

Қ. С. Шоланов

АВТОМАТИКА НЕГІЗДЕРІ

ОҚУЛЫҚ

Алматы, 2013

УДК 681.5 (075.8)
ББК 32.965 я73
Ш 78

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

Рецензенттер:

Б. А. Сүлейменов – техника ғылымдарының докторы, профессор;
Ғ. А. Самигулина – техника ғылымдарының докторы;
Ш. Биттеев – техника ғылымдарының докторы, профессор.

Шоланов Қ. С.

Ш 78 Автоматика негіздері: Оқулық. / Қ. С. Шоланов – Алматы:
«MV Print», 2013. – 188 б.

ISBN 978-601-289-099-0

«Автоматика негіздері» оқулығы екі бөлімнен тұрады: «Сызықты автоматты басқару теориясының негіздері», «Автоматиканың құрылғылары және элементтері».

Оқулық материалы автоматты басқарудың сызықты теориясы, автоматика құрылғылары және элементтері бойынша, сонымен қатар коммуникациялық жүйелер бойынша берілген. Оқулықта автоматикаға жиі кездесетін шартты белгілеулер, Matlab бағдарламалық өнімінің Simulink кітапханасының қолданылуы мен модельдеу негізі берілген.

Оқулық 5B074600 – «Ғарыштық техника және технологиялар», 5B071600 – «Аспап жасау» мамандықтары бойынша оқитын бакалаврлар үшін арналған және 5B070200 – «Автоматтандыру және басқару» мамандығының студенттері үшін де қолданылуы мүмкін.

УДК 681.5 (075.8)
ББК 32.965 я73

ISBN 978-601-289-099-0

© Шоланов Қ. С., 2013
© ҚР Жоғары оқу орындарының
қауымдастығы, 2013

АЛҒЫ СӨЗ

Бастапқыдан техника адамның және қоғамның өмір сүрудегі ыңғайлылығын қамтамасыз ету үшін арналған. Бұл үшін, мысалы, өндірісте қазіргі заманғы техника тек қана физикалық еңбекті емес, сонымен қатар ой еңбегін жеңілдетеді және алмастырады, шешім қабылдап, адамды бір сарынды жұмыстан босатады. Бағдарламалық басқару арқылы жұмыс істейтін қазіргі заманғы станоктар, роботтар және адамның басқаруынсыз немесе оның минималды қатысуымен жұмыс істейтін автоматиканың техникалық құралдары мен аспаптары оның мысалы болып табылады. Қазіргі заман техникасына микроэлектроника құралдарының кеңінен қолданылуы, басқару функциясының кеңейтілуі және олардың толық жетілдірілуі тән.

Аспап жасау, ғарыштық техника және дәлдік машина жасаумен байланысты өндірістік салалар жоғары автоматтандырылған болып келеді, онда автоматиканың әртүрлі техникалық құралдары кеңінен пайдаланылады және де басқарудың күрделі үрдістері қолданылады.

Осыған байланысты «Аспап жасау», «Ғарыштық техника және технологиялар» мамандығы бойынша бакалаврлар үшін өздерінің болашақ кәсіби қызметінде автоматика бойынша білім алу керек, себебі олар болашақта микроэлектроника құралдары көмегімен басқарылатын техниканы қолданатын, жөндейтін және жасайтын болады.

Кейбір оқыту мамандықтарында «Автоматты басқару теориясы», «Автоматиканың элементтері және құрылғылары» пәндерінің жеке курстары бар. Ал «Аспап жасау», «Ғарыштық техника және технологиялар» мамандықтарында білім стандарттары бойынша «Автоматика негіздері» пәнін оқу қарастырылған, онда оқыту жоғарыда көрсетілген пәндердің мазмұнына негізделеді.

Берілген оқулықтың мақсаты студенттерді басқару жүйесінің құрылуының негізгі тәсілдерімен және техникалар мен аспаптардың бір жүйеге бағытталып жұмыс жасауына қажетті автоматиканың техникалық құралдарымен таныстыру болып табылады.

Оқулықта меңгеруге қажетті толық көлемді оқу материалдары

қамтылған, соның ішінде дәрісханада және өз бетімен меңгерілетін материалдар, мысалдар және де өзін-өзі тексеруге арналған сұрақтар бар. Қазіргі таңда көптеген автоматика нысандарын коммуникация құралдарынсыз елестету мүмкін емес болғандықтан бұл кітапта өз бетімен коммуникация жүйелерін меңгеруге арналған мәліметтер бар. Бұдан басқа, автоматикада көп кездесетін шартты белгілеулер келтірілген.

Тәжірибе жинау үшін Matlab бағдарламалық өнімінің Simulink кітапханасын қолданып модельдеудің негізі көрсетілген.

Бұл кітап «Автоматты басқару теориясы» материалдарын кең көлемді қамтымайды. Автор ақпаратты өлшеу техникасына қатысты тарауларды қысқартып берген. Бұл бөлімдерді жекелей оқыту қарастырылған «Аспап жасау» және «Ғарыштық техника және технологиялар» мамандықтарының оқыту жоспарларымен байланысты.

Кітапты жазу барысында автор өзінің Қ. И. Сәтбаев атындағы ҚазҰТУ-дағы Робототехника және автоматиканың техникалық құралдары кафедрасында бір аттас курсты оқудағы тәжірибесін, сонымен қатар мехатроника және робототехника саласындағы көпжылдық зерттеу нәтижелерін пайдаланды.

Автор өзінің кейбір мысалдары мен дәріс материалдарын бергені үшін т.ғ.к., доцент А. А. Бейсембаевқа үлкен алғысын білдіреді.

КІРІСПЕ

Көне заманда адамның қатысуынсыз қандай болмасын қимылдарды орындайтын құрылғылар — автоматтарды жасау әрекеттері болған және құрылғылар жасалғаны белгілі. Герон Александрийский өзінің «Пневматика» және «Механика» (б.з.д. I ғасырда) атты кітаптарында энергия көзі ретінде су, пар, жүктер қолданатын автоматтың көптеген конструкцияларын бейнелеген. Леонардо да Винчи бұлшықеттің рөлін әртүрлі механизмдер мен берілістер орындайтын адам тәріздес автомат жасады. Орта ғасырларда сағат механизмдерін қолдануға негізделген автоматтар жасалынды. Мысалы, швейцариялық сағатшылармен автомат болып табылатын, ауыспалы жұдырықшалар көмегімен берілетін бағдарламалар арқылы жұмыс істейтін, адамтәріздес ойыншықтар жасалынды. Басқару құштарлығы, яғни берілген техникалық нысандарға берілген функцияларды орындайтындай етіп әсер ету, адамзатты басқарудың әртүрлі мүмкіндіктері бар жаңа техниканы жасауға итермеледі. Автоматтармен қатар қозғалыстарды тікелей басқара алатын және реттейтін құрылғылар пайда бола бастады. Джеймс Уаттың 1769 жылы жасаған бу машинасы білігінің айналу жылдамдығын басқаруға арналған орталықтан тепкіш реттегішінің құрылымы белгілі. 1913 жылы Генри Фордтың зауытында алғашқы рет автомобильдердің механикаландырылған құрастыру жүйесі енгізілді. Бұл автоматтандырылған өндірістің бастамасы еді, онда өндірістік үрдістер және оларды басқару адамның қатысуынсыз жүзеге асты. Қарапайым автоматтардан бастап қазіргі заманғы интеллектуалды роботтар, ұшқышсыз ұшу аппараттары және икемді автоматтандырылған өндірістік жүйелер — бұл автоматиканың даму жолы.

Қазақстан Республикасында автоматты басқару теориясының дамуына ф.м.ғ.д. профессор А. К. Бедельбаев, ҚР ҰҒА академигі А. А. Ашимов, т.ғ.д. профессор С. А. Айсағалиев, т.ғ.д. профессор Д. Ж. Сыздықов, профессор Г. М. Тохтабаев сияқты белгілі ғалымдар өз үлестерін қосты.

Ақпарат үшін төмендегі *1-кестеде* автоматиканың даму тарихындағы кейбір айтулы күндер мен кезеңдер келтірілген.

1-кесте

Жыл	Автоматиканың даму кезеңінің аты.
1765	И. И. Ползунов бу пешіндегі су деңгейін реттейтін автоматты жүйені ойлап тапты.
1769	Дж. Уатт бу машинасы білігінің айналу жылдамдығын басқаруға арналған орталықтан тепкіш реттегішін жасады.
1804-1808	Жаккара перфолентадан жасалған тоқыма станогын бағдарламалық басқару жүйесін ұсынды.
1868	Дж. Максвеллдің «Реттегіш жайлы» атты кітабы жарық көрді. Бу машинасы реттегішінің математикалық моделі жасалды.
1876	И. А. Вышнегородскийдің «Тікелей әсер ететін реттегіш» туралы жұмысы жарияланды. Реттеудің сапасы мен орнықтылығын зерттеу үшін негіз құрылды.
1892	А. М. Ляпунов «Қозғалыс орнықтылығының жалпы тапсырмасы» атты жұмысында динамикалық жүйелердің орнықтылығы теориясының негізін қалады.
1913	Генри Форд өзінің зауытында алғашқы рет автомобилді жинаудың механикаландырылған желісін жасап шығарды.
1927	Американдық инженер Дж. Венсли бірінші «Televox» роботын құрастырып шығарды.
1951	Дж. Фон Нейман «Кибернетикалық автоматтың жалпы және логикалық теориясы» кітабын жазды.
1952	Массачусеттік технологиялық институтында сандық бағдарламалық басқарылатын (СББ) станок жасалынды.
1970	Айнымалы күйдегі моделді қолдану ұсынылды. Оптималды басқару теориясы жасалып шығарылды.
1980	Робастылық жүйелер зерттелінді.

Автоматиканың бірнеше анықтамасы бар. Соның ішінде Ресейдің энциклопедиялық сөздігінде келтірілген анықтама бойынша автоматика автоматты жұмыс істейтін құрылғылар мен жүйелер

туралы теориялық және қолданбалы білім аймағы, сонымен қатар автоматты жұмыс істейтін механизмдер мен құрылғылардың жиынтығы болып табылады.

Қазіргі уақытта осы білім облысының қарқынды дамығаны соншалық, автоматикамен байланысты көптеген ғылыми бағыттар пайда болды. Мысалы, «Автоматика және автоматтандырылған өндірістер» (салалар бойынша), «Мехатроника және Роботты техника», «Ғарыштық техника», «Оптималды басқару теориясы», «Адаптивті басқару теориясы» және т.б. ғылыми бағыттарды келтіруге болады.

«Автоматика негіздері» пәнінің мақсаты адамның қатысуынсыз белгілі бір жүйеге бағытталған функцияларды орындайтын басқарылатын техникалық жүйелер мен құрылғылардың құрылу принциптерін меңгерту болып табылады.

Пәннің мазмұнына автоматты басқару жүйесі құрылымының сипаттамасы, энергетикалық және ақпараттық ағындардың циркуляциясы әсерінен болған оның құрастырушы бөліктерінің өзара әсерлесу заңдылықтары, сонымен қатар, автоматика жүйесінің құрама элементтерінің жұмыс істеу принциптері мен құрылғыларының сипаттамасы кіреді.

І БӨЛІМ. СЫЗЫҚТЫ АВТОМАТТЫ БАСҚА РУТЕОРИЯСЫНЫҢ НЕГІЗДЕРІ

І-ТАРАУ. АВТОМАТИКАНЫҢ НЕГІЗГІ ТҮСІНІКТЕРІ ЖӘНЕ АВТОМАТТЫ БАСҚАРУ ТЕОРИЯСЫНА КІРІСПЕ

1.1. Автоматиканың негізгі түсініктемелері

Автоматты басқару теориясында баяндалатын бірқатар ұғымдарды енгізейік.

Автоматиканың негізгі нысаны басқару нысаны (БН) болып табылады. Басқару нысаны дегеніміз – қойылған мақсатқа жету үшін арнайы ұйымдастырылған әсерлер қарамағында болатын техникалық құрылғы, қондырғы немесе үрдіс. Мұндай арнайы ұйымдастырылған әсерлерді басқару деп атаймыз. Басқару үрдісінде өзгермей сақталатын немесе мақсатты түрде өзгертілетін БН физикалық шамаларын басқарылатын шамалар деп атаймыз. Басқару нысанының күйін өзгертетін факторларды әсерлер деп түсінуге болады. Олар қоздырушы және басқарушы әсерлерге бөлінеді. Қоздырушы әсерлер (f) негізінен кездейсоқ сипатқа ие. Мысалы, қоршаған ортаның температураға, қысымға, ауа жылдамдығына, электр желісіндегі кернеу тербелісінің БН әсері қоздырушы әсерлерге жатады. Автоматты басқару құрылғысы (ары қарай басқарушы құрылғы – БҚ деп аталады) басқару нысанына басқару заңдылығына сәйкес басқарушы әсер (g) етеді.

Басқару нысанына кіретін немесе одан шығатын энергияны, материал немесе ақпарат жиынтығын, қоздырушы және басқарушы әсерлерді, сонымен қатар, реттелетін көрсеткіштерді шартты түрде сигналдар деп атаймыз. Бағытына байланысты басқару нысанына әсер ететін сигналдар кіріс (u) және шығыс (y) сигналдарға бөлінеді. Басқару нысаны үшін қоздырушы және басқарушы әсерлер кіріс сигнал болады, ал реттелетін көрсеткіштер тіпті физикалық тұрғыдан олар нысанның сыртына шықпаса да (мысалы, сұйық қоймадағы сұйықтықтың деңгейі, электр қозғалтқыш орамдарындағы кернеу

т.б.) әрқашанда шығыс сигналдарға жатады. Жалпы жағдайда сигналдар екіден көп болуы мүмкін, онда олар әдетте, векторлармен белгіленеді, ал жүйе көппараметрлі деп аталады.

Сұлбада (1.1-сурет) басқару нысанына әртүрлі сигналдардың әсерлері көрсетілген.



