын жинау (3 сурет).  $R_3$  резисторды іске қосу. ДК мониторында  $U_{КК}$ ,  $U_{ОМ}$ ,  $U_{ШЫҒ}$  сигналдарды өлшеп, тіркеу үшін АЦТ-тің бірінші, екінші және үшінші арналардың кірістерін ИВ (КК), ИМ(ОМ) және зерттелетін күшейткіштің кірістерімен байланыстыру.

$U_{КК}$  сигналды өлшеу үшін ИВ (КК) ішкі вольтметрді қолданған жөн. Ал  $U_{ШЫҒ}$  сигналды V1 вольтметрмен өлшеуге болады. Бірақ, есте болу қажет, егер  $U_{ШЫҒ}$  сигналдың полярлылығы өзгерсе вольтметрдің ұяшығындағы сымдардың орындарын ауыстыру керек.

4.2 Текшеге және ДК 220В көрегін қосу. 1.2 бөлімше бойынша өлшенетін сигналдарды визуализациялайтын және тіркейтін программаны іске қосу.

4.3 «Больше» (Көп) және «Меньше» (Аз) батырмалардың көмегімен ББ «Ручное» (Қолмен)  $U_{ОМ} = 0$  кернеуді орнату.  $\alpha_4 = 0,4$ ;  $\alpha_5 = 0,2$ ;  $\alpha_7 = 1$  орнату.

4.4 КК іске қосу.  $U_{КК}$  кернеуді өзгертіп, берілген буынның  $U_{ШЫҒ}(U_{КК})$  СС алу және графигін тұрғызу. Сол тәуелділіктің өзіндік нүктелердің (омырылымдардың, үзілулердің) координаталарын тіркеу қажет.

4.5  $\alpha_4$  басқа мәндер үшін 4.4 бөлімшені қайталау. Мысалы, 0,7 және 1.

4.6 «Больше» (Көп) және «Меньше» (Аз) батырмалар арқылы  $U_{ОМ} = 5В$  кернеуді орнатып,  $\alpha_4 = 1$  үшін 4.4 бөлімшені қайталау.

4.7  $U_{ОМ} = - 5 В$  үшін 4.6 бөлімшені қайталау.

4.8  $\alpha_5 = 0,1$  орнату және 4.7 бөлімшені қайталау.

4.9  $R_3$  резисторды өшіріп 4.3, 1.4, 4.6-4.8 бөлімшелерді қайталау.

4.10 Гистерезисі бар релелі буынды зерттеу үшін сұлбаны жинау (4 сурет). АЦТ-тің бірінші, екінші және үшінші арналардың кірістері ИВ (КК), ИМ(ОМ) және зерттелетін буынның кірістері байланыста болып қалады (4.1 бөлімше).

4.11  $\alpha_4 = \alpha_5 = \alpha_7 = 0,2$  орнату. «Больше» (Көп) және «Меньше» (Аз) батырмалардың көмегімен ББ «Ручное» (Қолмен) режимде  $U_{ОМ} = 0$  кернеуді орнату.

4.12 КК іске қосу.  $U_{КК}$  кернеуді өзгертіп, берілген буынның  $U_{ШЫҒ}(U_{КК})$  СС  $U_{КК} -10$ -нан  $+10В$  өскен кезде, содан кейін  $+10$ -нан  $-10В$  азайған кезінде алып, графиктерін тұрғызу керек. Сонымен бірге, сол тәуелділіктің өзіндік нүктелердің (омырылымдардың, үзілулердің) координаталарын тіркеу қажет.

4.13  $\alpha_7$  басқа мәндер үшін 4.12 бөлімшені қайталау, мысалы 0,4 және 0,6.

4.14  $\alpha_7 = 0,2$  орнату және  $U_{ОМ} = 5В$ , содан кейін  $U_{ОМ} = - 5В$  үшін 4.12 бөлімшені қайталау.

4.15  $\alpha_5 = 0,1$  орнату;  $U_{ИМ} = 0$  және 4.12 бөлімшені қайталау.

## 5 Жұмыстың нәтижесі және есеп берудің мазмұны

[20] сәйкес толық есеп беруді жасау: жиналған сұлбаларды, кестелерді және СС графиктерін сызып, 3.5 және 3.6 жұмыс тапсырманың бөлімшелерін жасап, қорытындыларын жазу.

### Бақылау сұрақтары

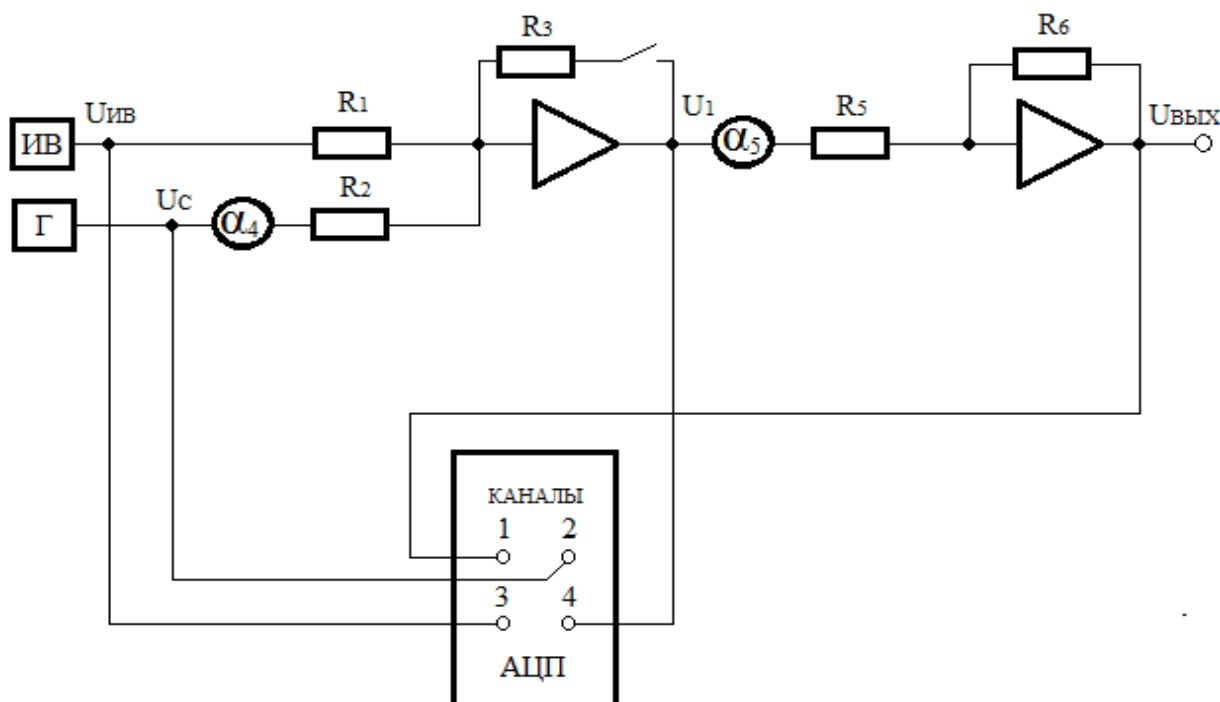
1. Динамикалық бейсызықтылардың статикалық бейсызықтылардан айырмашылығы.
2. Тегіс бейсызықты, кесек-сызықты және кесек-тұрақты статикалық сипаттамалары бар бейсызықты элементтердің мысалдарын келтіріңдер.
3. Маңызды және маңызды емес бейсызықтылардың түсініктемесі.
4. Бейсызықты элементтердің түрлері және олардың статикалық сипаттамалары.
5. Бір мағыналы және бір мағыналы емес бейсызықты сипаттамалардың түсініктемесі.
6. Типтік бір мағыналы бейсызықтының статикалық сипаттамалары.
7. Типтік бір мағыналы емес бейсызықтының статикалық сипаттамалары.
8. Реле типтес гистерезисі бар бейсызықтының статикалық сипаттамасы.
9. Реле типтес гистерезиссіз бейсызықтының статикалық сипаттамасы.
10. Ерекше бейсызықтылар.
11. Ілмектік бейсызықтылардың статикалық сипаттамалары.
12. Гистерезистік сипаттамасы бар бейсызықты буындардың бірнеше мысалдарын және олардың қолдану облыстарын келтіріңіз.
13. Үздіксіз және релелі бейсызықтылардың бірнеше мысалдарын келтіріңіз.
14. Қарапайым бейсызықты элементтердің мысалдары мен олардың СС.
15. Бейсызықты функциялардың кәдімгі сызықталуы.
16. Бейсызықты жүйелердің сызықты жүйелерден принципіалды айырмашылықтары.
17. Бейсызықты АБЖ зерттеуге арналған және кең тараған әдістері және олардың қысқаша сипаттамалары.
18. Бейсызықты жүйелерді жан-жақты және жан-жақты емес, аналитикалық және аналитикалық емес зерттеу әдістері.