1.1-сурет. Басқару объектісі

Автоматты басқарылатын объектілер құрамына конструктивті және сұлбалық элементтер кіреді, олардың әрбіреуі энергиямен ақпаратты беруі бойынша және оларды түрлендіруі бойынша белгілі бір қасиеттерге ие. Бұл элементтердің түрлендіргіш ретіндегі қасиеттері түрлендіру операторларымен (ТО) сипатталады. Басқа жағынан әрбір элемент, «кіріс-шығыс» түрлендіруін жүзеге асыратын жүйе буыны ретінде қарастырылады. Бұл элементтер шартты түрде тікбұрышты белгімен белгіленеді. Берілген сипаттаманы қамтамасыз ететін «себеп-салдар» байланысымен нақты кескіндегі элементтердің бірігуі басқару жүйесінің (БЖ) құрылымдық сұлбасын қалыптастырады. Функционалдық сұлбалар жүйенің жеке элементтерімен орындалатын функцияларын (салыстыру, түрлендіру, күшейту және т.б.) көрсетеді. Функционалдық сұлбаларда бағытталған сызықтар функционалды құраушы элементтердің себеп-салдар байланыстарын көрсетеді. Автоматты басқару жүйесінде (АБЖ) басқару адамның қатысуынсыз арнайы техникалық құралдармен орындалады.

Егер басқарушы әсер оператор көмегімен жүзеге асырылса, онда басқару жартылай автоматты болады, ал жүйе осы жағдайда автоматтандырылған деп аталады.

1.1-мысал.

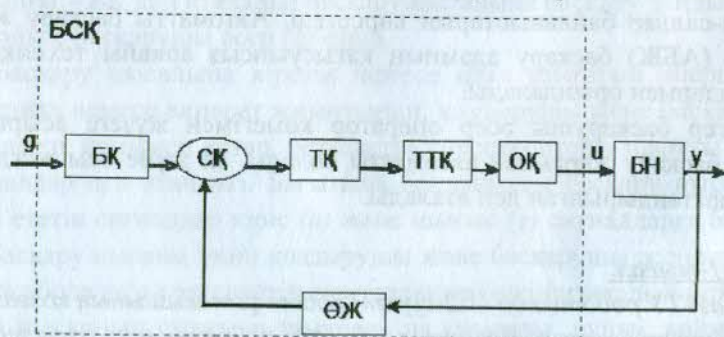
ҚазҰТУ роботында (1.2-сурет) робот ұстағышының қозғалысы микроконтроллермен басқарылады. Осы роботта тұрақты тоқты қозғалтқышы бар әрбір жетек АБЖ мысалы болып табылады.



1.2-сурет. ҚазҰТУ роботы

1.3-суретте АБЖ іріктелген функционалды сұлбасы көрсетілген, ол келесі сипатты функционалды блоктардан тұрады: беруші құрылғы – БҚ; салыстырушы құрылғы – СҚ; түрлендіруші құрылғы – ТҚ; түзетуші құрылғы – ТТҚ; орындаушы құрылғы – ОҚ; өлшегіш жүйе – ӨЖ. Аталған құрылғылардың жиынтығын басқарушы құрылғы – БСҚ деп атаймыз.

Осы функционалды блоктардан барлық мүмкін болатын байланыстар арқылы әр түрлі нақты АБЖ құруға болады. Сонымен қатар кейбір блоктар кездеспеуі, ал кейбіреулерінің саны бірнеше болуы мүмкін. 1.3-суретте кейде массив түрінде болатын кейбір кіріс және шығыс сигналдар үшін жиі қолданылатын белгіленулер келтірілген. Бұл жағдайда жүйе көппараметрлі деп аталады.



1.3-сурет. АБЖ функционалды сұлбасы.

Функционалды блоктарға бағыттау сызықпен белгіленген «себеп-салдарлы» байланыстар тән. Алдағы уақытта АБЖ құрастырушы элементтері бір бағытты қасиетке ие деп санаймыз.

Бұл дегеніміз АБЖ алдыңғы элементінің күйі келесі элементтің күйіне тәуелді еместігін білдіреді. Мысалы, автокөліктің рулі дөңгелектің орналасуын өзгерту арқылы автокөлік қозғалысының бағытын өзгерте алады, бірақ қозғалыс кезіндегі дөңгелектің елеусіз өзгерісі рульге әсер етпейді.

АБЖ функционалды блогы автоматиканың техникалық құралдары және автоматика аспаптары арқылы орындалады. Берілген кітаптың келесі бөлімдердің біразы автоматиканың кейбір техникалық құралдарының тағайындалуы мен конструкцияларын оқуға арналған.

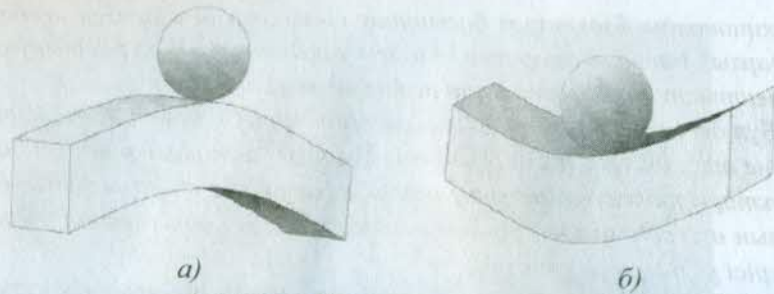
АБЖ функционалды блоктары ақпараттық және механикалық жүйелермен, сонымен қатар, бағдарламалық құралдар түрінде жүзеге асырылуы мүмкін. АБЖ сипаттамалық ерекшелігі – механикалық және ақпараттық бөлімдегі өзара байланысқан энергетикалық және ақпараттық ағымдардың бар болуы.

АБЖ анализі және синтезі Автоматты басқару теориясы (АБТ) ғылымының негізгі міндеті болып табылады.

Басқару теориясында талданылатын нысан ретінде күй өзгерісін қарастырамыз – ол жалпы АБЖ және элементтерінің динамикалық қасиеттері. БН және АБЖ маңызды қасиеті қозғалыстардың орнықтылығы, қоздыруға инварианттылығы және робастылық болып табылады. Осы қасиеттерін түсіну үшін бірнеше мысалдарды қарастырайық.

1.2-мысал.

Дөңес бетінде орналасқан тыныштық күйіндегі шарикті қарастырайық (1.4 а-сурет). Егер шарикті ақырын түртсек, онда оның тыныштық күйі бұзылады және ол бастапқы күйіне оралмайды. Осы жағдай нысанның орнықсыздығының (берілген жағдайдағы шарик) мысалы болып табылады. Керісінше (1.4 б-сурет), егер тура осы жағдайды ойыс бетте тыныштық күйінде орналасқан шарикпен қайталасақ, онда шарик бастапқы күйіне түскенге дейін орнықты тепе-теңдікте ақырындап тербеледі. Нысанның осындай күйі АБТ өзін-өзі түзету деп аталады, ал орнықтылық мәнінде орнықтылыққа нейтралды күй делінеді.



1.4-сурет. Орнықтылыққа мысалдар

Қоздыруды алып тастаған жағдайда нысанның бастапқы күйіне ұмтылатын күй қасиеті – орнықтылық деп аталады.

Кейбір нысандар орнықты режимде жұмыс істейді, бірақ кей жағдайда қоздыру әсерлері олардың ретсіз өзгеретін күйлерін тудырады. Мысалға, автоұшқышпен басқарылатын ұшақ әуе шұңқырына тап болады делік. Сыртқы ортаның барометрлік қысымның өзгеруінен ұшу режимі өзгереді. Осындай жағдай үшін ұшақтың автоматты басқару жүйесінде осы қоздырудың орнын басуға арналған техникалық құралдар болады. Олардың мақсаты қоздыруға қарсы әсер ету және жалпы нысанның инварианттылығын қамтамасыз ету болып табылады. Нысанның күйін қоздырушы факторлардан тәуелсіздігін қамтамасыз ететін құбылыстың қасиетін инварианттық деп атайды. Әдетте нақты АБЖ қозу кенеттен өзгерген кезде белгісіздік шартында жұмыс істей береді. Мұндай жағдайда АБЖ робастылы болуы тиіс, яғни кенеттен болатын қозуларға төзімді әрі орнықтылығын жоғалтпауы керек.

Енді АБЖ талдау есебін толық түрде тұжырымдауға болады. Дәлірек айтсақ, АБЖ талдау элементтердің сипаттамаларына және солардың арасындағы себеп-салдарына қатысты жүйенің күйінің өзгеріс заңдылықтарын, сонымен қатар күй қасиетінің мөлшерін бағалауды анықтайды. Автоматты басқару теориясының (АБТ) бір құрастырушы бөлігі автоматты реттеу теориясы (АРТ) болып табылады, мұнда автоматты реттеу жүйесін (АРЖ) есептеу, жобалау және зерттеу тәсілдері, техникалық үрдістердің автоматты реттеу принциптері қарастырылады.

Көптеген жағдайларда талдау нәтижелері бойынша АБЖ

синтездеу жүргізіледі. АБЖ синтездеу кезінде қажетті күй өзгерісін алу үшін элементтерді және солардың арасындағы себеп-салдар байланыстарын таңдау жүргізіледі. Осындай мақсатпен тиімді және интеллектуалды технологиялар қолданылады. Қазіргі таңда өзіндік жоғары деңгейлі ұйымдасатын, тиімді және оңай бейімделетін қасиеттерге ие АБЖ құрастырылуда.

1.2. Басқару мен реттеудің негізгі принциптері

Қазіргі кезде «Басқару» ұғымы «Ақпарат» ұғымымен тығыз байланысқан. Физикалық үрдістердің көрсеткіштері, әсерлер сигналдары ақпараттан тұрады. Мысалы, радиотехникада электрлік сигналдар көмегімен дыбыстар, ал телелидарда бейне беріледі. Ақпараттан тұратын көрсеткіштерді ақпараттық деп атайды. Ақпарат деп басқа жүйеге (элементке) қатынас түрінде берілген жүйе (элемент) туралы мәліметтер, берілгендер жиынтығын айтуға болады. Осылайша, сигнал ретінде электрлік кернеу болса, ақпараттық көрсеткіші ретінде осы сигналдың амплитудасы болады. Басқару кезіндегі ақпараттық ағын келесі мәліметтердің таратушысы болып табылады, онсыз басқару мүмкін емес:

- Басқару мақсаттары;
- Қоршаған ортаның козуы;
- Басқару нысанының күйі;
- Нысан сипаттамалары.

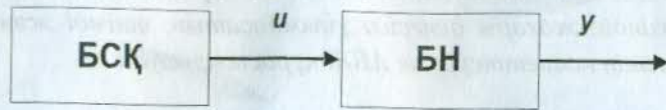
Ақпараттың орын ауысу үрдісі коммуникация деп аталынады. Ақпаратты беруді, орын ауысуын, қабылдауды қамтамасыз ететін техникалық құралдар коммуникация жүйесін құрайды.

Басқарудың алдындағы мәселе – қойылған мақсатқа жету үшін БН ағымдағы күйін немесе ішіндегі үрдістерін сәйкес шара қолдана отырып өзгерту болып табылады. БН көптүрлілігіне қарамастан АБЖ құрылымы жалпы белгілі принциптерге негізделеді.

Ақпараттың толықтылығына және сипатына қатысты басқарудың келесі принциптері іске асырылады:

- тұйықталмаған басқару принципі;
- компенсация принципі – қоздырумен басқару;

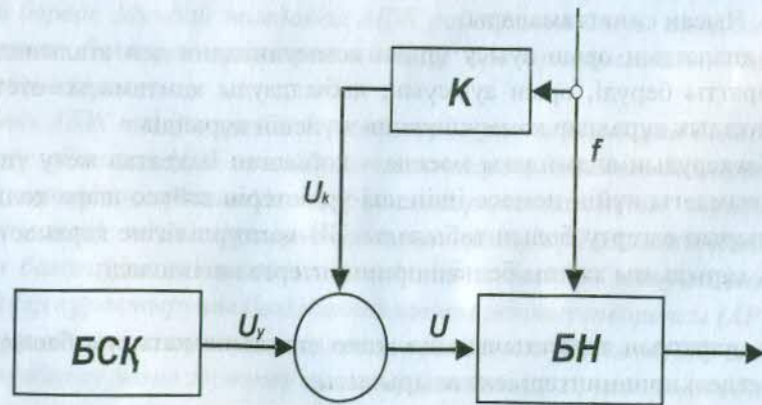
- кері байланыс принципі – ауытқу бойынша басқару;
- аралас басқару;
- бейімді басқару.



1.5-сурет. Басқарудың тұйықталмаған жүйесі

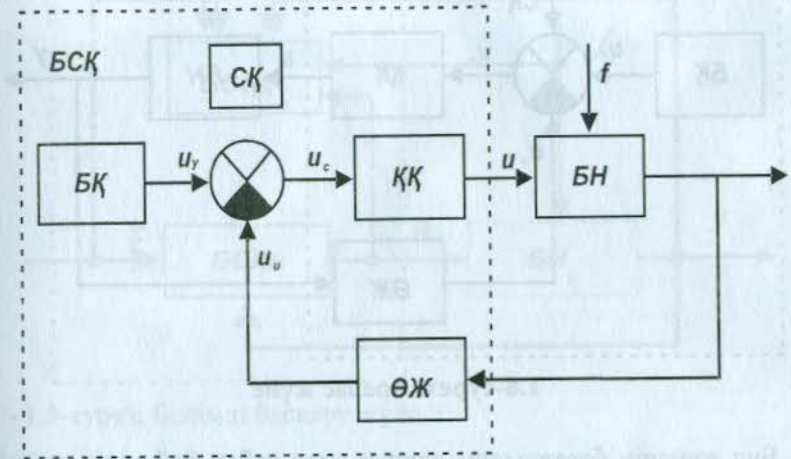
Егер $y = \text{const}$ түрінде басқару мақсаты туралы ақпарат алдын ала берілген болса және нысанның сипаттамасы белгілі болып қозу әсерлері жоқ болған жағдайда басқарушы әсер u оңай анықталынады. Осы жағдайда 1.5-суретте көрсетілген басқарудың тұйықталмаған принципінің сұлбасы қолданылады. Мұнда БСҚ – басқару мақсатына жету үшін арналған техникалық құрылғылардың жиынтығы.

Кейбір жағдайларда БН әсер ететін f қоздыруын өлшеуге немесе анықтауға болады. Онда қоздыру әсерін ескере отырып, К компенсаторын енгізіп басқарушы әсерді u_y компенсациялауға болады. Бұл жағдайда, компенсация принципі қолданылады. Сөйтіп тұйықталмаған АБЖ қозудан тәуелді компенсациялайтын әсер u_k берілетін екінші канал пайда болады. Қоздыруды компенсациялау принципіне негізделген жүйе 1.6-суретте көрсетілген.



1.6-сызба. Қоздыруды компенсациялайтын БЖ сұлбасы

Бірақ көп жағдайларда қоздыру әсері жөніндегі толық мәлімет белгісіз болып келеді. Бұл жерде қоздыруды ескеру үшін, өлшеу жүйесінен (датчиктен) алынатын басқарылатын айнымалының y ауытқуы туралы мәліметтер пайдаланылады. Ол үшін басқару жүйесі кері байланыс принципімен құрылады (1.7-сурет).