## Зертханалық жұмыс №2. Бейсызықты буындарды автоматтандырылған амалмен зерттеу

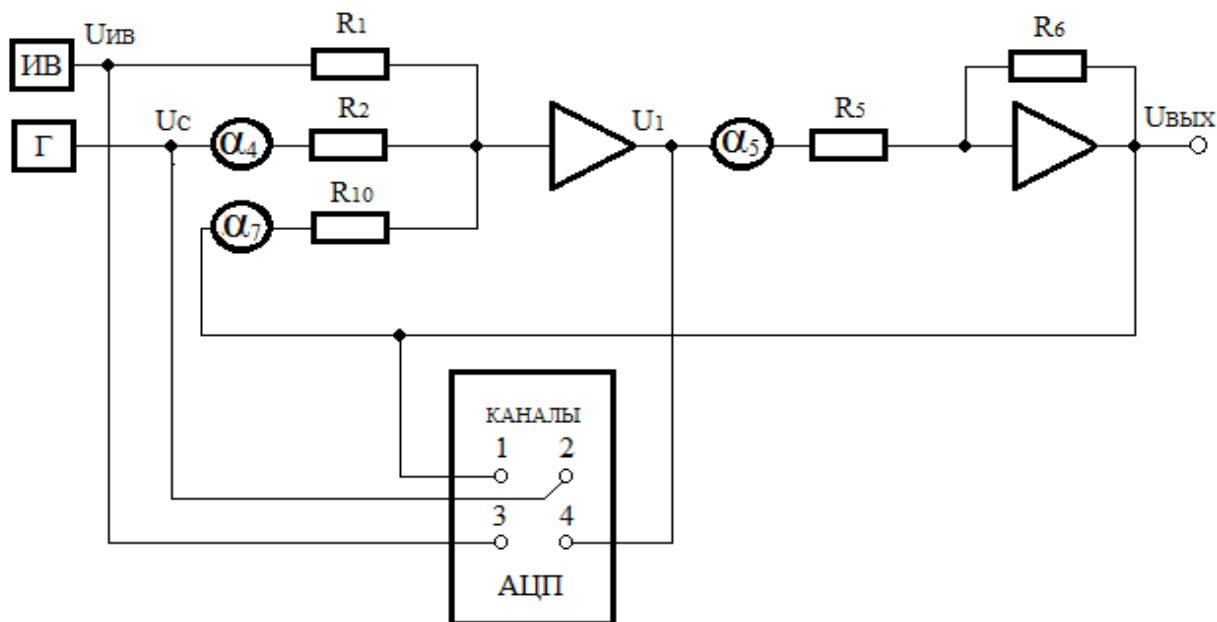
**Жұмыстың мақсаты:** бейсызықты буындардың статикалық сипаттамаларын зерттеу үшін автоматтандыру дағдыларын қолдану.

Құрылғылар (8 және 9 суреттер): «Көпконтурлы АБЖ» текшеде  $U_{кк}$  кернеудің ішкі нұсқамалық вольтметр бар реттелетін тұрақтандырылған екіполярлы қоректендіру көзі, резисторлар мен интегралды операциялық күшейткіштерде жасалған қайта құрылатын бейсызықты элементтер, төртарналы АЦТ және бір уақытта төрт сигналды өлшеуге, тіркеуге және графиктер мен олардың функционалды тәуелділіктерін тұрғызуға мүмкіндігі бар арнайы программалық қамтамасыздандыруы бар ДК орнатылған, сонымен бірге  $U_c$  кернеуді үшбұрышты және синусоидалды сигналдардың түрінде өңдеуге арналған DEGEM SYSTEM-141B1 функционалды генератор. Аталған генераторда шығыс кернеудің амплитудасын тұрақтандыруын жоғарлату үшін автоматты тұрақтандыруға арналған күрделі тұйықталған жүйелер қолданған.

Құрылғылардың толық сипаттамалары 1.1 бөлімінде, ал операциялық күшейткіштер туралы жалпы мәліметтер А қосымшасында берілген.



8 сурет – Бірмәнді бейсызықтыларды автоматтандырылған зерттеулерге арналған зертханалық қондырғының функционалды-принципиалдық сұлбасы



9 сурет - Бірмәнді емес бейсызықтыларды автоматтандырылған зерттеулерге арналған зертханалық қондырғының функционалды-принципиалдық сұлбасы

## 1 Қысқаша теориялық мағлұмат

### 1.1 Өлшеулерді автоматтандыру

Автоматтандыру мәселесі көп жылдар аралығында маңызды болатын, қазіргі уақытта да маңыздылығы жоғалған жоқ [22-25]. 1970 жылдары басталған өлшеулерді автоматтандырудың әсіресе белсенді дамуы микроэлектроника табыстарға, цифрлы өлшеу құралдарды және радиоэлектрондық аппаратураны, микропроцессорларды және микро-ЭЕМ ендіруге байланысты. Адамның автоматтандыру процесіне қатысу дәрежесі бойынша, автоматтандыру *ішінара* және *толық автоматтандыру* болып бөлінеді. Ішінара автоматтандыру кезінде, яғни автоматтандырылған жүйелерде, өлшеу операциялардың тек бөлігі ғана оператордың қатысуынсыз орындалады. Толық автоматтандыруда, яғни автоматты жүйелерде, өлшеу процесі толық адамның қатысуынсыз орындалады.

Өлшеулерді автоматтандырудың негізгі бағыттары тығыз уақыт аралығында бізмезгілде көптеген параметрлерді өлшеу, тіркеу және ақпараттың үлкен ағындарды өңдеу қажеттілікке байланысты. Айтылған есептердің табысты шешімі келесі ғылым бағыттардың байланысқан дамуына тәуелді: информатика, өлшеу және есептеу техника, өндірістік процестерді автоматтандыру, жана технологиялар және т.б.



Өлшеу әдістердің және құралдардың, басқару процестердің, мәліметтерді сақтау және талдау автоматтандыруы, компьютердің негізінде магистральды –модульдік өлшеу-есептегіш жүйелерді құруға әкелді.

Басқару үшін, керекті алгоритм бойынша есептеулерді жүргізу үшін, аспаптарда кірістірілген микропроцессорларды қолдану – бұл өлшегіш техниканың жетістіктердің бірі.

Заманауи интегралды технология бойынша орындалған көпфункционалды цифрлы аспаптар аналогты аспаптарды ығыстырып жатыр. Цифрлы аспаптарда өлшеу ақпаратты визуалды индикациялаудан басқа ДК және принтерге шығысы бар, соған байланысты жүйелерде бақыланатын мәндерді тіркеу және норманың шектерінен шыққан кезде сигнализациялау, параметрлердің үздіксіз бақылануы кеңейтіліп жатыр.

Цифрлы аспаптарда микропроцессорлардың бар болуы олардың жұмысын толық автоматтандыруға мүмкіндік бере алады, көптеген процестердің эксперименттік зерттеулердің тиімділігін жоғарлатады және өлшеу процесін жеңілдетеді.

Жанжақты есептер өлшеу техниканың құралдардың көмегімен шешілетіні, қарапайымнан бастап күрделі дейін құрылымы және міндеті әртүрлі өлшеу жүйелерді құруға әкелді, мұнда қолданатын ДК тек ақпаратты өндеуге емес, басқаруға да пайдаланады. Осындай жүйелердің дамуы адам қатысуынсыз және шектелген уақытта өлшенетін, бақыланатын, диагностикалық ақпаратты алуға мүмкіндікті береді.

Бүгін габариттері кіші компьютерлерде құрастырылған жүйелер экономика жағынан да тиімді. ДК пайдаланушысы желіге қосылатын иілгіш көпфункционалды жүйелерді құра алады.

## **1.2 Арнайы форманың сигналдар генераторы**

Мұндай генераторлар жеке және периодты әртүрлі формамен сигналдарды өндіре алады [22, 24-28]: *меандра*, үшбұрыш, трапециялы, аратісті, синус-квадраттік, қоңырау тәріздес, синусоидалды және т.б. Оларды автоматика құрылғыларды, есептеуіш, өлшеуіш, вибрациялық техниканы, геофизикалық, биофизикалық, медицина аппаратураны және т.б. баптауға, сынауға, зерттеуге қолданады.

Қарапайым және арзан арнайы формамен сигналдардың генераторларын гистерезисі бар кейбір деңгейлік элемент арқылы бейсызықты кері байланыспен интеграторлар негізінде жасайды. Интегралдау процесінде пайда болған тұрақты кернеу сызықты болып өзгертін кернеуге айналады, оның мәні кейбір мәннен кейін таңбасын ауыстырады. Генератордың шығысында пайда болатын симметриялық үшбұрыштық кернеуді, басқа формамен сигналға түрлендіруге болады. Мұндай генераторлардан шығатын сигналдар шектелген жиынтықпен ғана қамтамасыз етілген, дәлдігі және тұрақтылығы жоғары емес.

Кез келген формамен сигналдарды шығару үшін сигналдың өзін кесек-сызықты синтездің негізінде жұмыс істейтін функционалды генераторларды

қолданады. Мұндай құрылғылар негізінде сызықты түрде өзгертін кернеудің генераторы жатыр (СӨКГ, орысша ГЛИН), кернеудің ұзақтығын және амплитудасын өзгертуге болады [29, 30].

Кез келген әртүрлі формамен сигналды сызықты түрде өзгертін элементарлық сигналдардан алуға болады. Алдын ала берілген дискреттік мәндердің жиынтығынан цифрлық сақтау құрылғыға жеке элементарлық сигналдың параметрлер (ұзақтық және амплитуда) еңгізіледі, циклдің соңында басына қайта оралудың арнайы сигналы пайда болады, сол арқылы сигналдың бастапқы мәнін анықтауға болады. Генератордың жұмысын микропроцессор басқарады.

Программалық басқаруы бар генераторлар алдын ала жадыда жазылған программа бойынша жұмысты атқарады: шығыстағы кернеуді және жиіліктікті дистанциондық басқару, аспаптарды синхроимпульспен іске қосу және т.б.

## **2 Зертханалық жұмысқа тапсырма**

2.1 «Көпконтурлы АБЖ» текшенің құрылымымен және техникалық жазылуымен, DEGEM SYS-TEM-141B1 типті функционалды генератормен және текшенің программалық қамтамасыздандырумен танысу (№1 зертханалық жұмыстың 1.1, 1.2 бөлімдері).