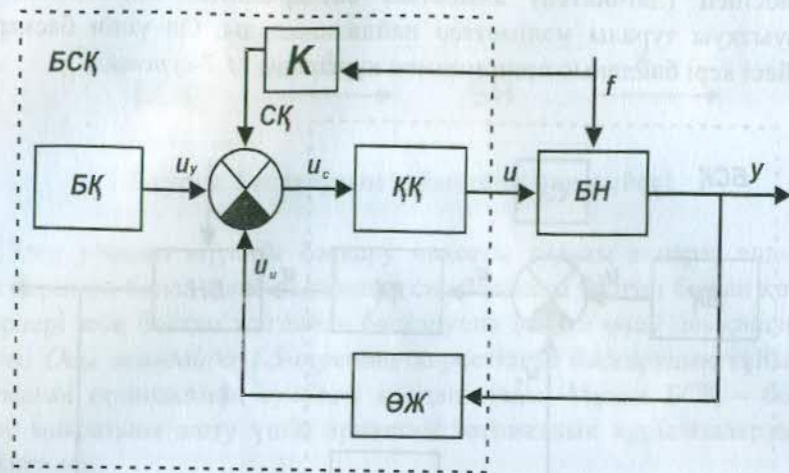
1.7-сурет. Кері байланысты басқару жүйесі

Мұнда өлшеу жүйесінде (ӨЖ) шығыс y айнымалысының нақты мәнінің ауытқуына қатысты қосымша басқарушы әсер u_v қалыптасады. 1.7-суретте теріс кері байланысты БЖ (көп қолданысқа ие болған) көрсетілген. Мұнда салыстыру құрылғысымен анықталған ауытқу $-u_c$ салыстырушы құрылғының кірісі болатын сигналдардың айырымымен анықталынады, яғни $u_c = u_y - u_v$. Кей кезде, керісінше, оң кері байланысты БЖ қолданылады, оның ауытқуы мынадай $u_c = u_y + u_v$.

Ауытқу бойынша басқару, яғни кері байланыс принципі тәжірибеде кең таралған. Ол шығыс шамалардың өзгерістерінің қажетті заңдылығын аз ауытқумен және қозу f сигналдарының әсерін өзгеріссіз әлсіздетеді.

БЖ күйін өзгеріске әкелетін әсерді өлшеуге болатын болса, онда осы мүмкіндік кері байланысты БЖ дәлдеп реттеу үшін қолданылады, яғни аралас басқару принципі арқылы жүзеге асырылады. Аралас басқару принципі өзіне ауытқу және қозу бойынша басқару

принциптерін қосады. Осындай жүйе тұйықталған контурмен қатар қозу әсерінің компенсациялатын тізбегінен тұрады (1.8-сурет).

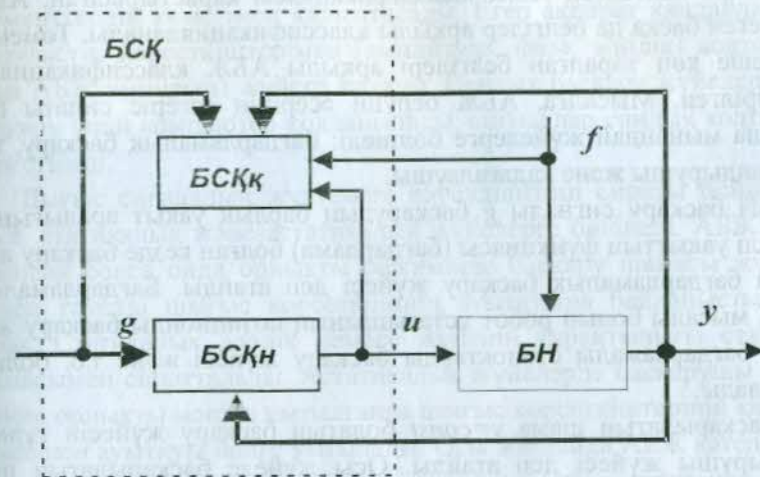


1.8-сурет. Аралас жүйе

Бұл жүйенің басқарылуы салдар емес себеп бойынша орындалады, сондықтан БЖ f қозуына абсолютті инварианттылығына жетуіне мүмкіндік береді.

Соңғы уақытта автоматты басқару теориясының дамуымен байланысты өзін-өзі реттейтін бейімді автоматты басқару жүйесі (АБЖ) пайда болды. Бейімді АБЖ БН қасиеттеріне және сыртқы шарттарының өзгерісіне автоматты түрде бейімделеді ол АБЖ көрсеткіштері мен құрылымын өзгерту жолымен басқарудың қажетті сапасын қамтамасыз ете алады. Осы жүйенің ерекшелігі БН қасиетінің өзгерісі туралы ақпараттарды ағымдағы идентификация жолымен алуда болады. Идентификация кезінде неше түрлі ақпараттар арқылы және БН бақылау негізінде АБЖ математикалық моделі құрылады және айқындалады. Кейбір жағдайларда басқару нысаны туралы мәліметтер аз болады. Мысалы, басқарылатын ғарыштық зымыранның көрсеткіштері биіктіктің өзгеруімен болатын аэродинамикалық күштің, пішінінің, салмағының өзгеруінен кең ауқымда өзгеріске түседі. Соған қарамай бейімді басқару зымыранның ұшуына қойылған мақсаттарға жетуін толығымен қамтамасыз етеді.

1.9-суретте бейімді басқарудың ұлғайтылған сұлбасы келтірілген, мұндағы БСК_н және БСК_к сәйкес түрде негізгі және қосымша басқару құрылғылары.



1.9-сурет. Бейімді басқару жүйесі

Қосымша БСК_к құрылғысы БН қасиетінің және f , g сыртқы шарттардың өзгеруінен тәуелді негізгі БСК_н көрсеткіштерінің мәндерін және оның сұлбасын керекті түрде өзгерте алады. Бейімді АБЖ екі басқару контуры бар: негізгі және бейімдеуші (1.9-суретте үздік сызықшалармен шектелген). Сөйтіп бейімдеуші контур басқарудың екінші контурын құрайды. Басқарудың нақты мақсаттарына жету үшін осы екі контурларды басқару үшін келесі бейімді контур құрылуы мүмкін, яғни осы жолмен көпсатылы бейімді АБЖ құрылуы мүмкін.

Бейімді АБЖ тиімді өзара сапалы басқаруы бар және тұрақтандырушы АБЖ бөлінеді. Тұрақтандырушы АБЖ басқару нысанының құбылысын анықталған деңгейде ұстап тұрады. Тиімді сапалы басқаруы бар бейімді АБЖ басқару сапасын анықтайтын көрсеткіштерді анықталған деңгейде немесе берілген диапазонда ұстап тұрады.

1.3. Басқару жүйесін жіктеу

Алдыңғы параграфта, құрылудың ұйымдастырылу белгілері бойынша жіктелген АБЖ классификациясы қарастырылған. АБЖ көптеген басқа да белгілер арқылы классификацияланады. Төменде бірнеше көп таралған белгілері арқылы АБЖ классификациясы келтірілген. Мысалға, АБЖ беруші әсерінің өзгеріс сипаты бойынша мынандай жүйелерге бөлінеді: бағдарламалық басқару, тұрақтандырушы және қадағалаушы.

БН басқару сигналы g басқарудың барлық уақыт аралығында белгілі уақыттың функциясы (бағдарлама) болған кезде басқару жүйесін бағдарламалық басқару жүйесі деп атайды. Бағдарламалық АБЖ мысалы болып робот ұстағышының позиционды басқару жүйесі, бағдарламалы станоктарды басқару жүйесі және т.б. болып табылады.

Басқарылатын шама $y=const$ болатын басқару жүйесін тұрақтандырушы жүйесі деп атайды. Осы жүйеде басқарылатын шаманың қажетті мәнін тұрақтандыру, қоздыру сигналының әсерін тез төмендету немесе толығымен жою арқылы жүзеге асырылады. Тұрақтандырушы жүйенің мысалы ретінде кернеуді, жиілікті, жылдамдықты тұрақтаушы жүйелер болуы мүмкін.

Алдын ала беруші әсерлері белгісіз жағдайда оны бақылайтын басқарушы шамаларды қалыптастыратын жүйені қадағалаушы жүйе деп атайды. Қадағалаушы жүйеде келіссіздік құрылғысы бар, ол шығыс шамалардың нақты және берілген мәндері арасындағы айырымды анықтайды және басқарушы шамаларды қалыптастыруға септігін тигізеді. Қадағалаушы жүйесінің мысалы ретінде ұшатын және ғарыштық аппараттарды бақылау жүйесі, бағдарламалық басқарылатын металл кескіш станоктардың кейбір жетектерінің басқару жүйелерін келтіруге болады.

Осы келтірілген үш жүйенің ерекшелігі ол кіріс әсерінің әртүрлі заңдылық өзгерісі кезінде шығыс шамаларын берілген деңгейде ұстап тұратындығы, сондықтан оларды автоматты реттеу жүйесіне жатқызады.

АБЖ элементтерінің кіріс және шығысында ақпаратты тасушылар ретінде сигналдар болады. Егер ақпарат үздіксіз сигналдарман кодталса, онда АБЖ сигнал түрі бойынша үздіксіз болады. Егер

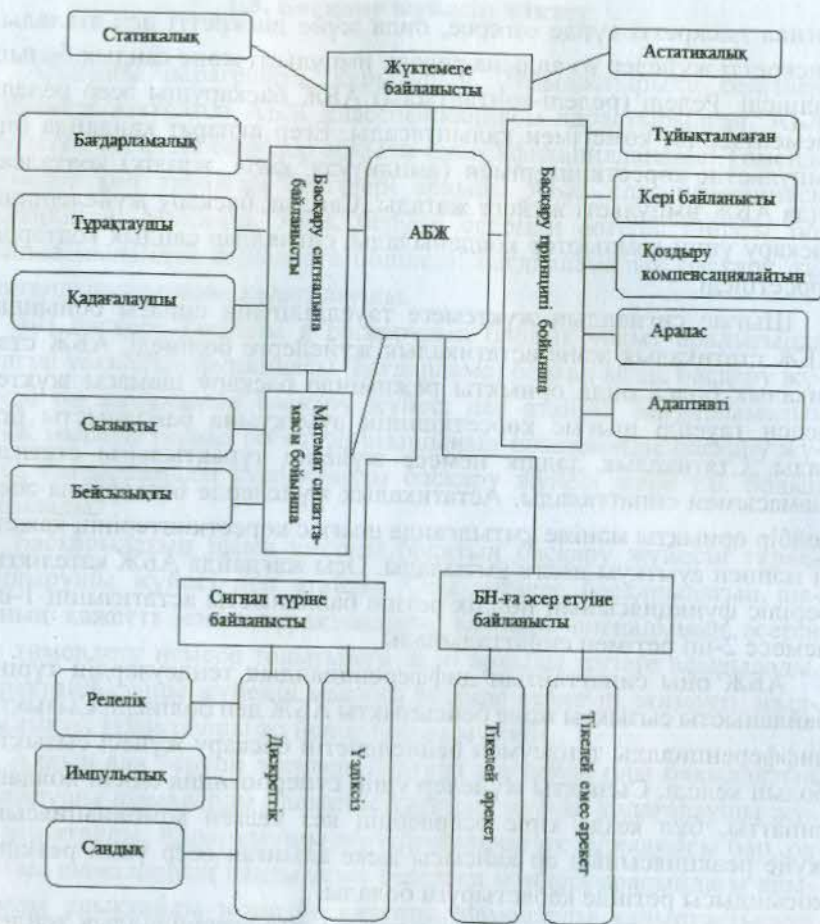
сигнал дискретті түрде өзгерсе, онда жүйе дискретті деп аталады. Дискретті жүйелер өз алдына релелі, импульсті және сандық болып бөлінеді. Релелі (релелі-контактылы) АБЖ басқарушы әсер релелі элементтердің көмегімен қалыптасады. Егер ақпарат қандайда бір импульстің көрсеткіштерімен (амплитуда, фаза, жиілік) кодталса, онда АБЖ импульсті жүйеге жатады. Сандық басқару жүйелерінде басқару үшін компьютер қолданылады, сигналдар сандық кодтарда көрсетіледі.

Шығыс сигналдың жүктемеге тәуелділігінің сипаты бойынша АБЖ статикалық және астатикалық жүйелерге бөлінеді. АБЖ статикалық болса онда орнықты режимінде басқару шамасы жүктемеден тәуелді шығыс көрсеткішінің ауытқуына байланысты болады. Статикалық дәлдік немесе жүйенің тұрақтылығы статизм шамасымен сипатталады. Астатикалық жүйелерде басқарушы әсер кейбір орнықты мәніне ұмтылғанда шығыс көрсеткіштерінің қажетті мәннен ауытқуы нөлге ұмтылады. Осы жағдайда АБЖ қателіктің беріліс функциясының нөлдік ретіне байланысты астатизмнің 1-ші немесе 2-ші ретімен сипатталады.

АБЖ оны сипаттайтын дифференциалдық теңдеулердің түріне байланысты сызықты және бейсызықты АБЖ деп бөлінеді. Сызықты дифференциалды теңдеумен бейнеленетін басқару жүйесі сызықты болып келеді. Сызықты жүйелер үшін суперпозиция әдісін қолдану сипатты, бұл кезде кіріс әсерлердің кез келген комбинациясына жүйе реакциясының әр қайсысы жеке алынған әсер үшін реакция қосындысы ретінде қарастыруға болады.

Көптеген нақты жүйелерді сызықты дифференциалдық теңдеулер арқылы бейнелеуге болады, осының арқасында автоматты басқарудың сызықты жүйелер теориясы кеңінен дамыды.

Бірақ көптеген АБЖ бейсызықты немесе кем дегенде құрамында бір бейсызықты элементі бар болады. Бұл жүйелер бейсызықты дифференциалдық теңдеулермен бейнеленеді. Бейсызықты жүйелерді зерттеудің қиындығы бейсызықты дифференциалдық теңдеулердің жалпы шешімінің жоқтығының салдарынан болып тұр. Осыған байланысты бейсызықты жүйелерге анықталған мүмкіндіктерде сызықтау тәсілдері қолданылады, яғни бейсызықты теңдеуді жақын дифференциалдық сызықты теңдеулермен алмастыру.



1.10-сурет. АБЖ классификациясы

1.10-суретте АБЖ кейбір маңызды белгілері бойынша классификациялар берілген.

Басқару нысанына басқарушы әсерді келтіру үшін сол басқарылатын үрдістің өзінің қуатын қолдануға болады. Бұл жағдайда басқару жүйесі БН тікелей әсер етеді, сондықтан АБЖ тікелей әсер етуші деп аталады. Басқа жағдайларда басқарушы объектіге әсер ету үшін қосымша қорек көзін пайдаланады немесе БН қашықтықтан басқаруы жүзеге асады, бұл жағдайда АБЖ тікелей емес әсер етуші деп айтылады.

Бақылау сұрақтары:

1. Басқару нысанына анықтама беріңіз.
2. Автоматика негіздері пәнінде не оқып үйретіледі?
3. Әсер етудің қандай түрлері бар?
4. Басқару нысанына қандай сигналдар әсер етеді?
5. Қандай құрылғыларды басқарушы деп атайды?
6. Автоматты басқару теориясының (АБТ) міндеттері.
7. Тұрақтылыққа анықтама беріңіз.
8. Инварианттылыққа анықтама беріңіз.
9. Автоматты басқару жүйесіне (АБЖ) анықтама беріңіз.
10. Автоматты басқару жүйесін талдаудың міндеттері.
11. Автоматты басқару жүйесін синтездеудің міндеттері.
12. Басқару принциптерінің түрлері.
13. Қозуы компенсацияланған АБЖ сұлбасын салыңыз.
14. Кері байланысты басқару жүйесінің сұлбасын салыңыз.
15. Аралас басқару жүйесінің сұлбасын салыңыз.
16. Бейімді басқару жүйесінің сұлбасын салыңыз.
17. Беруші әсер өзгерісінің сипаты бойынша АБЖ қалай жіктелінеді?
18. Бағдарламалық басқару жүйесінің ерекшелігі.
19. Тұрақтандырушы жүйенің ерекшелігі.
20. Қадағалаушы жүйенің ерекшелігі.
21. Статикалық АБЖ дегеніміз не?
22. Астатикалық АБЖ дегеніміз не?
23. АБЖ классификациялық сұлбасын салыңыз.

2-ТАРАУ. АВТОМАТТЫ БАСҚАРУДЫҢ СЫЗЫҚТЫ ТЕОРИЯСЫНЫҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ АППАРАТЫ

2.1. АБЖ математикалық моделі

АБЖ құрамына табиғаты әртүрлі элементтер кіреді. Осы элементтерді сипаттау үшін әр ғылым саласында өзінің тілі болады. Автоматты басқару теориясында барлық элементтердің өзара әсерлерін талдау және бейнелеу үшін жүйенің барлық элементтеріне жалпы математикалық моделді қолдану ыңғайлы. Осыған байланысты келесі келісімдер қабылданған: АБЖ әрбір элемент құрылғы ретінде, яғни жүйенің буыны ретінде қарастырылады, мұнда кіріс әсердің шығыс реакцияға түрленуі жүреді, яғни «кіріс-шығыс» түрлендіру операторымен (ТО) сипатталады. Буындар арасындағы өзара әсерлер жүйенің құрылымдық сұлбасымен беріледі. Үзіліссіз жүйенің барлық элементтерінің біркелкі бейнесі түрлендіру операторлары түрінде дифференциалдық теңдеулер көмегімен орындалуы мүмкін. Кез келген физикалық жүйелердің динамикасын бейнелейтін дифференциалдық теңдеулерді негізгі физикалық заңдардың негізінде алады. Бұл тәсілді жалпы механикалық, электрлік, гидравликалық, термодинамикалық жүйелерге қолдануға болады.

MATLAB бағдарламалық өнімінде аналитикалық тәуелділіктерге негізделіп шығарылған бағдарламалар пакеті бар, сол арқылы әртүрлі АБЖ зерттеуге және модельдеуге болады. Кітаптың 1-қосымшасында Simulink бағдарлама жиынтығының кітапханасын қолдану негіздері келтірілген. Студенттерге есеп шығару кезінде MATLAB бағдарламалық өнімін параллель қолдану ұсынылады.

Түрлендіру операторын (ТО) алу үшін толассыз және салыстырмалы айнымалыларын енгіземіз. Мынадай физикалық шамаларды толассыз айнымалылар ретінде қабылдаймыз: күш F , момент M , ток күші I , сұйықтың көлемдік шығыны Q , жылулық ағын q . Көрсетілген толассыз айнымалыларға сәйкес келесі салыстырмалы айнымалыларды қабылдаймыз: ілгерілемелі жылдамдық v , бұрыштық жылдамдық, кернеу U , қысым p , температураны T .

Осыдан толассыз айнымалы X және салыстырмалы айнымалылардың Y арасында төменде келтірілген дифференциалдық теңдеумен сипатталынатын тәуелділікті көреміз:

$$X = C \frac{dY}{dt}.$$

Мұндағы, C әртүрлі жағдайда физикалық шамаларға сәйкес белгіленетін тұрақты.

Мысалы, механикада динамиканың екінші заңынан шығатын:

$$F = m \frac{dv}{dt}.$$

Мұндағы, m – ілгерілемелі жүрістегі дененің немесе нүктенің массасы.

Ток заңының негізінде

$$I = C \frac{dU}{dt}.$$

Мұндағы, C – электрлік сыйымдылық.

Жалпы жағдайда АБЖ және кез келген элементтерінің «кіріс-шығысын» бейнелеу үшін тұрақты коэффициент ретінде мына түрдегі сызықты дифференциалдық теңдеулер (ДТ) қолданылуы мүмкін

$$\alpha_n \frac{d^n y}{dt^n} + \dots + \alpha_1 \frac{dy}{dt} + \alpha_0 y = \beta_n \frac{d^n u}{dt^n} + \dots + \beta_1 \frac{du}{dt} + \beta_0 u. \quad (2.1)$$

Мұндағы, $\alpha_0, \dots, \alpha_n$ және β_0, \dots, β_m – буын көрсеткіштері деп аталынатын тұрақты шамалар. Көрсеткіш n теңдеудің реті деп аталады. Сызықты дифференциалдық теңдеулерде айнымалылар және олардың туындысы бірінші дәрежеде және көбейтіндісіз түрінде болады. Егер жүйеге бірнеше кіріс және шығыс әсерлер әсер етсе, онда әрбір кіріс пен шығыс әсеріне (2.1) түріндегі дифференциалдық теңдеу құрылады.

Дифференциалдық теңдеулер теориясынан белгілі (2.1) түріндегі дифференциалдық теңдеудің жалпы шешімі екі шешімнің қосындысы ретінде болады. Ол біртекті ДТ шешімі (оң бөліксіз) және біртекті емес ДТ дербес шешімі (оң бөлікпен) қосындысы. Біртекті n ретті ДТ n шешімі мына сипаттаушы теңдеуінің r_i ($i=1, \dots, n$) түбірлері ретінде анықталынады:

$$\alpha_0 r^n + \alpha_1 r^{n-1} + \dots + \alpha_n r + \alpha_n = 0.$$

Сонда (математикадан белгілі) біртекті дифференциалдық теңдеудің жалпы шешімі былай анықталады:

$$y_1(t) = \sum_{i=1}^n C_i e^{r_i t}.$$

Мұндағы, C_1 бастапқы шартпен анықталатын интегралдау тұрақтысы.

Біртекті емес ДТ дербес шешімі әдетте (2.1) тендеудің оң бөлігі ретінде табылады және жүйе кірісіндегі $u(t)$ функциясына тәуелді.

Бұдан былай ДТ қарапайымдату үшін уақыт бойынша дифференциалдаушы оператор деп аталатын операторды енгіземіз:

$$p \equiv d / dt$$

Сонда (2.1) ДТ операторлық түрде былай жазылады:

$$\alpha_n p^n u + \dots + \alpha_1 p u + \alpha_0 u = \beta_n p^m u + \dots + \beta_1 p u + \beta_0 u$$

Және осы тендеуді қысқартылған түрде былай жазамыз:

$$A(p)y(t) = B(p)u(t). \quad (2.2)$$

Мұндағы, $A(p) = \alpha_n p^n + \dots + \alpha_1 p + \alpha_0$, $B(p) = \beta_n p^m + \dots + \beta_1 p + \beta_0$ – операторлық көпмүшелер.

Көрсетілген (2.2) операторлық түрде жазудан басқа математикалық модель құрғанда операторлы беріліс функциясы деген шама қолданылады. (2.2) тендеуден операторлы беріліс функциясы шығыс шаманың кіріс шамаға қатынасы ретінде анықталады да төмендегідей түрде өрнектеледі:

$$W(p) = \frac{y(t)}{u(t)} = \frac{B(p)}{A(p)} \quad (2.3)$$

Сонымен, күрделі жүйенің қасиетін біліп және оны басқару үшін тұрақты коэффициентті дифференциалды тендеу түріндегі математикалық моделді құру қажет. Жүйені талдау және синтездеу әдетте келесідей тәртіппен жүргізіледі:

1. Жүйені және оның компоненттерін анықтау.
2. Математикалық моделін құру және қажетті жорамалдарды келтіру.
3. Таңдалған моделге дифференциалдық тендеуді құрастыру.
4. Тендеуді шешу.
5. Жорамалдарды және шешімдерді қайта талдау.
6. Қажет болса қайтадан талдау және синтездеу.

Сызықты жүйелерге математикалық моделдерді құрастыру мысалдары

2.1-мысал.

Қарапайым динамикалық жүйелерді қарастырайық. Жоғарыда айтылғандай, математикалық модель құру үшін физиканың негізін қалаушы заңдары қолданылады.

Айталық ілгерлемелі қозғалыстағы дененің математикалық моделін құру керек болсын. Сонда денеге масса центріне F күші әсер етеді. Дененің массасы m және дене a үдеумен F күші әсерінен қозғалады.



2.1-сурет. Ілгерілемелі қозғалыстағы дененің моделі

Ньютонның екінші заңына сәйкес ілгерлемелі қозғалыстағы дененің математикалық моделі күш және үдеу бағытына сәйкес келетін z осінің проекциясында келесідей дифференциалдық теңдеумен өрнектеледі:

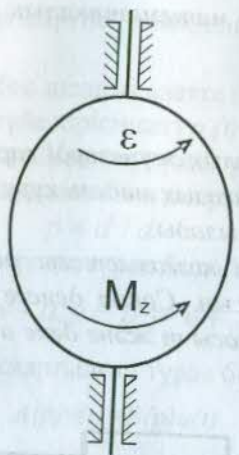
$$F = ma = m \frac{d^2 z}{dt^2}$$

Бұл теңдеуді бірінші ретті дифференциалдық теңдеулер жүйесі ретінде былай жазуға болады:

$$\frac{dz}{dt} = v,$$

$$\frac{dv}{dt} = \frac{F}{m}$$

Айталық, дене қозғалмайтын ось бойымен айналмалы қозғалыс жасасын делік. Денеге z айналу осіне қатысты M_z болатын моменті бар қос күш әсер етеді. Дененің z осіне қатысты инерция моменті M_z -қа тең делік. моменті J_z әсерінен дене z оське қатысты ω бұрыштық жылдамдықпен айналады.



2.2-сурет. Айналмайтын ось бойымен дененің айналуы

Қозғалыс мөлшері моментінің өзгеруі теоремасына сәйкес дененің динамикалық моделі төмендегі дифференциалдық теңдеу түрінде құрылуы мүмкін:

$$M_z = J_z \varepsilon = \frac{d(J_z \omega)}{dt}$$

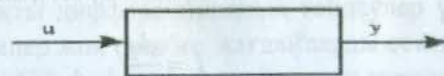
Егер айналу кезіндегі дененің орналасуы бұрылу бұрышымен φ анықталса, оның туындысы бұрыштық жылдамдық ω болады. Онда жоғарыда келтірілгендей бұл теңдеуді де мынадай бірінші ретті дифференциалдық теңдеулер жүйесімен алмастыруға болады:

$$\frac{d\phi}{dt} = \omega,$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{M_z}{J_z}$$

Келтірілген математикалық модельдер уақыт бойынша үзіліссіз сызықты модельдер болады, себебі олар бірінші ретті дифференциалдық теңдеулермен сипатталады. Мұндай модельдер уақыт аймағында жүйені зерттеуге, яғни уақытқа тәуелді кіріс сигналға жүйенің реакциясын анықтауға мүмкіндік береді. Егер келтірілген мысалдарға басқару теориясының аппаратын қолданақ, онда денелерді буын ретінде қарастырамыз. Әр буынға кіріс шама (басқарушы) и әсер етеді, ал буынның реакциясы шығыс

шамамен у бағаланады. Бұл тұжырымда бірінші мысал үшін кіріс сигналы ретінде күш F алынсын, ал екінші мысал үшін – момент M. F, M кіріс әсерлерге сәйкес (2.3-суретте) шығыс шамалар а үдеуі және e бұрыштық үдеу өзгереді.



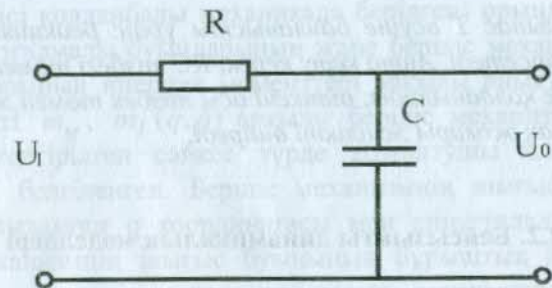
2.3-сурет. Әсерлесу сұлбасы

2.2-мысал

Қарапайым резистрлі сыйымдылықты (RC) тізбекті қарастырайық. Конденсаторға кернеудің тәуелділігін көрсететін динамикалық модельді құрастыру қажет делік. U_i арқылы кіріс кернеуді белгілесек, U_o арқылы конденсатордың кернеуін белгілейік. Тізбектегі кернеу үшін Кирхгофтың екінші ережесі бойынша мынаны аламыз:

$$U_i - R \cdot I - U_o = 0.$$

Мұндағы, R, I – тізбектегі активті кедергі және ток.



2.4-сурет. Резисторлы сыйымдылықты (RC) тізбек

Конденсатор уақытқа байланысты өзіне электр зарядын жинайтыны белгілі. C сыйымдылықты конденсатор арқылы өтетін ток I уақыт бойынша кернеудің туындысына пропорционал, яғни:

$$I = C \cdot \frac{dU_o}{dt}$$

Осы екі теңдеуден тоқты алып тастап RC тізбегінің динамикалық моделін мына түрде алуға болады:

$$\frac{dU_0}{dt} = -\frac{U_0}{T} + \frac{U_i}{T}, \quad (2.3)$$

мұндағы, $T=RC$ – уақыт бойынша тұрақты деп аталады.