2.2 Шығыс кернеуі амплитуда бойынша шектелген күшейту буынды зерттеу үшін автоматтандырылған қондырғыны жинап, сынаңыз және баптаңыз. Оның статикалық сипаттамалардың (СС) графиктерін әртүрлі күшейту коэффициенттер үшін,  $U_{\text{ШЫҒ}}$  ығыстыру шамалар мен  $U_{\text{ШЫҒmax}}$  шектелу үшін ДК монитормен алыңыз және тіркеңіз (5 сурет). Генератордың  $U_C$  сигналын әртүрлі жиіліктер үшін үшбұрышты және синусоидалды пішінмен қолдану керек.

2.3 Шығыс кернеуі амплитуда бойынша шектелген салыстыру құрылғыны (компараторды) зерттеу үшін автоматтандырылған қондырғыны жинап, сынаңыз және баптаңыз. Оның статикалық СС графиктерін әртүрлі  $U_{\text{дең}}$  қайта қосылу деңгей шамалар мен  $U_{\text{ШЫҒmax}}$ ,  $U_{\text{ШЫҒmin}}$  шектелу үшін ДК монитормен алып, тіркеңіз (6 сурет).

Генератордың  $U_C$  сигналын әртүрлі жиіліктер үшін үшбұрышты және синусоидалды пішін түрінде қолдану керек.

2.4 Шығыс кернеуі амплитуда бойынша шектелген гистерезисі бар релелі буынды зерттеу үшін автоматтандырылған қондырғыны жинап, сынаңыз және баптаңыз. Оның статикалық СС графиктерін әртүрлі  $U_T$ ,  $U_{\text{ж}}$  қайта қосылу деңгейдің шамалары мен  $U_{\text{ШЫҒmax}}$ ,  $U_{\text{ШЫҒmin}}$  шектелу үшін ДК монитормен алып, тіркеңіз (7 сурет).

Генератордың  $U_C$  сигналды үшбұрышты және синусоидалды пішінмен әртүрлі жиіліктермен қолдану керек.

2.5 Жасалған эксперименттер негізінде зерттелген бейсызықты буындардың түрлері мен типтерін анықтаңыз.

2.6 Зерттелген бейсыздықты буындардың СС параметрлеріне әсер ететін текше пен генератордың баптаулар органдардың әсерін талдаудан өткізіңіз.

### 3 Зертханалық жұмыстың орындалу реті

3.1 Күшейту буынды зерттеу үшін автоматтандырылған қондырғының сұлбасын жинау керек (8 сурет). ЭК шығыстың  $U_{ЭК}$  сигналы күшейту буынның СС ығыстыруға арналған, ал генератордың шығысындағы сигнал берілген буынның СС сканирлеу үшін қолданылады.  $R_3$  резисторды іске қосыңыз.  $\alpha_4 = 0,4$ ;  $\alpha_5 = 0,2$  орнатыңыз.

3.2 Текшеге, ДК және генераторға 220В қоректендіру көзін қосыңыз, №1 зертханалық жұмыстың 1.2 бөлімшесі бойынша өлшенетін сигналдарды визуализациялайтын және тіркейтін бағдарламаны іске қосыңыз.

3.3 Генераторда үшбұрышты пішінімен амплитудасы 10В, жиілігі 0,1Гц  $U_C$  сигналды орнатыңыз.

3.4  $U_{КК} = 0$  болғанда ДК монитордың экранында күшейту буынның СС алыңыз.  $U_1$  сигналдың пішініне назар аударыңыз.

3.5  $\alpha_4$  басқа мәндер үшін, мысалы 0,7 және 1 болғанда 3.4 бөлімшені қайталаңыз.

3.6  $U_{КК} = 5В$  орнатып,  $\alpha_4 = 1$  болғанда 3.5 бөлімшені қайталаңыз.

3.7  $U_{КК} = - 5В$  болғанда 3.6 бөлімшені қайталаңыз.

3.8  $\alpha_5 = 0,1$  орнатып, 3.6 және 3.7 бөлімшелерді қайталаңыз.

3.9 Сканирлеу жиіліктің басқа мәндер үшін, мысалы 0,5Гц, СС сынап көріңіз.

3.10  $U_C$  сканирлеу сигнал синусоидалды пішінде болған жағдайда СС сынап көріңіз.

3.11  $R_3$  өшіріп келесі 3.3, 3.4 және 3.6–3.11 бөлімшелерді қайталаңыз.

3.12 Гистерезисі бар релелі буынды зерттеуге арналған автоматтандырылған қондырғының сұлбасын жинаңыз (8 сурет). АЦТ кірістері бұрынғыдай қосылу керек.

3.13  $\alpha_4 = \alpha_5 = \alpha_7 = 0,2$  орнатып, 3.3 және 3.4 бөлімшелерді қайталаңыз.

3.14  $\alpha_7$  басқа мәндер үшін, мысалы 0,4 және 0,6 болғанда 3.4 бөлімшені қайталаңыз.

3.15  $\alpha_7 = 0,2$  орнатып,  $U_{КК} = 5В$  болғанда, содан кейін  $U_{КК} = - 5В$  3.13 бөлімшені қайталаңыз.

3.16  $\alpha_5 = 0,1$  және  $U_{КК} = 0$  болғанда 3.13 бөлімшені қайталаңыз.

3.17 3.9 және 3.10 бөлімшелерді қайталаңыз.

### 4 Жұмыстың нәтижесі және есеп берудің мазмұны

[20] сәйкес толық есеп беруді жасау: жиналған сұлбаларды, кестелерді және СС графиктерін сызып, 2.5 және 2.6 жұмыс тапсырманың бөлімшелерін жасап, қортындыларын жазу.

## Бақылау сұрақтары

1. Генератордың арнаулы форма сигналдардың түрі және параметрлері.
2. Сызықты түрінде өзгертін кернеудің генераторы, оның шығыс сигналдары және жұмысты атқару принципі.
3. Функционалды генераторлардың шығыстағы сигналдардың формасы.
4. Арнаулы форма сигналдардың генераторының жұмысты атқару принципі.
5. Автоматты өлшеулер мен зерттеулердің өзектілігі.
6. Арнаулы форма сигналдардың генераторының қолдану облысы.
7. Функционалды генератордың жұмысты атқару принципі.
8. Сезімсіздік аймағы бар біржартыпериодты түзеткіштің СС.
9. Сезімсіздік аймағы бар екіжартыпериодты түзеткіштің СС.
10. Сезімсіздік аймақ пен шектелуі бар біржартыпериодты түзеткіштің СС.
11. Сезімсіздік аймағы бар екіжартыпериодты түзеткіштің СС.
12. Аналогты-цифрлі түрлендіргіштің СС.
13. Деңгей бойынша кванттаитын құрылғының статикалық сипаттамасы.
14. Пеленгациондық статикалық сипаттама.
15. Дискриминациондық статикалық сипаттама.
16. Люфт бар құрылғының статикалық сипаттамасы.
17. Саңылау бар құрылғының статикалық сипаттамасы.
18. Фрикцион мен тіреуіш бар құрылғының статикалық сипаттамасы.

## Зертханалық жұмыс №3. Гармоникалық қобалжыту кезіндегі бейсызықты буындардың шығыс сигналының формасын зерттеу

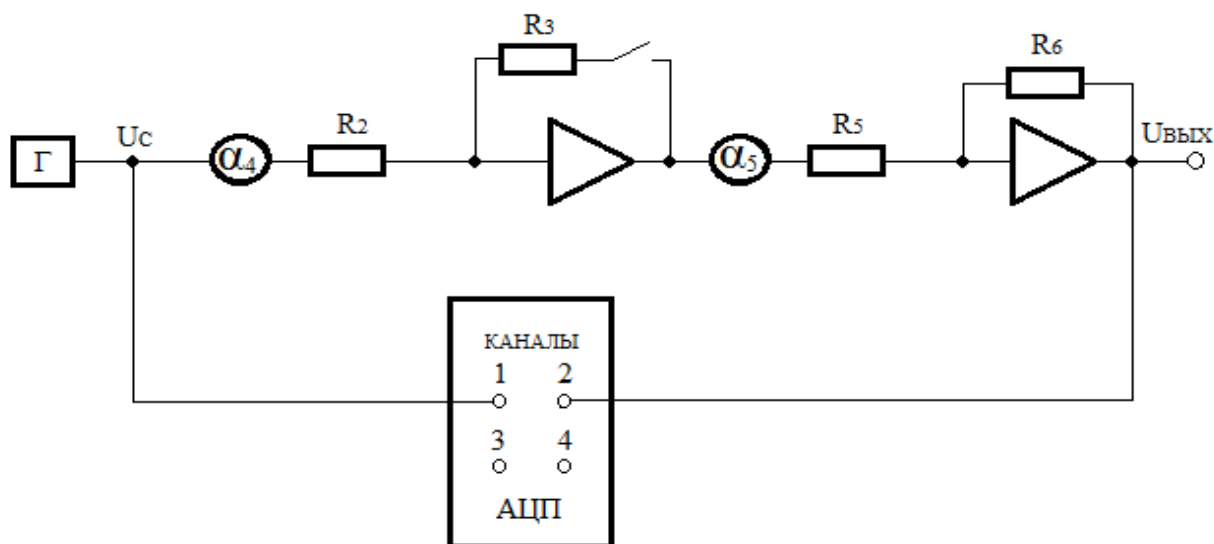
**Жұмыстың мақсаты:** гармоникалық сызықтандырудың коэффициенттерін есептеуге қажетті, симметриялық тербеліс кезіндегі статикалық бейсызықты буынның шығыс сигналының формасын тәжірибе жасау арқылы оқып-үйрену. Қолданылатын қондырғы және зертханалық құрылғылардың сұлбалары 2-ші бөлімде, 5-7, 10, 11 суретте және де А қосымшасында көрсетілген.

### 1 Қысқаша теориялық мағлұмат

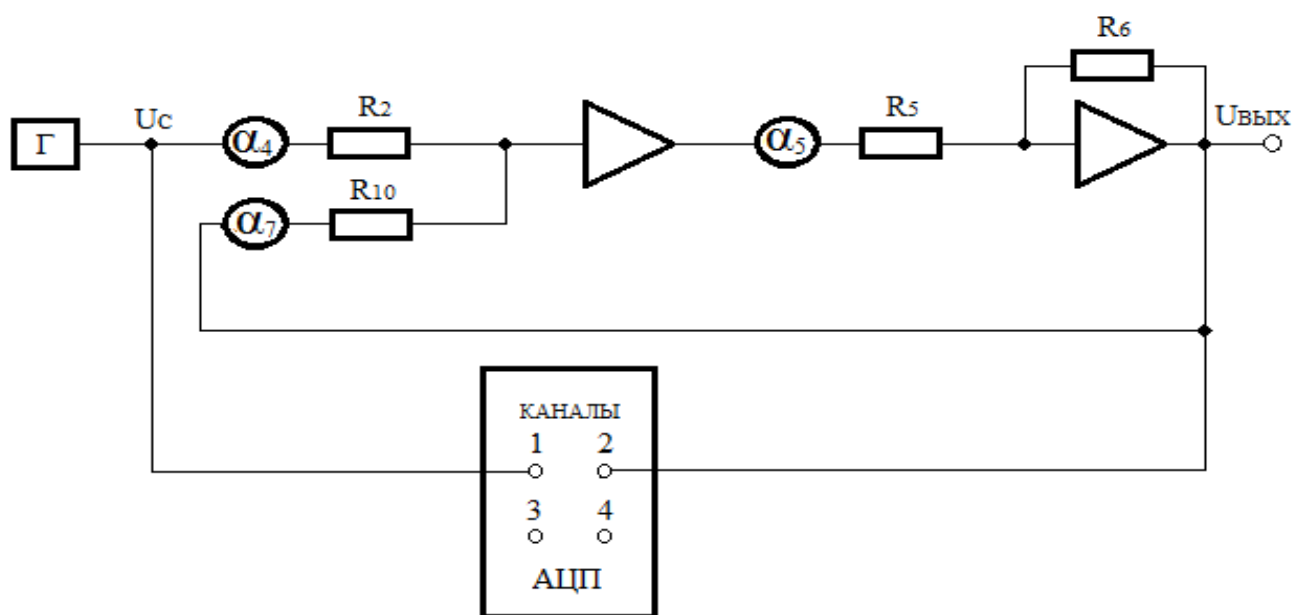
#### 1.1 Гармоникалық сызықтандыру әдісі

Берілген әдіс автотербелістерді зерттеуге арналған ең жуықталған әдіс болып есептеледі. Ол кез-келген ретті бейсызықты жүйеде автотербелістің бар болу шартын және оның параметрлерін анықтауға мүмкіндік береді. Бұл әдіс мәжбүрлі тербелмелі режимді зерттеуде және өтпелі процестің сапасын жуықтап бағалау кезінде де қолданылуы мүмкін [1, 2, 3, 6].

Гармоникалық сызықтандыру әдісі (немесе гармоникалық баланс әдісі) бейсызықты элементтің кірісінен гармоникалық (синусоидалық) әсер берілген кездегі жүйенің күйін зерттеуге және бейсызықты элементтің бірінші гармоника кезіндегі шығысында алынатын периодты қисықты ауыстыруға негізделген.



10 сурет - Бірмағыналы бейсызықтылықтың шығыс сигналы формасын зерттеуге арналған зертханалық қондырғыларының функционалдық – принципіалдық сұлбасы



11 сурет – Бір мағыналы емес бейсызықтылықтың шығыс сигналы формасын зерттеуге арналған зертханалық қондырғыларының функционалдық– принципіалдық сұлбасы

Бұндай ауыстыру кезінде алынатын қателік төменгі жиілікті фильтр болып есептелетін (ол өз кезегінде жоғарғы жиілікті тербелістерді өткізбейді) АБЖ-ның сызықты бөлігінің әсерінен оншалықты үлкен болмайды. Іс жүзінде олар жүйенің инерциялық қасиеті бар элементтеріне (мысалы, индуктивтілік, сыйымдылық, механикалық масса және т.б.) беріледі.

## 1.2 Бейсызықтылықты гармоникалық сызықтандыру

Егер АБЖ-ның бейсызықты элементінің кірісіне амплитудасы  $A$  және  $\omega$  жиілікті статикалық қасиеті бар синусоидалы өзгермелі  $F(x)$  сигналын берсек

$$x = A \sin \omega t, \quad (1)$$

онда шығысындағы сигнал функциясының өзгерісі келесідей болады

$$y = F(x) = F(A \sin \omega t). \quad (2)$$

Бейсызықты элементтің статикалық сипаттамасына тәуелді болатын бұл функция аналитикалық немесе графикалық тәуелділік түрінде көрсетіледі. Бейсызықты теңдеу (2) қажетті есептеулерден кейін келесі теңдеулермен ауыстырылады

$$y = [q(A) + q'(A) p / \omega] x, \quad (3)$$

мұндағы  $q(A)$  и  $q'(A)$  – гармоникалық сызықтандырудың коэффициенттері.

Бейсызықты теңдеуден (2) сызықтандырылған теңдеуге (3) өту операциясы гармоникалық сызықтандыру деп аталады. Периодты процесс жағдайында амплитуда  $A$  тұрақты болса  $q(A)$  және  $q'(A)$  коэффициенттері де тұрақты болады. Периодты процестің амплитудасы әр түрлі болған кезде (3) теңдеудің коэффициенттері де шамасы жағынан әр түрлі болады. Бұл гармоникалық сызықтандырудың кәдімгі сызықтандыруға қарағанда нақты сызықты күйге әкелетін ерекшелігі болып табылады.

Сызықты әдісті (3) қолдану бейсызықты жүйенің кәдімгі сызықтандыру кезінде байқалмайтын негізгі қасиеттерін анализдеуге қолданылады

Төменде көрсетілген беріліс функциясын

$$W_H(A, p) = q(A) + q'(A) p / \omega \quad (4)$$

бейсызықты буынның беріліс функциясы деп атайды [1]. (4) –ші формулаға  $p = j\omega$  қойғаннан кейін келесі теңдеу алынады

$$W_H(A) = q(A) + jq'(A). \quad (5)$$

Ол бейсызықты буынның жиілікті беріліс функциясы деп аталады [1]. (5) формуламен өрнектегенде  $q(A)$  және  $q'(A)$  коэффициенттерінің нақты және жорамал бөлігі болады [1].

Бейсызықты буын гармоникалық сызықтандырудан кейін беріліс функциялы сызықты буынға (4) айналады.  $q(A)$  және  $q'(A)$  коэффициенттерін есептеу кірісінде гармоникалық сигнал берілген бейсызықты буынның шығыс сигналының графигін тұрғызуға негізделген.

Егер бейсызықты буынның статикалық сипаттамасы бірмағыналы координат басына симметриялы болса, онда  $F(x)$  функциясы тақ болады. Бұл жағдайда сызықтандырудың жорамал коэффициенті  $q'(A) = 0$  болады. Егер бейсызықты буынның статикалық мінездемесі симметриялы бірақ бірмағыналы болмаса, онда сызықтандырудың жорамал коэффициенті 0-ге тең емес. Сондықтан екі коэффициентті де есептеу қажет болады.

## 2 Зертханалық жұмысқа тапсырма

2.1 «Көпконтурлы АБЖ», техникалық текшемен және оның құрылымымен, DEGEM SYS-ТЕМ-141В1 типті функционалды генератормен және де текшенің бағдармалық қамтамасыздандырылуымен танысу (№1 зертханалық жұмыстың 1.1, 1.2 және 2.1 бөлімдері).

2.2 Шығысындағы кернеу амплитуда бойынша шектелген күшейту буынын зерттеу үшін қажетті қондырғыны баптау және жинау.

Дербес компьютердің мониторында берілген буынның күшейту және шектелу шамасы  $U_{\text{ШЫҒmax}}$ ,  $U_{\text{ШЫҒmin}}$  коэффициенттері әр түрлі болған жағдайдағы кіріс  $U_C$  және шығыс  $U_{\text{ШЫҒ}}$  сигналдарының бір уақытта уақытша сипаттамасын (осциллограмма) алу (5 сурет). Генератордың  $U_C$  сигналын әр түрлі амплитуданың синусоидалы формасында қолдану.

2.3 Шығысындағы кернеу амплитуда бойынша шектелген күшейту буынын зерттеу үшін қажетті салыстырмалы қондырғыны (компаратор) баптау және жинау.

Дербес компьютердің мониторында берілген буынның күшейту және шектелу шамасы  $U_{\text{ШЫҒmax}}$ ,  $U_{\text{ШЫҒmin}}$  коэффициенттері әр түрлі болған жағдайдағы кіріс  $U_C$  және шығыс  $U_{\text{ШЫҒ}}$  сигналдарының біруақытты уақытша мінездемесін (осциллограмма) алу (6 сурет). Генератордың  $U_C$  сигналын әр түрлі амплитуданың синусоидалы формасында қолдану.

2.4 Шығысындағы кернеу амплитуда бойынша шектелген гистерезисті релелі буынын зерттеу үшін қажетті салыстырмалы қондырғыны баптау және жинау.