Қосымша дифференциалдық теңдеу тоқ анықтамасы бойынша шығады:

$$I = \frac{dq}{dt}, \quad (2.4)$$

мұндағы, $dq - dt$ уақыты бойынша өткізгіштің көлденең қима-сынан өтетін заряд.

(2.4) теңдеуіне I тоқтың орнына Кирхгофтың екінші ережесінің теңдігіндегі өрнегін қою арқылы мынаны аламыз:

$$\frac{dq}{dt} = -\frac{U_0}{R} + \frac{U_i}{R} \quad (2.5)$$

(2.3) және (2.5) теңдіктері ары қарай қолдану үшін ыңғайлы түрде жазылған.

(2.3) дифференциалды теңдеудің келесідей шешімі бар:

$$U_0(t) = U_i(1 - e^{-t/T})$$

Осы қатынас T өсуіне байланысты үрдіс реакциясы баяулай түсетінін көрсетеді. Айта кету керек, RC тізбегі төменгі жиілікті сүзгі ретінде қолданылады, өйткені осы тізбек төмен жиіліктерді өткізеді, бірақ жоғары жиілікті өшіреді.

2.2. Бейсызықты динамикалық моделдері

АБЖ сызықты динамикалық модельдері айнымалылардың өзгерісі кіші аймақтарда, яғни қатал анықталған жағдайларда ғана әдепті болып келеді. Сондықтан сызықты математикалық модельдер көмегімен нақты кез келген нысандардың басқарылу заңын құруға жалпы болмайды. Сызықты моделдерді құру кезінде тек жүйені сызықты теңдеулермен сипаттауға мүмкіндік беретін айнымалылардың ғана әсері ескеріледі (2.1).

Осыған байланысты тек қана бейсызықты математикалық модельдер көмегімен ғана АБЖ талдау және синтездеудің нақты шешімін және басқарудың тиімді заңын алуға болады. Ол үшін

бейсызықты басқару теориясының тәсілдері қолданылады. Кейбір жағдайларда осы тәсілдер бастапқы шарттардың кең диапазонындағы әртүрлі әсерлер болғанда жүйенің күй өзгерісі туралы сапалы анықтамаларды алуға мүмкіндік береді. Жалпы жағдайда бейсызықты жүйелердің талдау мүмкіндіктері шектеулі, себебі математикада бейсызықты дифференциалдық теңдеулер үшін жалпы аналитикалық шешімдер жоқ (дербес жағдайларды ескермегенде).

Көптеген нақты АБЖ физикалық үрдістердің күрделілігі салдарынан, сонымен қатар, құрастырушы механикалық, электрондық, электромеханикалық компоненттерінің конструктивті ерекшеліктері салдарынан бейсызықты дифференциалдық теңдеулерімен сипатталады.

АБЖ динамикалық моделінің бейсызықтылығы келесі себептен болады:

- Орын ауысу функциясының бейсызықты болуынан.

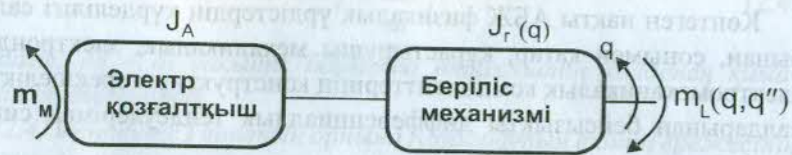
2.5-суретте элетрқозғалтқыш және беріліс механизмімен құрастырылған электржетек келтірілген. Суретте көрсетілген электрқозғалтқышты сипаттайтын электроқозғалтқыш роторының инерция моменті J_A . J_r – беріліс мезанизмнің шығыс буынына келтірілген (келтіру әдісі қолданбалы механикада берілген) орындаушы механизмнің қозғалмалы буындарының және беріліс механизмінің өзінің буындарының инерция моменттері арқылы анықталған инерция моменті. m_M , $m_L(q, \dot{q})$ арқылы беріліс механизмнің шығыс буынына келтірілген сәйкес түрде қозғалтушы және жүктеме моменттері белгіленген. Беріліс механизмнің шығыс буынының орны жалпыланған q координатасы мен сипатталады. Сонымен беріліс механизмнің шығыс буынының бұрыштық жылдамдығы мынаған тең $\omega = \dot{q}$, элетрқозғалтқыш роторының бұрыштық жылдамдығы $\omega_A = u$ тең. Бұл өрнектегі u – беріліс механизмнің беріліс қатынасы деп аталатын шама. Жетектің динамикалық үлгісін алу үшін қолданбалы механикадан белгілі келтіру әдісін пайдаланайық. Алдынан беріліс механизмнің барлық инерциялық параметрлерін беріліс механизмінің шығыс білігіне келтірейік.

Ол үшін келтіру әдісінен белгілі мына шартты қолданайық: жетектің келтірілген инерция моментінің J_R кинетикалық энергиясы барлық буындардың кинетикалық энергиясының қосындысына тең. Сондықтан

$$\frac{J_R(q)\omega^2}{2} = \frac{J_A\omega_A^2}{2} + \frac{J_r(q)\omega^2}{2}$$

Осы тәуелділіктен жетектің келтірілген инерция моментінен мына өрнекті аламыз, яғни

$$J_R(q) = J_A u^2 + J_r$$



2.5-сурет. Электрқозғалтқыш үлгісі

Тұтас жүйенің кинетикалық энергиясы былай өрнектеледі:

$$T = \frac{1}{2} J_R(q) \dot{q}^2$$

Жетектің динамикалық теңдеуі Лагранж түрінде былай болады:

$$J_R(q) \ddot{q} + \frac{1}{2} J'(q) \dot{q}^2 = m_M + m_L(q, \dot{q})$$

Бұл дифференциалдық теңдеу бейсызықты болғандықтан біз қарастырып отырған жетектің бейсызықты жүйеге жататынына көзіміз жетті.

• *Үйкеліс күшін ескергенде және дайындаудағы дәлдіктің әсерінен бөлшектердің қосылыстарындағы саңылаулар болуынан.*

Айталық, саңылаусыз идеалды механизмнің орын ауыстыру функциясы сызықты болсын. Ал расында, қосылыстарда саңылаулар болғандықтан механизмнің орын ауыстыру функциясы өзгеріп бейсызықты болып кетеді.

Біржылжымалы идеалды және шын механизмнің орын ауыстыру функциясы сәйкесінше былай өрнектеледі делік, $\Psi_r = \Psi_r(q)$, $\Psi_R = \Psi_R(q + \Delta q)$. Бұнда Δq – саңылау салдарынан болатын қателікті көрсететін жалпыланған координатаның өсімшесі. Тәжірибеде бұл қателіктер басқа да себептерден болуы мүмкін. Екінші өрнек

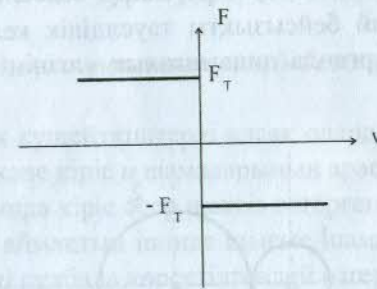
шын механизмнің орын ауыстыру функциясы бейсызықты болатындығын көрсетеді. Яғни шын механизмнің динамикалық үлгісін бейсызықты деп айтуға болады.

Құрғақ үйкелісте сырғанаған кезіндегі үйкеліс күші мына формула арқылы анықталатыны белгілі:

$$F_T = fN,$$

мұндағы, f – үйкеліс коэффициенті; N – қалыпты қысым күші.

2.6-суретте көрсетілгендей, үйкеліс күші қозғалысқа v қарама-қарсы бағытталады.



2.6-сурет. Үйкеліс күшімен салыстырмалы жылдамдық арасындағы тәуелділік

2.6-суретте бейнеленгендей, салыстырмалы жылдамдық бағыты өзгергенде үйкеліс күшінің функциясы үзіледі. Сондықтан үйкеліс күштен тәуелді болатын жалпыланған күштің құрастырушысы бейсызықты функция бойынша өзгереді. Осы жағдай динамикалық үлгінің бейсызықтығына әкеліп тірейді. Ескеріп кеткен жөн: бұл қатаң бейсызықтық жағдайда функция үзілген нүктесінде бейсызықты теңдеуді сызықтауға болмайды.

• *Механизм буындарының серпімді сипаттамаларының бейсызықты болуынан.*

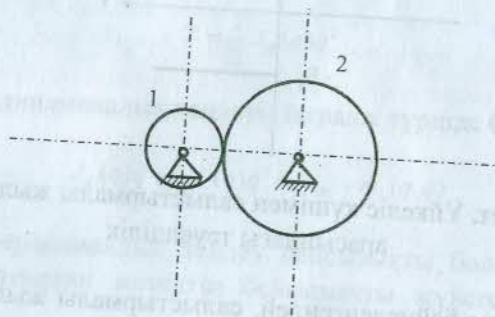
2.7-суретте екі тістерінің саны z_1 , z_2 тең, тісті доңғалақтан тұратын тісті беріліс берілген. Егер доңғалақтарды абсолют қатаң денелер деп болжасақ онда жетектегі доңғалақтың айналғандағы бұрышы φ_2 жетекші доңғалақтың айналуымен φ_1 толық анықталады, яғни

$$\phi_2 = \frac{\phi_1}{u_{12}} = \frac{z_1}{z_2} \phi_1,$$

мұндағы, u_{12} – тісті берілістің беріліс қатынасы.

Енді тісті доңғалақта серпімділік қасиет бар деп болжайық. Жетектегі доңғалақты қатаң бекітейік те жетекші доңғалақты моменттен түсіріп бұрайық. Онда бірінші доңғалақ өзінің иілгіштік қасиетінің арқасына кейбір θ бұрышына бұрылады.

Егер серпімділік сызықты болса, онда θ моментке M пропорционал болады. Ал олардың мына қатынасы $c = M/\theta$ қатандық коэффициенті деп аталады. Кей жағдайда олардың арасындағы тәуелділік бейсызықты болуы мүмкін, мысалы, мына түрде $M = c_1 \cos \theta$. Осындай бейсызықты тәуелділік келешекте II текті Лагранж теңдеуін құрғанда динамикалық үлгінің бейсызықты болуына келіп тірейді.



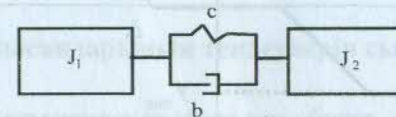
2.7-сурет. Тісті беріліс

- *Диссипативті күштердің бейсызықтылығы*

«Диссипативті» (*to dissipate*) деген аталым механикалық энергияның шашырауына әкелетін кедергі күштің бар екенін білдіреді. Кедергі күштің жалпыланған жылдамдықпен бейсызықты тәуелділікте болғандағы жағдайын қарастырайық. Егер, мысалы, тісті доңғалақ сұйық ортада орналасқан болса, онда айналғандағы кедергі моменті айналу жылдамдығына байланысты болады. Жоғары жылдамдықтарда бұл тәуелділік мына бейсызықты теңдеумен бейнеленеді:

$$M = b\dot{q}^2$$

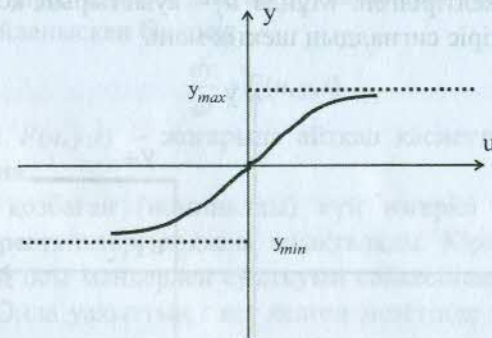
Осы жағдайда жүйенің дифференциалдық теңдеуін құрғанда бейсызықты динамикалық үлгі пайда болады. 2.8-суретте диссипативті элементі бар жүйенің мысалы келтірілген. Келтірілген діріл тоқтатқышта J_1, J_2 – инерция моменттеріне ие екі дене, серпінді (c – қаттылық коэффициенті) және диссипативті (b – диссипация коэффициенті) элементтері арқылы бір-бірімен байланыста тұр. Осы жүйенің динамикалық үлгісі әрине бейсызықты болады.



2.8-сурет. Діріл тоқтатқыш

- *Электрондық компоненттердің бейсызықты болу салдарынан*

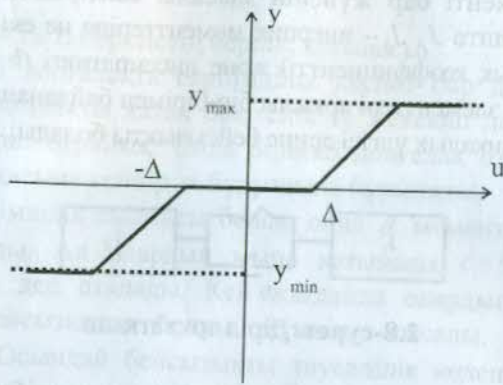
Электрондық күшейткіштерді алсақ олардың бір шектелген аймақта шығыс y және кіріс u шамаларының арасында сызықты тәуелділік бар. Шынында кіріс әсер шексіз өзгергенде бір қанықтыру аймақ болады сол аймақтың ішінде шығыс шама y_{max}, y_{min} мәндерінен аспай (2.9-сурет) сұлбада көрсетілгендей өзгереді.



2.9-сурет. Күшейткіштің статикалық сипаттамасы

Ақпаратты-өлшегіш жүйелерде қолданылатын датчиктердің көбінде осыған ұқсас сезімталсыздық аймағы бар. Ол аймақтың ішінде (2.10-сурет) кіріс сигнал Δ -дан Δ -ға дейін өзгергенде шығыс сигнал мүлде жойылады. Сонымен қатар, датчиктердің мысалы,

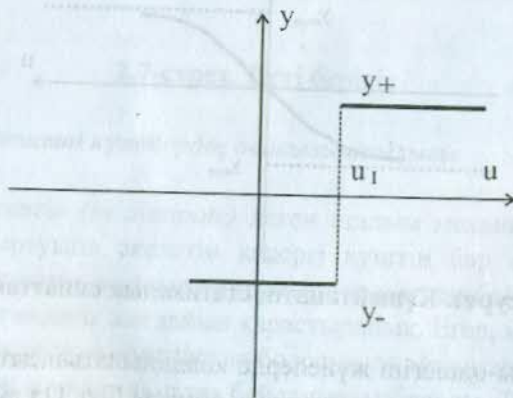
патенциометрлер, күшейткіштер секілді y_{\min} -нан y_{\max} -ға дейінгі аралықтағы шектелген сызықты аймағы бар (2.10-сурет).