Дербес компьютердің мониторында берілген буынның күшейту және шектелу шамасы  $U_{\text{ШЫҒmax}}$ ,  $U_{\text{ШЫҒmin}}$  коэффициенттері әр түрлі болған жағдайдағы кіріс  $U_C$  және шығыс  $U_{\text{ШЫҒ}}$  сигналдарының біруақытты уақытша мінездемесін (осциллограмма) алу (7 сурет). Генератордың  $U_C$  сигналын әр түрлі амплитуданың синусоидалы формасында қолдану.

2.5 Көрсетілген анықтамалық әдебиеттер [1, 2, 3, 6, 31-33] мен дәрістер жинағын пайдалана отырып, зерттелетін буынның біруақытты осциллограммдан алынған кірісі мен шығысын анықтап, буынның түрі мен

статикалық мінездемесін көрсету керек және гармоникалық сызықтандырудың коэффициенттерін анықтаңыз.

### 3 Зертханалық жұмыстың орындалу реті

3.1 Күшейту буынын зерттеуге арналған құрылғының сұлбасын жинау (10 сурет).  $R_3$  резисторын қосу,  $\alpha_4 = 0,4$ ;  $\alpha_5 = 0,2$  мәндерін орнату.

3.2 Текшеге, дербес компьютерге, генераторға 220В қоректендіру көзін беріңіз. №1 зертханалық жұмыстың 1.2 бөлімі бойынша өлшенетін шамаларды тіркеп, визуалды бағдарламасын жүктеңіз.

3.3 Генераторда жиілігі 0,1Гц және амплитудасы 10В болатын синусоидалы  $U_C$  сигналын орнатыңыз.

3.4 Дербес компьютердің мониториянда  $U_C$  және  $U_{ШЫҒ}$  сигналдарының біруақытты осциллограммасын алыңыз және оны тіркеңіз.

3.5  $\alpha_4$ -тің басқаша мәндерінде 3.4 бөлімшені қайталаңыз, мысалы 0,7 және 1.

3.6  $\alpha_5 = 0,1$  деп орнатып,  $\alpha_4 = 1$  болғандағы 3.5 бөлімшені қайталаңыз.

3.7  $U_C$  сигналының амплитудасын өзгертіп (мысалы, 7 және 4В), 3.4 бөлімшені қайталаңыз.

3.8  $R_3$  –ті өшіріп, 3.3, 3.4, 3.6 және 3.7 бөлімшелерді қайталаңыз.

3.9 Гистерезисті релелі буынын зерттеуге арналған құрылғының сұлбасын жинаңыз (11 сурет).

3.10  $\alpha_4 = \alpha_5 = \alpha_7 = 0,2$  деп алып, 3.3 және 3.4 бөлімшелерді қайталаңыз.

3.11  $\alpha_7$ -нің басқаша мәндерін алып (мысалы, 0,4 және 0,6), 3.10 бөлімшені қайталаңыз.

3.12  $\alpha_5 = 0,1$  деп алып, 3.10 бөлімшені қайталаңыз.

3.13  $U_C$  сигналының амплитудасын өзгертіп (мысалы, 7 және 4В), 3.10 бөлімшені қайталаңыз.

### 4 Жұмыстың нәтижесі және есеп берудің мазмұны

Осциллограммадан алынған мәндерімен бірге жиналған сұлбалардың сызбасын сызып, 2.5 жұмыс тапсырманы жасап, қорытындыны жазу.

#### Бақылау сұрақтары

1. Гармоникалық сызықтандыру әдісінің негізгі идеясы қандай?
2. Неліктен гармоникалық сызықтандыру әдісі жуықталған әдіс болып есептеледі?
3. Гармоникалық сызықтандыру және фазалық жазықтық әдістерін салыстырыңыз.
4. Гармоникалық сызықтандыру әдісі нені анықтауға мүмкіндік береді?
5. Бейсызықтылықтың гармоникалық сызықтандырылуын сипаттаңыз.
6. Бейсызықтылықтың кәдімгі сызықтандырылуын сипаттаңыз.



7. Бейсызықты буынның беріліс функциясы.
8. Бейсызықты буынның жиілікті беріліс функциясы.
9. Гармоникалық сызықтандырудың коэффициенттері туралы түсінік.
10. Гармоникалық сызықтандырудың нақты және жорамал коэффициенттері.
11. Гармоникалық сызықтандырудың коэффициенттері қалай есептеледі?
12. Бейсызықты АБЖ-ның сызықты бөлігі филтрінің қасиеті.
13. Гистерезисі жоқ бейсызықты буынның гармоникалық сызықтандырылуы.
14. Гистерезисті бейсызықты буынның гармоникалық сызықтандырылуы.
15. Гармоникалық сызықтандыру коэффициенттерінің периодты процестің амплитудасы мен жиілігінен тәуелділігі.
16. Бейсызықты буынның симметриялық тербелісі.
17. Гармоникалық сызықтандырудың жорамал коэффициенті қай кезде нөлдік деп аталады?
18. Гармоникалық сызықтандырудың коэффициенттерінің есебі неге негізделген?

#### Зертханалық жұмыс №4. АБЖ-нің фазалық портреті

**Жұмыстың мақсаты:** фазалық траекторияны эксперименттік зерттеуге үйрену және бейсызықты жүйенің фазалық жазықтық әдісін оқып – үйрену кезіндегі қалыптасқан түсінікті толықтыру.

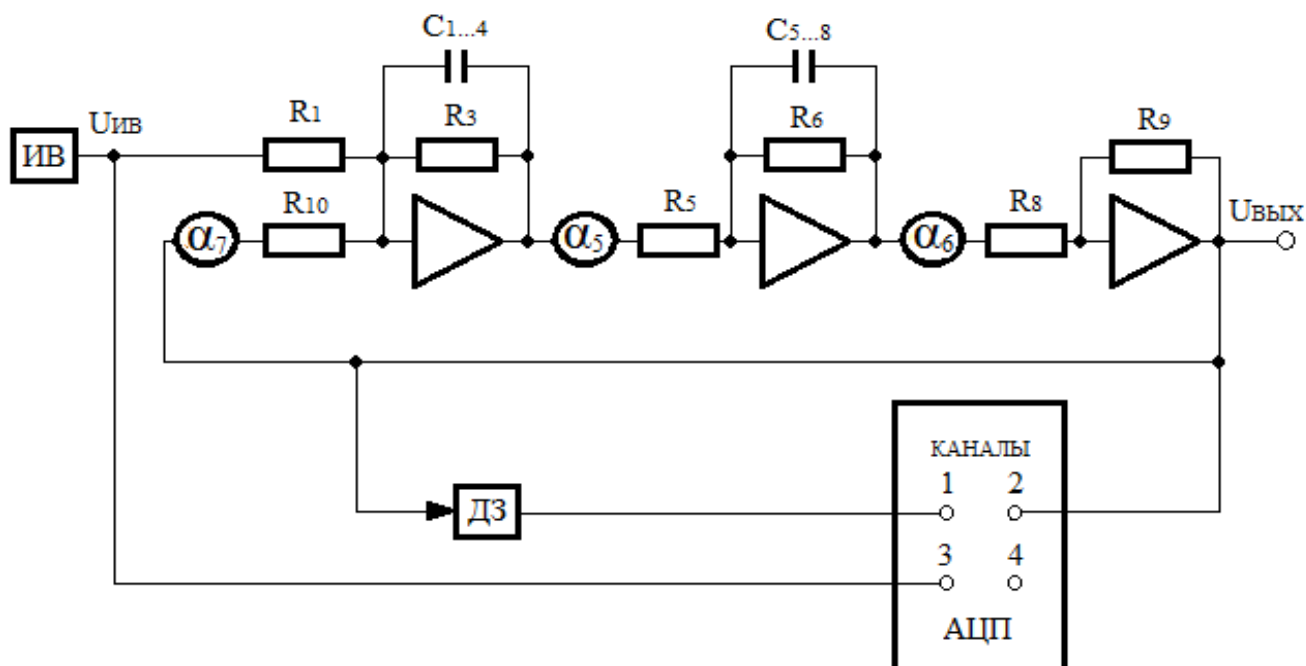
Қондырғы (12 және 13 суреттер): «Көпконтурлы АБЖ» қондырғысы реттелетін тұрақталған үш буынды басқару нысаны моделінің (МОУ) интегралды операциялық күшейткіштерінде жасалған екіполярлы нұсқамалық вольтметрмен жабдықталған қорек кернеуі  $U_{ИВ}$ , дифференциатор (ДЗ), бір уақытта төрт сигналды функционалдық тәуелділігін графигімен бірге өлшеп және оны тіркеп отыруға арналған төртарналы АЦТ және бағдарламамен қамтамасыз етілген дербес компьютермен жабдықталған. Зертханалық қондырғының толығырақ сипаттамасы №1 зертханалық жұмыстың 1.1 бөлімінде келтірілген, ал операциялық күшейткіштер туралы жалпы мағлұмат А қосымшасында көрсетілген.

МОУ потенциометрлерінің беріліс коэффициенттері  $\alpha_4$ - $\alpha_7$  орнатылған тұтқалар көмегімен 0...1 аралығында реттеледі. Резисторлар мен конденсаторлар келесідей номиналды мәндерге ие болады.

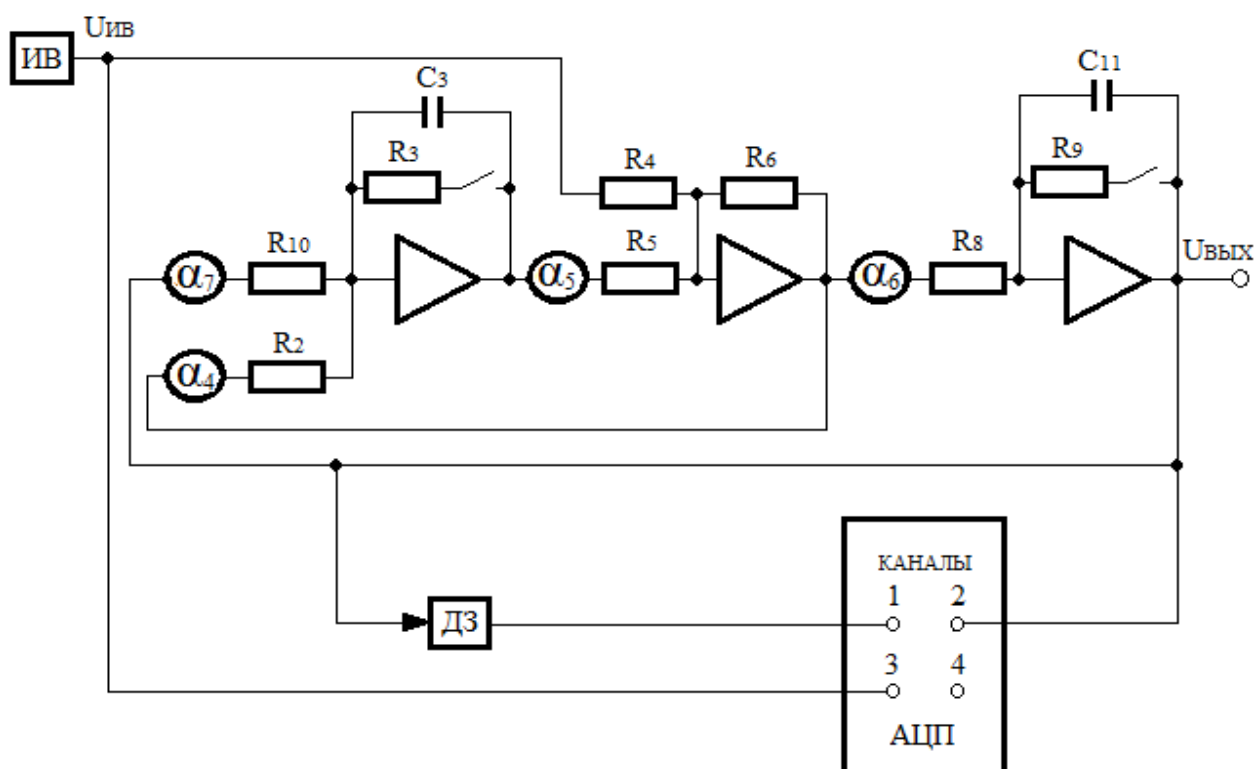
$$R_1 = R_3 = R_4 = R_6 = R_7 = R_9 = R_{10} = 1 \text{ МОм}; \quad R_2 = R_5 = R_8 = 200 \text{ кОм};$$

$$C_1 = C_5 = C_9 = 4,7 \text{ мкФ}; \quad C_2 = C_6 = C_{10} = 1 \text{ мкФ};$$

$$C_3 = C_7 = C_{11} = 0,47 \text{ мкФ}; \quad C_4 = C_8 = C_{12} = 0,22 \text{ мкФ}.$$



12 сурет – Орнықты құрылғыларды зерттеуге арналған зертханалық қондырғының функционалды-принципалдық сұлбасы



13 сурет – Орнықсыз құрылғыларды зерттеуге арналған зертханалық қондырғының функционалды-принципалдық сұлбасы

Кедергі резистор  $R$  мен конденсатор сыйымдылығының  $C$  берілген мәндерінің көмегімен МОУ-дың беріліс функциясынан 1 кестеде көрсетілген  $T = RC$  тұрақты уақыттағы мәндерін алуға болады.

## 1 Қысқаша теориялық мағлұмат

### 1.1 Процестердің фазалық жазықтықта бейнеленуі

Егер АБЖ теңдеуі қалыпты формада келтірілген болса, онда жүйенің күйі векторы оның (АБЖ) күйін анықтайды. Жүйенің әрбір күйі жазықтық күйінде бір нүктеге сәйкес келеді. Жүйенің күйіне сәйкес келетін нүкте *бейнелеуші нүкте* деп аталады. Күйді өлшеу кезінде бейнелеуші нүкте траекторияны береді. Бұл траектория *фазалық траектория* деп аталады. Бастапқы шартқа сәйкес келетін фазалық траекториялар жиыны *фазалық портрет* [1, 2, 3] деп аталады. Фазалық траектория мен фазалық портретке қарап екі өлшемді фазалық кеңістікті көруге болады. Екі өлшемді кеңістік - *фазалық жазықтық* деп аталады.

1 кесте - Тұрақты уақыттағы мәндер

№	$C_{1...4}$ конденсаторлардың комбинациясы	$C_{5...8}$ конденсаторлардың комбинациясы	$C_{9...12}$ конденсаторлардың комбинациясы	$T=RC,$ с
1	$C_4$	$C_8$	$C_{12}$	0,22
2	$C_3$	$C_7$	$C_{11}$	0,47
3	$C_3 + C_4$	$C_7 + C_8$	$C_{11} + C_{12}$	0,69
4	$C_2$	$C_6$	$C_{10}$	1,0
5	$C_2 + C_4$	$C_6 + C_8$	$C_{10} + C_{12}$	1,22
6	$C_2 + C_3$	$C_6 + C_7$	$C_{10} + C_{11}$	1,47
7	$C_2 + C_3 + C_4$	$C_6 + C_7 + C_8$	$C_{10} + C_{11} + C_{12}$	1,69
8	$C_1$	$C_5$	$C_9$	4,7
9	$C_1 + C_4$	$C_5 + C_8$	$C_9 + C_{12}$	4,99
10	$C_1 + C_3$	$C_5 + C_7$	$C_9 + C_{11}$	5,17
11	$C_1 + C_3 + C_4$	$C_5 + C_7 + C_8$	$C_9 + C_{11} + C_{12}$	5,39
12	$C_1 + C_2$	$C_5 + C_6$	$C_9 + C_{10}$	5,7
13	$C_1 + C_2 + C_4$	$C_5 + C_6 + C_8$	$C_9 + C_{10} + C_{12}$	5,92
14	$C_1 + C_2 + C_3$	$C_5 + C_6 + C_7$	$C_9 + C_{10} + C_{11}$	6,17
15	$C_1 + C_2 + C_3 + C_4$	$C_5 + C_6 + C_7 + C_8$	$C_9 + C_{10} + C_{11} + C_{12}$	6,39

*Фазалық жазықтық* - бұл екінші ретті жүйенің күйін анықтайтын координат осьтері екі айнымалы (фазалық координаттар) арқылы көрсетілген координаталық жазықтық. Фазалық портретті тұрғызуға арналған АБЖ-ның синтездеу және анализдеу әдісі *фазалық жазықтық әдісі* деп аталады.

Жоғарғы жарты жазықтықта нүкте солдан оңға қарай қозғалады,  $x_2 > 0$  болғандықтан  $x_1$  өспелі болады. Ал төменгі жарты жазықтықта керісінше нүкте оңнан солға қарай қозғалады,  $x_2 < 0$  және  $x_1$  кемімелі болады. Сондықтан фазалық траекториялар абсцисса бойымен тік бұрыш жасап қиылысады.

Фазалық портретке қарап өтпелі процестің сипаттамасын түсінуге болады. Фазалық траектория арқылы уақытша сипаттамасын, яғни  $x_1$ -дің уақыттан тәуелді қисығын есептемей-ақ сапалы тұрғызуға болады және, керісінше, уақытша сипаттамасынан фазалық траекторияны есептемей-ақ тұрғызуға болады.

Бейсызықты жүйелердің фазалық траекториясы сызықты жүйелердің фазалық траекториясына қарағанда үлкен ерекшелігімен сипатталады. Бірақ та сызықты және бейсызықты жүйелердің ерекше нүктелері сәйкес келеді. Бұл жерде бейсызықты жүйелердің сызықтандырылуы жүзеге асатын ерекше нүкте туралы айтылып отыр.

## 1.2 Электрондық модельдердің сұлбасы

Зертханалық жұмыс МОУ-ға сәйкестендіріліп жасалған электрондық модельде жасалады (12 және 13 суреттер). 12-ші суреттегі сұлба екінші ретті типтік буындарды (апериодты, тербелмелі, консервативті) зерттеуге арналған. Берілген сұлба амплитудалары тұрақталмаған синусоидалы тербелмелі генераторларда қолданылады [34].

13-ші суретте көрсетілген сұлба беріліс функциясы бар өшпейтін орнықсыз тербелмелі буынды зерттеуге арналған [2, 33].

$$W(p) = K / (T^2 p^2 - 2\xi T p + 1). \quad (6)$$

Берілген сұлба амплитудасы өшумен қамтамасыз ететін оң кері байланыстың көмегімен қарапайым тұрақтандырылған синусоидалы тербелмелі генераторларда қолданылады.  $\alpha_4$  потенциометрімен реттелетін қатты оң кері байланыс ретінде бұл жерде бірінші буын интеграторымен қамтылған.  $\alpha_4$ -тің мәні эксперименттен анықталады [34]. Асыра компенсациялаудың алдын алу үшін интеграторға амплитуда бойынша шектейтін сұлба жалғанады.

## 2 Зертханалық жұмысқа тапсырма

2.1 «Көпконтурлы АБЖ» текшенің техникалық сипаттамасымен, конструкциясымен және бағдармалық қамтамасыздандырылуымен танысыңыз (№1 зертханалық жұмыстың 1.1 бөлімі).