2.10-сурет. Потенциометрдің статикалық сипаттамасы

АБЖ құрылымына кей кезде ауыстырып-қосу қызметін атқаратын релелік элементтер енеді. Функционалды жағынан бұл элементтер кіріс сигналдың бірнеше шектік мәніне өту кезінде шығыс сигналдарын өзгертеді.

Релелік элемент үшін кіріс-шығыс байланысының сипаттамасы 2.11-суретте келтірілген. Мұнда u_i – ауыстырып қосқыш жұмыс істеуі кезінде кіріс сигналдың шектік мәні.



2.11-сурет. Реленің статикалық сипаттамасы

- Электромеханикалық бөлшектер еңсе

Мысалы, АБЖ құрылымына элетромеханикалық бөлшек ретінде қоздыру орамы тізбектеліп қосылған электроқозғалтқыш кірсе онда осының салдарынан АБЖ бейсызықты болады. Өйткені бұндай электрқозғалтқыштарда ротор білігіндегі момент кіріс тоқтың квадратына тәуелді. Сонымен қатар айнымалы тоқты электрқозғалтқыштар да елеулі бейсызықтыққа ие болады.

2.3. АБЖ нысандарының теңдеулерін сызықтандыру

Егер бейсызықты теңдеу графигі тегіс болса, яғни секіріссіз және кейбір (номиналды) мәндерден елеулі ауытқусыз, онда бейсызықты теңдеуді белгіленген қателікпен сызықты теңдеуге алмастыруға болады. Мұндай жағдайда егер бейсызықты теңдеулерді сызықты теңдеулерге алмастырсақ басқаша айтқанда сызықтандыратын болсақ АБЖ сызықты және бейсызықты математикалық сипаттамаларының артықшылықтарын қатар қолдануға мүмкіндік пайда болады. Сызықтандыру тәсілі, жүйе қозбаған күйінің тепе-теңдігін анықтайтын мәндерден шамалы ауытқуларын да сипаттауға негізделген.

Айталық, кіріс u және шығыс y шамалары төменде берілген теңдеумен байланысқан болсын:

$$\frac{dy}{dt} = F(u, y, t) \quad (2.6)$$

Мұндағы, $F(u, y, t)$ – жоғарыда айтқан қасиеттері бар бейсызықты функция.

Жүйенің қозбаған (номиналды) күй өзгерісі кіріс u_0 және шығыс y_0 көрсеткіштері арқылы анықталады. Кіріс және шығыс шамаларының осы мәндерден ауытқуын сәйкесінше u_i және y_i деп белгілейміз. Онда уақыттың t кез келген мезетінде кіріс және шығыс шамалар мынаған тең:

$$u = u_0 + u_i \quad y = y_0 + y_i$$

Енді шығыс шаманың туындысы:

$$\frac{dy}{dt} = \frac{dy_0}{dt} + \frac{dy_i}{dt} \quad (2.7)$$

(2.6) теңдігіндегі бейсызықты $F(u, y, t)$ функцияны u_0 және y_0 мәндер аймағында Тейлор қатарына жіктеп келесі өрнекті аламыз:

$$F(u, y, t) = F(u_0, y_0, t) + \frac{\partial F}{\partial u} \Big|_{y=y_0} u_t + \frac{\partial F}{\partial y} \Big|_{u=u_0} y_t + F_t(u_t, y_t, t). \quad (2.8)$$

мұндағы, $F_t(u_t, y_t, t)$ – параметрлердің аз ауытқуы кезінде елеуіге болатын Тейлор қатарындағы басқа мүшелердің қосындысы.

(2.6) теңдігіне (2.7) теңдігін ескеріп, (2.8) теңдігіндегі бейсызықты функцияны $F(u, y, t)$ қою арқылы келесі өрнекті аламыз:

$$\frac{dy_0}{dt} + \frac{dy_t}{dt} + a(t)y_t = F(u_0, y_0, t) + b(t)u_t, \quad (2.9)$$

Мұндағы, $b(t) = \frac{\partial F}{\partial u} \Big|_{y=y_0} a(t) = -\frac{\partial F}{\partial y} \Big|_{u=u_0}$.

Тепе-теңдік күйде, яғни $u_t = 0$ және $y_t = 0$ болған кезде, (2.9) теңдеуі келесі түрге ие болады:

$$\frac{dy_0}{dt} = F(u_0, y_0, t) \quad (2.10)$$

Енді (2.10) теңдеуін (2.9) теңдеуінен алып тастап ізделінген сызықты дифференциалдық теңдеуді мына түрде аламыз:

$$\frac{dy_t}{dt} + a(t)y_t = b(t)u_t, \quad (2.11)$$

Сонымен, (2.6) бейсызықты теңдеуіне сызықтандыру орындалды.

2.3-мысал.

Айталық, түрлену операторының математикалық бейнесі екінші ретті бейсызықты теңдеуге ие болсын

$$6\ddot{y} + 17\dot{y} + 5xy^3 = 8yx^2 \quad (2.12)$$

Осы теңдеуді номиналды режим $x_0 = 6$ аймағында сызықтандыру қажет.

$\ddot{y} = \dot{y} = 0$ деп шарт қабылдап, (2.12) теңдігінен жүйенің қозбаған күйіне сәйкес u мәнін аламыз:

$$y_0 = 1.26\sqrt{x_0} = 3,1$$

Сызықтандыру үшін бейсызықты (2.12) теңдігін мына түрде жазамыз:

$$F(\ddot{y}, \dot{y}, y, x) = 6\ddot{y} + 17\dot{y} + 5xy^3 - 8yx^2 = 0 \quad (2.13)$$

Бейсызықты (2.13) теңдеуін x_0, y_0 мәндер маңайында барлық айнымалылар бойынша Тейлор қатарына жіктейміз. Сонда екінші ретті қосылғыштарды және жоғарғы ретті аздарды ескермей, төмендегі өрнекті аламыз:

$$F(\ddot{y}, \dot{y}, y, x) = F_0 + \frac{\partial F}{\partial \ddot{y}} \Big|_0 \Delta \ddot{y} + \frac{\partial F}{\partial \dot{y}} \Big|_0 \Delta \dot{y} + \frac{\partial F}{\partial y} \Big|_0 \Delta y + \frac{\partial F}{\partial x} \Big|_0 \Delta x. \quad (2.14)$$

x_0, y_0 мәндерінің маңайында өрнектің оң жағындағы әр қосылғыштардың мәндерін анықтайық:

$$F_0 = 5x_0y_0^3 - 8y_0x_0^2 = 0$$

$$F_0 + \frac{\partial F}{\partial \ddot{y}} \Big|_0 = 6; \quad \frac{\partial F}{\partial \dot{y}} \Big|_0 = 17y_0 = 52,7;$$

$$\frac{\partial F}{\partial y} \Big|_0 = 17\dot{y}_0 + 15y_0^2x_0 + 8x_0^2 = 577;$$

$$\frac{\partial F}{\partial x} \Big|_0 = 5y_0^3 - 16y_0x_0 = 148,6.$$

Енді (2.14) теңдігін және алынған мәндерді ескере отырып номиналды режимнен ауытқулар арқылы (2.13) теңдігін мына сызықты теңдеу түрінде жазамыз:

$$6\ddot{y} + 52,7\dot{y} + 577y = 148,6x. \quad (2.15)$$

Сызықты (2.15) өрнегі (2.12) бейсызықты теңдеуімен бейнеленген нысанның сызықтандыру арқылы алынған теңдеуі болып келеді.

2.4. Лаплас түрлендіруі, беріліс функциясы

АБЖ талдау және синтездеу үшін автоматикада дифференциалдық теңдеулерді қолданумен қатар кешенді айнымалы функцияларды және Лаплас түрлендіруін қолданады. Лаплас түрлендіруі күрделі дифференциалдық теңдеулерді алгебралық теңдеулерге алмастыру жолымен АБЖ есептерін шешуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, интегралдау тұрақтысын анықтау қажеттілігі жоғалады және кез келген біртекті емес дифференциалдық теңдеулердің жалпы шешімін тез анықтауға мүмкіндік пайда болады (2.1).

Дирихле шарты орындалған жағдайда, яғни $f(t)$ функциясы $t < 0$ кезінде нөлге тең болатын үздіксіз және дифференциалдаушы функция болған кезде, $f(t)$ функциясының Лаплас түрлендіруі болатыны туралы Жоғары математика курсынан белгілі.

$f(t)$ функциясы түпнұсқа деп аталынады. Лаплас түрлендіруі келесі өрнекпен орындалады:

$$F(s) = \int_0^{\infty} f(t)e^{-st} dt = L[f(t)].$$

Мұндағы, $F(s)$ – $f(t)$ функцияның бейнесі, $s = \alpha \pm j\omega$ – кешенді айнымалы (Лаплас операторы).

Кері Лаплас түрлендіруі келесі түрге ие:

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{\sigma-j\infty}^{\sigma+j\infty} F(s)e^{st} ds$$

Бұл түрлендіру белгілі бейне бойынша түпнұсқаны анықтауға мүмкіндік береді.

Тәжірибеде, әдетте, тура және кері Лаплас түрлендіруін орындау үшін 2.1-кестеде келтірілген нәтижелер қолданылады.

Бұл жағдайда АБЖ түрлендіру операторы кешенді беріліс функциясы түрінде анықталады. Кешенді беріліс функциясы нөлдік бастапқы шартында Лаплас бойынша функциялар бейнелерінің қатынасы, яғни шығыс $Y(s)$ және кіріс $U(s)$ бейнелердің қатынасы ретінде анықталады:

$$W(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{\beta_m s^m + \dots + \beta_1 s + \beta_0}{\alpha_n s^n + \dots + \alpha_1 s + \alpha_0} = \frac{B(s)}{A(s)} \quad (2.16)$$

Мұндағы (2.16) $B(s) = \beta_m s^m + \dots + \beta_1 s + \beta_0$, $A(s) = \alpha_n s^n + \dots + \alpha_1 s + \alpha_0$ кешенді көпмүшелік. Оны (2.2) өрнектегі $B(p)$ және $A(p)$ операторлық көпмүшеліктерде p операторды s операторымен алмастыру арқылы анықтауға болады. 2.16 теңдеу бөліміндегі сипаттама теңдеуінің түбірі полюстер деп аталынады. Сызықты жүйенің полюстері толығымен оның орнықтылығын анықтайды. Егер полюстердің нақты бөлігі теріс болса, онда жүйе орнықты болады. (2.16) теңдеудің алымындағы сипаттама теңдеуінің түбірлерін нөлдер деп атайды. Нөлдер экспоненциалды функцияның коэффициенттер мәнін анықтайды, бірақ орнықтылыққа әсер етпейді.

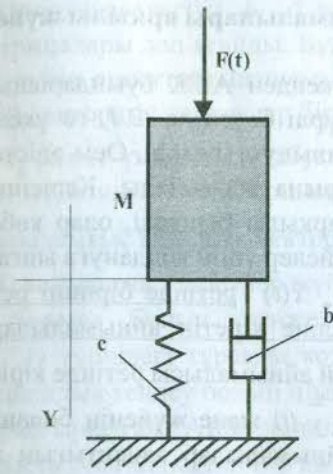
Лаплас түрлендіруінің кейбір маңызды түрлері.

$f(t)$	$F(s)$
Қадамдық функция, $u(t)$	$\frac{1}{s}$
e^{-at}	$\frac{1}{s+a}$
$\sin(\omega t)$	$\frac{\omega}{s^2 + \omega^2}$
$\cos(\omega t)$	$\frac{s}{s^2 + \omega^2}$
t^n	$\frac{n!}{s^{n+1}}$
${}^{(k)}(t) = \frac{d^k f(t)}{dt^k}$	$s^k F(s) - s^{k-1} f(0^-) - s^{k-2} f'(0^-) - \dots - f^{(k-1)}(0^-)$
$\int_{-\infty}^t f(t) dt$	$\frac{F(s)}{s} + \frac{1}{s} \int_{-\infty}^0 f(t) dt$
Импульстік функция, $\delta(t)$	1
$e^{-at} \sin(\omega t)$	$\frac{\omega}{(s^2 + a^2) + \omega^2}$
$e^{-at} \cos(\omega t)$	$\frac{(s+a)}{(s^2 + a^2) + \omega^2}$

$\frac{1}{\omega} [(\alpha - a)^2 + \omega^2]^{-\frac{1}{2}} e^{-at} \sin(\omega t + \phi),$ $\varphi = \arctg \frac{\omega}{\alpha - a}$	$\frac{s + \alpha}{(s + a)^2 + \omega^2}$
$\frac{\omega_n}{\sqrt{1 - \xi^2}} e^{-\xi \omega_n t} \sin(\omega_n \sqrt{1 - \xi^2} t), \xi < 1$	$\frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\xi \omega_n s + \omega_n^2}$
$\frac{1}{a^2 + \omega^2} + \frac{1}{\omega \sqrt{a^2 + \omega^2}} e^{-at} \sin(\omega t - \phi)$ $\varphi = \arctg \frac{-\omega}{a}$	$\frac{1}{s[(s + a)^2 + \omega^2]}$
$1 - \frac{1}{\sqrt{1 - \xi^2}} e^{-\xi \omega_n t} \sin(\omega_n \sqrt{1 - \xi^2} t + \phi)$ $\varphi = \arctg \xi, \xi < 1$	$\frac{\omega_n^2}{s(s^2 + 2\xi \omega_n s + \omega_n^2)}$
$\frac{\alpha}{a^2 + \omega^2} + \frac{1}{\omega} \left[\frac{(\alpha - a)^2 + \omega^2}{a^2 + \omega^2} \right]^{-\frac{1}{2}} e^{-at} \sin(\omega t + \phi),$ $\varphi = \arctg \frac{\omega}{\alpha - a} - \arctg \frac{-\omega}{a}$	$\frac{(s + \alpha)}{s[(s + a)^2 + \omega^2]}$

2.4-мысал.

Лаплас түрленуінің қолданылуын көру үшін мысал қарастырайық. 2.12-суретте вибро жүйенің моделі көрсетілген. M массалы дене диссипативті коэффициенті b бар демпферден және c қаттылығы бар серіппеден тұратын виброқорғаушы құрылғысында орналасқан.



2.12-сурет. Есептелінетін модель

Жүйеге кіріс әсер ретінде ауыспалы күш $F(t)$, ал шығыс айнымалы ретінде m массалы дененің тепе-теңдік күйінен орын ауысуы $y(t)$ болып табылады.