2.2 Тербелмелі буынның моделін жинау және баптау.

2.3 Фазалық траектория және осциллограммасын алуға арналған аппаратты жинау және баптау.

2.4 Зерттеліп жатқан буынның  $U_{ИВ}$  өшірілген кездегі  $dU_{ШЫҒ}/dt=f(U_{ШЫҒ})$  сәйкес фазалық траекториясын және  $U_{ШЫҒ}$  шығыс сигналының өтпелі процесін өлшеп алыңыз.

2.5 Консервативті буынның моделін жинау және баптау. 2.4 бөлімшесін қайталаңыз.

2.6 Өшпейтін орнықсыз тербелмелі буынның моделін жинау және баптау. 2.4 бөлімшесін қайталаңыз.

2.7 Алынған фазалық траекторияның типтерін, сызықтарын және ерекше нүктесін анықтаңыз. Фазалық траектория мен осциллограмманың ортақ сипаттамалық нүктелерін белгілеңіз.

Тұрақты уақыт шамасының фазалық траекторияға және өтпелі процеске әсерін талдаңыз.

### 3 Зертханалық жұмыстың орындалу реті

3.1 Тербелмелі буынды зерттеуге арналған құрылғының сұлбасын жинау (12 сурет).  $\alpha_5 = \alpha_6 = \alpha_7 = 1$  мәндерін орнатып, кері байланыста күшейткіштерге конденсаторлар  $C_4, C_8$  мен резисторларды  $R_3, R_6, R_9$  қосыңыз.

3.2 Текшеге, дербес компьютерге 220В қоректендіру көзін беріңіз. ИВ-ны қосып оған  $U_{ИВ} = -10В$  мәнін беріңіз. №1 зертханалық жұмыстың 1.2 бөлімі бойынша өлшенетін шамаларды тіркеу және визуализациялау бағдарламасын жүктеңіз.

3.3  $U_{ИВ}$  өшірілген кездегі  $dU_{ШЫҒ}/dt = f(U_{ШЫҒ})$  сәйкес фазалық траектория мен өтпелі процесінің  $dU_{ШЫҒ}/dt, U_{ШЫҒ}$  бір уақыттағы мәндерін тіркеңіз.

Мониторда қажетті мәндерді алу үшін дифференциатордың ДЗ күшейту коэффициенті  $K$ , осциллограмма мен зерттеулер арасындағы уақыт мәні, АЦТ каналының диапазоны таңдалып алынады.

Фазалық жазықтықтағы нүктені бейнелеу бағының қозғалысы мен айналу жиілігінің жылдамдығына назар аударыңыз.

3.4 Кері байланыста  $C_3$  және  $C_7, C_2$  және  $C_6, C_1$  және  $C_5$  конденсаторларының операциялық күшейткіштерінің пайдаланып 3.3 бөлімшесін қайталаңыз.

3.5  $R_3$  резисторын өшіріп, 3.3 және 3.4 бөлімшелерін қайталаңыз.

3.6 Консервативті буынды зерттеуге арналған сұлбаны жинаңыз. Ол үшін 3.1 және 3.2 (конденсаторлар  $C_4, C_8$ ) бөлімшелерімен бірге алдымен  $R_6$  резисторы, ал өшетін тербеліс  $U_{ВЫХ}$  сигналынан кейін  $R_3$  резисторы өшіріледі. Одан кейін 3.3. бөлімшесін қайталаңыз.

3.7  $U_{ИВ} = -5В$  мәнін орнатып,  $R_3, R_6$  резисторларын қосыңыз, және 3.6 бөлімшесін қайталаңыз.

3.8  $U_{ИВ} = -10В$  3.6 бөлімшесін қайталаңыз және кері байланыста  $C_3$  және  $C_7, C_2$  және  $C_6, C_1$  және  $C_5$  конденсаторларының операциялық күшейткіштерінің пайдаланып ( $U_{ИВ}=-5В$ ) болғандағы 3.7 бөлімшесін қайталаңыз.

3.9 Өшпейтін тербелмелі буынның зерттеуге арналған сұлбасын жинаңыз (13 сурет).

3.10  $\alpha_4 = 0$ ;  $\alpha_5 = \alpha_6 = \alpha_7 = 1$  мәндерін орнатыңыз. Интеграторларды  $R_3$  және  $R_9$  резисторларын  $3...5c$  қосып, бастапқы мәніне қайта әкелу.

3.11  $\alpha_4$  мәнін 0-ден 0,1-ге дейін көтеріңіз.  $U_{ИВ}$ ,  $dU_{ВЫХ} / dt$ ,  $U_{ВЫХ}$  өтпелі процестерін және  $dU_{ШЫҒ} / dt = f(U_{ШЫҒ})$  сәйкес фазалық траекториясын  $U_{ИВ}$ -ның 0-ден  $3B$ -қа дейінгі өспелі мәнінде тіркеніз.  $U_{ШЫҒ}$  тербелісінің амплитудасының өсуін тоқтатуына назар аударыңыз.

3.12  $C_3$  және  $C_{11}$  конденсаторларының орнына  $C_4$  және  $C_{12}$  конденсаторларын қосыңыз. 3.10 және 3.11 бөлімшелерін қайталаңыз.

#### 4 Жұмыстың нәтижесі және есеп берудің мазмұны

Осциллограмма мен фазалық траекториядан алынған мәндерімен бірге жиналған сұлбалардың сызбасын сызып, 2.7 бөліміндегі жұмыстың тапсырмасын орындап, қорытындыны жазу.

#### Бақылау сұрақтары

1. 12-ші суреттегі құрылғының беріліс функциясы.
2. 13-ші суреттегі құрылғының беріліс функциясы.
3. Фазалық траекториядағы бейнелеуші нүктенің бағыты.
4. Фазалық траекториялар қандай бұрышпен абсцисса осін қиып өтеді
5. Не үшін бейсызықты АБЖ теориясында сызықты АРЖ-ның фазалық траекториясын қарастырады?
6. Неліктен берілген зертханалық жұмыста реті екіншіден жоғары құрылғылар қолданылмайды?
7. Фазалық жазықтық әдісін сипаттаңыз.
8. Дифференциатордың ДЗ беріліс функциясы?
9. Осциллограммаларды қалай алады?
10. Орнықты сызықты жүйелердегі фазалық портреттердің типтері.
11. Орнықсыз сызықты жүйелердегі фазалық портреттердің типтері.
12. Екінші ретті теңдеумен сипатталған жүйенің комплекстік түбірлері кезіндегі фазалық траекториясы.
13. Екінші ретті теңдеумен сипатталған жүйенің нақты түбірлері кезіндегі фазалық траекториясы.
14. Фазалық портреттің ерекше нүктелері туралы түсінік.
15. 3.11 және 3.12 бөлімдерін орындағанда тербелісті шектеудің себептері.
16. Орнықтылықтың шекті аймағы туралы түсінік.
17. Орнықсыздықтың шекті аймағы туралы түсінік.
18. Фазалық жазықтықтағы ерекшелер қималар.
19. Оқытушының берген өтпелі процесіне қарап оған сәйкес келетін фазалық траекториясын тұрғызыңыз.

## А қосымшасы

### Операциондық күшейткіштер туралы жалпы мағлұмат

Операциондық күшейткіштер (ОК) аналогты есептеуіш машиналарда математикалық операцияларды жасау үшін құрастырылған. Бірінші лампалық ОК-ті K2W 1942 жылы Л. Джули (АҚШ) құрастырған. Ол екі электровакуумдық триодтан тұрды. Ең алғашында ОК өте қымбат әрі көлемі үлкен құрылғы болған. Лампаларын транзистормен ауыстырғаннан кейін ол кішірек, арзан әрі сенімдірек болып, оны қолдану аймағы кеңейді.

Алғашқы транзистордан жасалған операциондық күшейткіштер 1959 жылы сатылымға шықты. Сенімділігіне, мінездемесінің жақсаруына, бағасы мен габаритінің төмендетілуіне қойылған талаптар интегралды микросұлбаның дамуына әсер етті. Алғашқы интегралды ОК-ті  $\mu A702$  1963 жылы Роберт Видлар жасап шығарды, ол сатылымда жоғары бағаланды. Бұл күшейткіштің күшейту коэффициенті төмен, кіріс тоғы жоғары және симметриялы емес шығысы (оң және теріс жартылай толқындардың шығысына әр түрлі шығыс кедергілері сәйкес келеді) болды. Екі жылдан кейін Р.Видлар үш каскадты күшейткішін  $\mu A709$  ойлап тапты, оның күшейту коэффициенті жоғары және симметриялық шығысы болды, бірақ жиілік сипаттамасының сұлбасы қиын еді.  $\mu A709$  күшейткіші мәліметтерді өңдеу аппаратурасында кең қолданысқа ие болды. Бұл интегралды микросұлбаның жылдық шығарылымы 1970 жылы 20...30 млнға жетті. Осы ОК-де қолданылған есептердің негізінде кейінгі операциондық күшейткіштердің сұлбатехникасы жасалды.

1967 – 1968 жылдары Р. Видлар ОУ LM101 екі каскадты ОК және оның дамытылған LM101A түрін жасап шығарды. Бұл күшейткіштер интегралды сұлбатехникада нағыз жаңалық болды. Олардың жиілік коррекциясының сұлбасы жеңіл (1 конденсатор), өте жоғары күшейту коэффициенті (150000-ға дейін) және кіші кіріс токтары (әсіресе LM101A) болды. LM101 және LM101A күшейткіштері  $\mu A709$ -мен салыстырғанда олардың қолдануын төмендететін ішкі кіріс - шығыс қорғаныс тізбектерін қажет етпеді.