Жүйе қозғалысының дифференциалды теңдеуі мына түрге ие:

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} + b \frac{dy}{dt} + cy = F(t)$$

Айталық, уақыттың бастапқы мезгілінде $y(0) = 0, \frac{dy(0)}{dt} = 0$ болсын.

$y(t)$ және $F(t)$ функцияларына Лаплас түрлендіруін қолданып мынаны аламыз:

$$m \left[s^2 y(s) - sy(0) - \frac{dy(0)}{dt} \right] + b[sy(s) - y(0)] + cy(s) = F(s).$$

Бастапқы шарттарды ескеріп мына теңдікке ие боламыз:

$$ms^2 y(s) + bsy(s) + cy(s) = F(s)$$

Осыдан теңдіктен жүйенің кешендік беріліс функциясы мына түрде шығады:

$$W(s) = \frac{y(s)}{F(s)} = \frac{1}{ms^2 + bs + c}.$$

2.5. Күй айнымалылары арқылы жүйені сипаттау

Жоғарыда көрсеткендей АБЖ буындарының құрастырушыларының табиғаты әртүрлі болса да (2.1)-ге ұқсас дифференциалды теңдеулермен сипатталынуы мүмкін. Осы әдістерді әдетте жүйенің сыртқы сипаттамаларына жатқызады. Керісінше, ішкі сипаттама күй айнымалылары арқылы беріледі, олар көбінесе бірнеше кіріс және шығысы бар жүйелер үшін қолдануға ыңғайлы. Айталық жүйе күйінің айнымалысы $\bar{x}(t)$ ретінде бірінші ретті туындысы АБЖ математикалық моделіне кіретін айнымалылар жиынын алайық.

Басқаша айтқанда, күй айнымалысы ретінде кіріс әсермен $\bar{u}(t)$ қатар шығыс айнымалысы $\bar{y}(t)$ және жүйенің болашақ күйін анықтауға мүмкіндік беретін айнымалылар жиынтығын айтуға болады. Күй айнымалысы арқылы белгіленген жүйенің математикалық моделі компьютерлік талдауға ыңғайлы болып келеді.

Айталық, сызықты жүйе n – күй айнымалысынан құралған $\bar{x}(t) = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ күй векторымен сипатталсын. Жүйенің кірісіне кіріс басқарушы сигналдар $\bar{u}(t) = (u_1, u_2, \dots, u_r)^T$ түседі. Онда жүйе төменде берілген векторлық түрдегі келесі күй теңдеуімен сипатталады:

$$\frac{d\bar{x}}{dt} = \bar{a} \cdot \bar{x} + \bar{b} \cdot \bar{u} \quad (2.17)$$

мұндағы, \bar{a} және \bar{b} – тұрақты коэффициенттерден құрылған матрицалар, олар мына түрде болады:

$$\bar{a} = \begin{pmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix}, \quad \bar{b} = \begin{pmatrix} b_{11} & \dots & b_{1r} \\ \dots & \dots & \dots \\ b_{n1} & \dots & b_{nr} \end{pmatrix}$$

(2.17) теңдігінен басқа қарастырылған жүйе үшін келесі матрицалық теңдікті жазуға болады:

$$\bar{y} = \bar{c} \cdot \bar{x} + \bar{d} \cdot \bar{u}. \quad (2.18)$$

Мұндағы $\bar{y} = (y_1, \dots, y_p)^T$ – шығыс шамалар векторы. Тұрақты шама матрицалары мына түрде болады:

$$\bar{c} = \begin{pmatrix} c_{11} & \dots & c_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ c_{p1} & \dots & c_{pn} \end{pmatrix}, \quad \bar{d} = \begin{pmatrix} d_{11} & \dots & d_{1r} \\ \dots & \dots & \dots \\ d_{p1} & \dots & d_{pr} \end{pmatrix}$$

(2.17) және (2.18) теңдеулердегі \bar{a} , \bar{b} , \bar{c} матрицаларды жүйенің параметрлерінің матрицалары деп атайды. Бұл матрицалардың элементтері АБЖ ішкі күйін сипаттайтын шамалар болып табылады. Екі (2.17) және (2.18) векторлық теңдеулер бір уақытқа $t = t_0$ шешім тауып кез келген $t > t_0$ уақыт үшін $\bar{x}(t)$ табуға, яғни жүйенің болашақ күйін болжауға, мүмкіндік береді, сонымен қатар, осы екі векторлық теңдеу арқылы шығыс шамалар векторы $\bar{y}(t)$ анықталады.

(2.17) және (2.18) векторлық теңдеулер жүйелерінен \bar{x} векторын шығарып тастауға болады. Бұның нәтижесіндегі теңдеу «кіріс-шығыс» түрленуі (2.1) түріндегі тұрақты коэффициенті n – ретті сызықты дифференциалдық теңдеу болып шығады.

Бұдан бері қарастырылған АБЖ сипаттаулары бір-бірімен өзара тығыз байланыста болғандықтан бір сипаттаудан басқаларын жеңіл табуға болады. Мысалы, АБЖ күйі айнымалылар арқылы сипатталған болса, онда АБЖ кешенді беріліс функциясын $W(s)$ мына теңдеумен табуға болады

$$W(s) = \bar{c} (sE - \bar{a})^{-1} \bar{b},$$

мұндағы, s – Лаплас операторы, ал E – бірлік матрицасы.

2.5-мысал

Ілгерлемелі қозғалыстағы дененің мысалы үшін (2.1-мысал) $n=2$ болсын. Бірінші туындысы (2.17) теңдеуіне кіретін күй айнымалы ретінде $x_1=z$; $x_2=v$; векторлық түрде $\bar{x} = (z, v)^T$ болып келеді. Кіріс әсер ретінде күш болады, демек $\bar{u} = (u) = F$, $r=1$. Шығыс сигнал дифференциалды теңдеудің оң бөлігіне кірмейді. Демек $\bar{y} = (y) = z$, $p=1$.

Жүйенің параметрлерінің матрицасын құрастыру үшін екі (2.17) және (2.18) түрдегі дифференциалдық теңдеулерін ашып жазамыз:

$$\frac{dz}{dt} = a_{11}z + a_{12}v + b_{11}F;$$

$$\frac{dv}{dt} = a_{21}z + a_{22}v + b_{21}F;$$

$$z = c_{11}z + c_{12}v.$$

Бұдан моделдің параметр матрицаларын аламыз:

$$\bar{a} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad \bar{b} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1/m \end{pmatrix}, \quad \bar{c} = (1 \ 0), \quad \bar{d} = 0.$$

Енді күй теңдеуін матрицалық түрде алуға болады:

$$\frac{dx}{dt} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \cdot x + \begin{pmatrix} 0 \\ m^{-1} \end{pmatrix} \cdot u;$$

$$y = (1 \ 0) \times x.$$

Осыған ұқсас айналмалы қозғалыстағы дененің динамикалық моделін (2.2-мысал) қарастырсақ, күй айнымалысының саны $n=2$, кіріс әсерлер саны $r=1$, шығыс сигналдар саны $p=1$ болады. Күй айнымалысы $x=(j, w)^T$; $u=M_z y=j$ бізге белгілі болсын.

Күй теңдеуі матрицалық түрде мына түрге ие:

$$\frac{dx}{dt} = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \cdot x + \begin{pmatrix} 0 \\ J_z^{-1} \end{pmatrix} \cdot u;$$

$$y = (1 \ 0) \times x.$$

RC тізбегі үшін (2.3-мысал) күй айнымалысының саны $n=2$, яғни $x=(x_1, x_2)^T$; $x_1=U_0$; $x_2=q$. Кіріс әсерлер саны ($r=1$), $u=(u_1)=U_1$. Мұнда кіріс әсер ретінде кіріс кернеу таңдалынған. Шығыс әсер $y=(U_0)$, $p=1$ болып табылады.

Күй теңдеуін ашып жазайық:

$$\frac{dU_0}{dt} = a_{11}U_0 + a_{12}q + b_{11}U_1,$$

$$\frac{dq}{dt} = a_{21}U_0 + a_{22}q + b_{21}U_1.$$

Енді модель көрсеткіштерінен құрылған матрицаны жазуға болады:

$$\bar{a} = \begin{pmatrix} -\frac{1}{T} & 0 \\ -\frac{1}{R} & 0 \end{pmatrix}, \quad \bar{b} = \begin{pmatrix} \frac{1}{T} \\ \frac{1}{R} \end{pmatrix}, \quad \bar{c} = (1 \ 0), \quad \bar{d} = 0.$$

2.6. Басқарылыну және бақылану

Күй айнымалыларының n – өлшемді кеңістігінде жүйенің әр күйіне x_i ($i = 1, 2, \dots, n$) айнымалылар мәндерімен анықталатын бейнелейтін нүктенің қайсыбір орны сәйкес келеді.

Айталық, күй кеңістігінде \bar{x} екі жиынтық $G_1 \subset x$ және $G_2 \subset \bar{x}$ берілсін. Егер шектелген уақыт аралығында $0 < t < T$ анықталған және бейнеленетін x_i нүктені G_1 аймағынан G_2 аймағына ауыстыратын $u=(u_1, u_2, \dots, u_p)^T$ басқару болса, онда қарастырылып отырған жүйе басқарылынатын болып келеді.

Егер шығыс координатаның векторын $y=(y_1, \dots, y_p)^T$ құрастыруда \bar{x} күй айнымалылар векторының барлық құрастырушылары қатысса, онда жүйе бақыланатын деп аталынады. Егер \bar{x} векторының бірде бір құраушысы жүйенің шығысының y пайда болуына әсер етпесе, онда мұндай жүйелер бақыланбайтын болады.

Жүйенің басқарылынатын және бақыланатындығын талдау сәйкес басқарылыну және бақылану матрицаларын қолданып немесе басқарылыну және бақылану грамианаларын жүргізеді. Жоғарыда анықталған \bar{a} , \bar{b} , \bar{c} жүйенің параметрлерінің матрицаларын қолданып мына екі қосалқы матрицаларды құрастырайық:

$$R = [\bar{b}, \bar{a}\bar{b}, \dots, \bar{a}^{n-1}\bar{b}], \quad D = [\bar{c}, \bar{c}\bar{a}, \dots, \bar{c}\bar{a}^{n-1}].$$

R және D матрицалар сәйкесінше басқарылыну және бақылану матрицалары деп аталады. MATLAB бағдарламасында осы матрицаларды `ctrb` және `obsv` командалармен құрастыруға болады.

Жоғарыда (2.17) және (2.18) теңдеулермен сипатталған АБЖ басқарылатын болу үшін басқарылыну матрицасының рангы керекті және жеткілікті түрде толық болып n -ге тең болуы $\text{rank}R = n$ керек.

Ал АБЖ бақыланатын болу үшін бақылану матрицаның рангы керекті және жеткілікті түрде толық болып n -ге тең болуы $\text{rank}D = n$ керек.

Тек бір ғана кірісі мен шығысы бар АБЖ басқарылыну және бақылану матрицалар шаршы болады, сондықтан, басқарылу және бақылануды тексеру үшін R және D матрицаларының анық-

тауыштарын табу жеткілікті. Егер олар 0-ге тең болса, онда матрицаның толық рангы болады.

Бақылау сұрақтары:

1. Түрлендіру операторына (ТО) түсініктеме беріңіз.
2. АБЖ дифференциалды тендеуіндегі қандай айнымалыларды толассыз деп атайды? Мысал келтіріңіз.
3. АБЖ дифференциалды тендеуіндегі қандай айнымалыларды салыстырмалы деп атайды? Мысал келтіріңіз.
4. Толассыз және салыстырмалы айнымалылар арқылы дифференциалдық тендеуді жазыңыз.
5. АБЖ және кез келген элементтің «кіріс-шығысын» бейнелейтін жалпы жағдайдағы тәуелділігін жазыңыз.
6. Сипаттаушы тендеудің мысалын келтіріңіз.
7. Біртекті ДТ жалпы шешімі қандай түрде болады?
8. ДТ операторлық түрде жазыңыз.
9. Операторлы беріліс функциясы қандай түрде болады?
10. Жүйенің анализі және синтезінің тізбектілігі қандай?
11. Бейсызықтық дифференциалдық тендеулерге келтіретін себептер қандай?
12. Қандай жағдайларда нақты қателіктері бар сызықты емес тендеулерді сызықтыға ауыстыруға болады?
13. Сызықты емес тендеулерді сызықтандыру тізбегін келтіріңіз.
14. Лаплас түрлендіруін қолданудың артықшылықтары.
15. Лаплас бойынша түрлендірудің өрнегін келтіріңіз.
16. Лаплас бойынша кері түрлендірудің өрнегін келтіріңіз.
17. Кешенді беріліс функциясының өрнегін келтіріңіз.
18. Жүйенің күй айнымалысына анықтама беріңіз.
19. Күй векторының өрнегін келтіріңіз.
20. АБЖ күй тендеуін жазыңыз.
21. Қандай АБЖ бақыланатын деп аталады?
22. Қандай АБЖ басқарылатын деп аталады?
23. Бақыланудың керекті және жеткілікті шартын келтіріңіз.

3-ТАРАУ. АБЖ ЖҰМЫС ЖАСАУЫН БАҒАЛАУ

3.1. Статикалық қасиеттерді бағалау

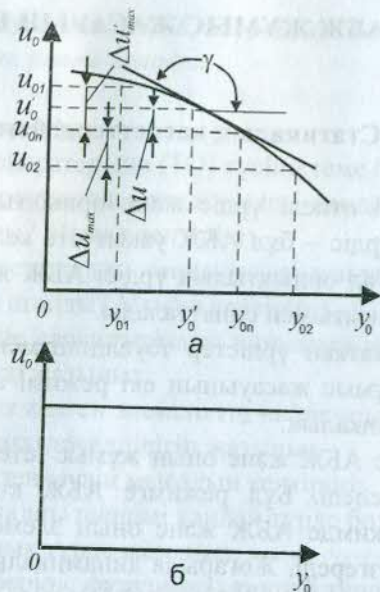
АБЖ үрдістері өтпелі үрдіс және орнықтылық үрдісі болып бөлінеді. Өтпелі үрдіс – бұл АБЖ уақыт өте келе бір күйден екінші күйге өтуімен, ал орнықтылық үрдісі АБЖ жұмыс шарты және сыртқы әсерлер уақытымен сипатталады.

АБЖ болып жатқан үрдістер тәуелділігімен АБЖ және оның элементтерінің жұмыс жасауының екі режимі анықталады: статикалық және динамикалық.