Қазіргі уақытта ОК-тің жүздеген номенклатурасы кездеседі. Операциондық күшейткіштердің қолдану аймағын кеңейту үшін оларды өте кіші корпуста және арзан бағамен шығарады.

Көлемі мен бағасы жағынан операциондық күшейткіштердің жеке транзисторлардан айырмашылығы жоқ. Сонымен бірге ОК сигналды түрлендіруі ішкі кері байланыспен, жоғары тұрақтылығымен және өнімділігімен сипатталады. Сонымен қатар, дискретті транзисторларға қарағанда ОК-тің көмегімен әр түрлі функционалдық сұлбаларды жасау өте оңай. Сондықтан операциондық күшейткіштер сұлбатехниканың көптеген саласында негізгі элементке айналды. [2-6, 17–19, 21, 27, 29, 30, 34-39].

Көп жағдайда операциондық күшейткіштердің жұмысы  $\pm 15В$ -қа негізделген, бірақ бұдан әлдеқайда жоғары немесе төмен кернеуге негізделіп

жасалғандары да кездеседі. ОК сұлбасына қарағанда олардың қоректену көздері көрсетілмейді.

Операциондық күшейткіштердің барлығы ОК-тің күйін көрсететін теріс кері байланыспен қамтылған. Теріс кері байланыс сұлбасының күшейту коэффициенті ішкі тізбектің қасиетіне байланысты және күшейткіштің параметрлеріне тәуелді емес. Егер кері байланыс тізбегі ретінде RC тізбек қолданылатын болса, онда ол активті фильтр болады. ОК кері байланыс тізбегіне диодтар мен транзисторларды қосу сигналдарды бейсызықты түрлендірудің дәлдігін арттырады.

Операциондық күшейткіштер сигналдарды генерирлеу, күшейту және жиіліктік фильтрлеу үшін, сызықты және бейсызықты буындардың аналогты сигналдарын түрлендіру үшін, электрондық тізбектерін құруда көп қолданылатын сұлбатехникалық элемент болып есептеледі.

Қазіргі электроникада операциондық күшейткіштер кіретін микроэлектрондық құрылғылар класы бар, олардың күшейту деңгейі өте жоғары ( $10^5 \dots 10^7$  ретті), сонымен қатар, тұрақты токпен жұмыс істеп, кірісінде үлкен кедергімен ал шығысында кіші шығысы болады. Сұлбасына байланысты ОК тұрақты ток күшейткіші болып есептеледі, сонымен ОК-тің екі түрлі кірісі бар - инвентирлейтін және инвентирлемейтін.



## Әдебиеттер тізімі

1. Ким Д.П. Теория автоматического управления. В 2-х т. Т.2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 440 с.
2. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. – СПб.: Изд-во «Профессия», 2004. – 752 с.
3. Анхимюк В.Л., Опейко О.Ф., Михеев Н.Н. Теория автоматического управления. – Мн.: Дизайн ПРО, 2002. – 352 с.
4. Теория автоматического управления: учеб. пособие / Под ред. В.И. Лачина. – Ростов н/Д: Феникс, 2007. – 469 с.
5. Гайдук А.Р., Беляев В.Е., Пьявченко Т.А. Теория автоматического управления в примерах и задачах с решениями в MATLAB: Учебное пособие. – СПб.: Издательство «Лань», 2011. – 464 с.
6. Шишмарев В.Ю. Основы автоматического управления: учеб. пособие. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 352 с.
7. Теория автоматического управления: Учеб. для вузов / Под ред. В.Б. Яковлева. – М.: Высшая школа, 2009. – 567 с.
8. Гальперин М.В. Автоматическое управление: учебник. – М.: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2007. – 224 с.
9. Малафеев С.И., Малафеева А.А. Основы автоматики и системы автоматического управления: учебник для высш. учеб. заведений. – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 384 с.
10. Лукас В.А. Теория автоматического управления: Учеб. для вузов. – М.: Недра, 1990. – 416 с.
11. Востриков А.С., Французова Г.А. Теория автоматического регулирования: Учеб. пособие для вузов. – М.: Высш. шк., 2004. – 365 с.
12. Волобуева О.П. Основы теории управления. Учебник для вузов. – Алматы: КазНТУ, 2005. – 256 с.
13. Певзнер Л.Д. Практикум по теории автоматического управления: Учеб. пособие. – М.: Высш. шк., 2006. – 590 с.
14. Юревич Е.И. Теория автоматического управления. – СПб.: БХВ-Петербург, 2007. – 560 с.
15. Попов Е.П. Теория нелинейных систем автоматического регулирования и управления: Учеб. пособие. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. – 256 с.
16. Теория автоматического управления: Учеб. для вузов. В 2-х ч. Ч. II. Теория нелинейных и специальных систем автоматического управления / Под ред. А.А. Воронова. – М.: Высш. шк., 1986. – 504 с.
17. Корис Р., Шмидт-Вальтер Х. Справочник инженера – схемотехника. – М.: Техносфера, 2006. – 608 с.
18. Нефедов В.И. Основы радиоэлектроники и связи: Учебник для вузов. – М.: Высш. шк., 2005. – 510 с.

19. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы: Учеб. для вузов. – М.: Высш. шк., 2005. – 462 с.
20. Стандарт организации СТ НАО 56023-1910-01-2009 Работы учебные. Общие требования к построению, изложению, оформлению и содержанию учебной документации. – Алматы: АИЭС, 2009. – 38 с.
21. Электротехнический справочник: В 4-х т. Т.4. Использование электрической энергии / Под общ. ред. профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др. – М.: Издательство МЭИ, 2004. – 696 с.
22. Атамалян Э.Г. Приборы и методы измерения электрических величин: учеб. пособие для втузов. – М.: Дрофа, 2005. – 415 с.
23. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах. Учебное пособие / Под общей редакцией Б.Н. Тихонова. – М.: Горячая линия-Телеком, 2012. – 360 с.
24. Мирский Г.Я. Электронные измерения. – М.: Радио и связь, 1986. – 440 с.
25. Метрология и радиоизмерения: Учеб. для вузов / Под ред. В.И. Нефедова. – М.: Высш. шк., 2006. – 526 с.
26. Дьяконов В.П. Генерация и генераторы сигналов. – М.: ДМК Пресс, 2009. – 384 с.
27. Волович Г.И. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств. – М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2005. – 528 с.
28. Сигов А.С., Нефедов В.И. Метрология, стандартизация и технические измерения: Учеб. для вузов - М.: Высш. шк., 2008. – 624 с.
29. Лачин В.И., Савёлов Н.С. Электроника: учеб. пособие. – Ростов н /Д: Феникс, 2009. – 703 с.
30. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника и микропроцессорная техника: Учеб. для вузов. – М.: Высш. шк., 2006. – 799 с.
31. Сборник задач по теории автоматического регулирования и управления / Под ред. В.А. Бесекерского. – М.: Издательство «Наука», Главная редакция физико-математической литературы, 1978. – 512 с.
32. Задачник по теории автоматического управления: Учеб. пособие для вузов / Под ред. А.С. Шаталова. – М.: Энергия, 1979. – 544 с.
33. Иващенко Н.Н. Автоматическое регулирование. Теория и элементы систем. Учебник для вузов. – М.: «Машиностроение», 1978. – 736 с.
34. Тетельбаум И.М., Шнейдер Ю.Р. Практика аналогового моделирования динамических систем: Справочное пособие.– М.: Энергоатомиздат, 1987. – 384 с.
35. Электроника и микропроцессорная техника: учебник / Под ред. Г.Г. Раннева. – М.: - Издательский центр «Академия», 2012. – 368 с.
36. Опадчий Ю.Ф., Глудкин О.П., Гуров А.И. Аналоговая и цифровая электроника: Учебник для вузов. - М.: Горячая линия-Телеком, 2005. – 768 с.
37. Павлов В.Н. Схемотехника аналоговых электронных устройств: учеб. пособие. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 288 с.

38. Бойко В.И., Гуржий А.Н., Жуйков В.Я., Зори А.А., Спивак В.М. Схемотехника электронных систем. Аналоговые и импульсные устройства. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 496 с.
39. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники: Пер. с англ.– М.: Мир, БИНОМ, 2010. – 704 с.
40. Ким Д.П. Сборник задач по теории автоматического управления. Мно-гомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы. – М.: ФИЗМАТ-ЛИТ, 2008. – 328 с.
41. Петрова А.М. Автоматическое управление: учебное пособие. – М.: ФОРУМ, 2010. – 240 с.

Борис Алексеевич Чернов  
Аталыкова Альфия Кенесовна

## БЕЙСЫЗЫҚТЫ АВТОМАТТЫ РЕТТЕУ ЖҮЙЕЛЕРІ

5B070200 – Автоматтандыру және басқару мамандығы студенттері үшін зертханалық жұмыстарды орындау бойынша әдістемелік нұсқаулықтар

Редактор Б.С. Қасымжанова  
Стандарттау бойынша маман Н.К. Молдабекова

Басуға \_\_\_\_ . \_\_\_\_ . \_\_\_\_ қол қойылды.  
Таралымы 75 дана.  
Көлемі 2,25 есептік-баспа табақ

Пішімі 60×84 1/16  
Баспаханалық қағаз №1  
Тапсырыс Бағасы 1125 теңге

«Алматы энергетика және байланыс университеті»  
коммерциялық емес акционерлік қоғамының  
көшірмелі-көбейткіш бюросы  
050013, Алматы қ., Байтұрсынұлы көшесі, 126