Өтпелі үрдіске АБЖ және оның жұмыс істеуінің динамикалық режимі сәйкес келеді. Бұл режимге АБЖ көп уақыт бөлінеді. Динамикалық режимде АБЖ және оның элементтерінің мөлшері уақыт бойынша өзгереді. Жоғарыда динамикалық режимде дифференциалдық n -ші тендеуі түріндегі (2.1) немесе күй тендеуі (2.17, 2.18) түріндегі АБЖ математикалық моделі келтірілген.

Керісінше, АБЖ орнықтылық үрдісіне уақыт бойынша өзгермейтін АБЖ күйін сипаттайтын көлем кезіндегі жұмыс істеудің статикалық режимі сәйкес келеді. АБЖ статикалық (орнықтылық) режимінде бағалау үшін басқарудың дәлдігі деп аталатын көрсеткіш қолданылады. Бұл көрсеткіш АБЖ статикалық сипаттамасында анықталады. АБЖ статикалық сипаттамасы тұрақты қозу кезінде u_0 – кіріс параметрінен y_0 – шығыс параметрінің орнықтылық мәніне тәуелділігін немесе кіріс параметрі тұрақты болған кезде f – козуынан орнықты режимде y_0 – шығыс параметрі тәуелділігін ұсынады. АБЖ статикалық тендеуі $F(y_0, u_0)_{f=const} = 0$ немесе мына түрде $G(y_0, f)_{u=const} = 0$ болады. Жалпы жағдайда тендеу бейсызықты болуы мүмкін. Элементтердің статикалық сипаттамаларын немесе АБЖ екінші тендік бойынша құрылған элементтерді түгелдей қарастырамыз (3.1-сурет).

Егер жүйедегі қателіктің орнықты мәндері f әсердің орнықты мәндеріне тәуелді болса, онда жүйені статикалық (3.1 а-сурет), ал егер тәуелді болмаса, онда астатикалық (3.1 б-сурет) деп атайды.



3.1-сурет. Статикалық және астатикалық жүйелердің статикалық сипаттамалары

Жүйенің статикалық қасиеті статизм деп аталынатын салыстырмалы статикалық қателікпен және статикалық қателіктің абсолютті мәндерімен бағаланады. Статикалық қателіктің абсолютті мәні (3.1а-сурет) мынау

$$\Delta y = |y_0^i - y_{0n}|,$$

мұндағы, y_0^i – әсерінің i мәні кезінде шығыс көрсеткіштің орнықты мәні. $y_{0n} = f_{0n}$ номиналды жүктемесі кезінде статикалық режимдегі шығыс көрсеткіштің номиналды мәні. Осыдан шығыс көрсеткіштердің номиналды мәндері шығыс көрсеткіштердің максималды y_{01} және минималды y_{02} нақты орташа арифметикалық мәндері ретінде анықталады.

$$y_{0n} = \frac{y_{01} + y_{02}}{2}$$

Бұл жағдайда статикалық қателіктің максималды мәні мынадай:

$$\Delta y_{\max} = |y_{01} - y_{0n}| = |y_{02} - y_{0n}|.$$

Жүйенің салыстырмалы статикалық қателігі немесе статизмі мынаған тең:

$$S = \frac{|y_{02} - y_{01}|}{y_{0n}} = \frac{2\Delta y_{\max}}{y_{0n}}.$$

Сондай-ақ, статизмді статизм коэффициентімен χ сипаттауға болады, ол статикалық сипаттаманың көлбеу бұрышының тангенсіне $\chi = \operatorname{tg} \gamma$ тең (3.1 а-сурет).

Орнықты режимдегі АБЖ тиімділігін автоматтандырылмаған басқару нысанның (реттегішсіз) абсолютті статикалық қателігінің автоматты жүйесінің абсолютті статикалық қателігіне қатынасына тең дәлдік дәрежесімен бағалайды.

Кейбір жағдайларда статикалық қателік қажет емес, ол кездерде жүйе астатикалық реттегішке өтеді немесе қоздырудың орнын толтыратын әсерлерді енгізеді.

Астатикалық реттегіш үшін кіріс және шығыс параметрлер арасында байланысты жою қажет, бұл үшін, мысалы, келесі тарауда көрсетілетін интегралдаушы буын сипатында тандалуы мүмкін болатын астатикалық буын жүргізіледі (4.4-тарау).

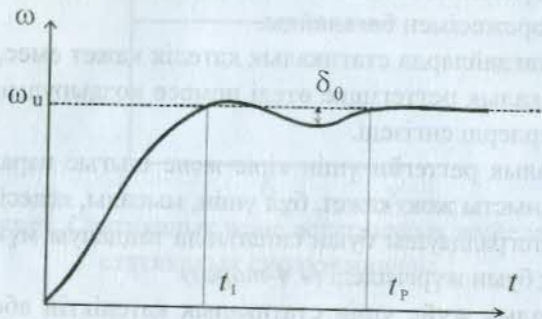
Астатикалық жүйе үшін статикалық қателіктің абсолютті мәні және статизм коэффициенті нөлге тең, ал дәлдік дәрежесі шексіздік.

3.2. Жүйенің динамикалық қасиетін бағалау

АБЖ жұмыс жасау кезінде АБЖ және элементтердегі динамикалық үрдістер орнықты және өтпелі болып бөлінеді. 3.2-суретте басқарылатын қозғалтқыштың бұрыштық жылдамдығы өзгерісінің диаграммасы көрсетілген. Қозғалтқышты қосқаннан кейін өтпелі үрдіс бақыланады, бұл графикалық түрде екпін алу қисығы ретінде көрсетіледі. Диаграммада көрсетілгендей t_p – екпін алу уақытының қандай да бір уақыт аралығында қозғалтқыштың бұрыштық жылдамдығы екпін алу қисығы бойынша өзгере отырып ω_u – орнықты мәнге жетеді. Содан кейін орнықты үрдіс байқалады, ол жүйенің жұмыс жасауының басқа да шарттарымен және тұрақты сыртқы әсерлерімен сипатталады. Динамикалық режимде өтпелі үрдістің сапасы келесі көрсеткіштермен сипатталады:

- бірінші келісу уақыты t_1 – яғни, алғашқы бұрыштық ω_u жылдамдыққа жеткен уақытымен;
- қайта реттеумен – d_σ %;
- өтпелі үрдістің уақытымен t_p .

Жалпы алғанда, АБЖ және оның элементтерінің динамикалық режимдегі жұмысын бағалау кезінде өтпелі үрдісте сапа сипаттамаларын, ал орнықты режимде орнықтылық өлшемдерін қолданады. Жоғарыда айтылғандай, орнықтылық – ол орнықты күйде қандай да бір әсер арқылы басқа күйге өзгергеннен кейін өзінің күйіне қайта келу қабілеттілігі.



3.2-сурет. Екпін алу қисығы

Басқару үрдісінің сапасы басқару үрдісі қажеттіге қаншалықты жақын екенімен сипатталады. Сандық түрде ол басқару мақсатына сәйкес анықталатын сапа өлшемдерімен анықталады. Келтірілген мысалда үрдіс сапасы орнықты режимдегі үрдістің тербелісімен, берілген мәннен бұрыштық жылдамдықтың ауытқуымен және тағы басқаларымен анықталады. Автоматикалық жүйенің динамикалық қасиетін бағалау үшін жоғарыда көрсетілген аналитикалық сипаттамаларды қолданамыз. Осыдан алынған шешімдер және қорытындылар әртүрлі түрдегі кіріс әсерлерден басқаша болады. Сондықтан, бірінші кірістік әсерлердің қандай түрін таңдау керек екендігін шешу керек.

Біріншіден, әсер жүйенің жұмысының оны пайдалану кезінде кездесетін ауыр режиміне сәйкес келу керек. Екіншіден ол барынша қарапайым болуы керек, яғни шешімді қиындатпауы тиіс. Осы шарттармен екі түрдегі әсерлер қанағаттанады: бірлік секіріс функциясы (бірлік секіру) және бірлік импульсі. АБЖ және элементтерінің

динамикасын бағалау үшін автоматты басқару теориясында өтпелі үрдісте өтпелі функцияны бірлік секіріске жүйенің реакциясы ретінде және импульсті өтпелі функциясын бірлік импульске жүйе реакциясы ретінде қолданады. Өтпелі және импульсті өтпелі функцияны кіріс шамалары бірлік секірісті және бірлік импульсті болған жағдайларда бастапқы нөлдік шарттармен дифференциалдық теңдеулерді шеше отырып алуға болады.

3.3. АБЖ сапалық сипаттамалары

3.3.1. Уақыттық сипаттамалар

Басқару жүйесін талдау кезінде шешілетін негізгі есеп АБЖ жүрісінің қасиетін санды түрде бағалау және анықтау болып келеді. Осы есептерді автоматика элементтерінің сипаттамаларын таңдау арқылы және буындарды өзара әртүрде қосу арқылы шешеді. АБЖ анализінің есебін шешуде талап етілген жүйенің сипаттамасын қамтамасыз ететін, автоматика элементтерінің және олардың өзара байланыстарын таңдау есепке алынады. Басқару жүйесінің анализі және синтезі төменде келтірілген үш негізгі есептерді шешуге әкеліп соғады:

- автоматты басқару жүйесінің сапалы сипаттамаларын табу;
- амплитуданы төмендететін тербеліс арқылы немесе жүйені байсалды түрде берілген күйге қайтару кезіндегі орнықтылық шартын анықтау;
- АБЖ жұмысының орнықты режимінде кателерді табу және жою.

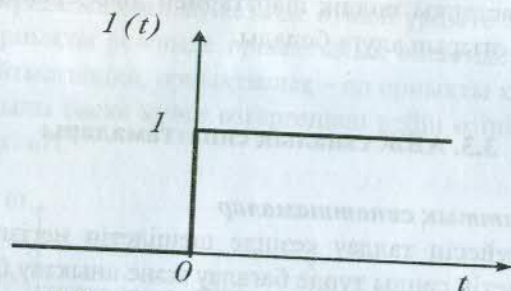
Жоғарыда динамикалық режиміндегі АБЖ кейбір сапа көрсеткіштері келтірілген. Белгілеп көрсеткеніміздей, кіріс сигналының секіріс тәрізді өзгерісі өтпелі үрдіс бағалауы үшін қолданылады. Бірлік секіріске жүйенің реакциясын өтпелі функция деп атайды. Айталық, кіріс сигналының бірлік секірісі (сатылы функция) мына түрде болсын:

$$x(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \text{ кезінде} \\ 1, & t \geq 0 \text{ кезінде} \end{cases} \quad (3.1)$$

Сатылы бірлік функциясының сұлбасы 3.3-суретте келтірілген.

Лаплас түрленуін (2.16) қолдана отырып, шығыс сигналы (жүйе реакциясы) және бірлік секірістің кірісі (3.1) арасындағы байланысты келесі түрде жазамыз:

$$H(s) = W(s) U(s). \quad (3.2)$$



3.3-сурет. Бірлік сатылы функция

Лаплас түрленуінің кестесін қолдана отырып $X(s) = 1/s$ аламыз. $h(t)$ өтпелі функциясының $H(s)$ бейнесін (3.2)-ден анықтаймыз:

$$H(s) = W(s)/s. \quad (3.3)$$

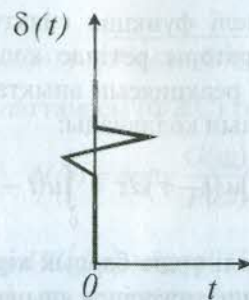
Кез келген кіріс әсер үшін кешенді беріліс функциясын (2.5) теңдігінің оң бөлігінен анықтауға болады, сонда

$$H(s) = \frac{B(s)}{s \cdot A(s)}. \quad (3.4)$$

Сәйкесінше, берілген АБЖ өтпелі функциясын кез келген сигналға жүйенің реакциясын анықтау үшін қолдануға болады. Расында, (2.16) теңдігіне (3.3) теңдігіндегі $W(s)$ өрнегін қоя отырып келесіні аламыз:

$$Y(s) = sH(s)U(s). \quad (3.5)$$

Өтпелі функция $H(s)$ автоматты басқару жүйесінің қандай да бір уақыттық сипаттамасы болып табылады және кіріс функциясының шығыс функциясына түрлендіру операторын көрсетеді. $H(s)$ функциясының өзгерісін басқару кезінде жүйенің берілген тәртібімен алуға болады.



3.4-сурет. Импульсті функция

Бірлік импульсті функция немесе дельта функция δt – бұл қысқа импульстік функциясының математикалық нұсқауы болып табылады. Бірлік импульстің (3.4-сурет) нөлге тең импульс ұзақтығында және биіктігі шексіздікке тең болғанда көлемі бірге тең болады.

Осы функция бірлік секірісімен қатар кіріс сигналы ретінде қолданылады. Аналитикалық түрде дельта функция келесі түрде жазылады:

$$\delta(t) = \begin{cases} \infty, & t = 0 \text{ кезінде} \\ 0, & t \neq 0 \text{ кезінде} \end{cases}$$

Анықтамаға сәйкес

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \delta(t) dt = 1.$$

Дельта функция және бірлік секіріс функциясы арасындағы байланыс келесі өрнекпен анықталады:

$$\delta(t) = I'(t)$$

Егер элементтің немесе жүйенің кірісіне дельта функция $u(t) = \delta(t)$ әсер етсе, онда $y(t) = w(t)$ шығыс функция түріндегі реакцияны салмақтылық функциясы немесе импульсті өтпелі сипаттама деп атайды.

$h(t)$ және $w(t)$ функциялары АБЖ уақыттық сипаттамасына жағдай және олар келесі қатынаспен байланысқан:

$$w(t) = h'(t).$$

Сонымен қатар, өтпелі функция сияқты салмақтылық функциясын түрлендіру операторы ретінде қолданады және оны кез келген әсердегі жүйенің реакциясын анықтауда қолдануға болады. Ол үшін үйірткі интегралын қолданады:

$$y(t) = \int_0^{\infty} u(\tau) \bar{w}(t - \tau) d\tau = \int_0^{\infty} u(t - \tau) \bar{w}(\tau) d\tau.$$

Сонымен, толық өтпелі үрдіс барлық кіріс әсерлердің реакцияларының қосындысының нәтижесінен алынады.

3.3.2. Жиілік сипаттамалары

Уақыттық сипаттамалармен қатар жүйенің сапалы анализіне жиіліктік сипаттамасын қолданады. Берілген жағдайда сызықты жүйеге еркін диапазонда өзгеретін a , амплитуда және ω жиілігімен гармоникалық кіріс әсерлер әсер етеді.

$$x = a_i \sin(\omega t) \quad (3.6)$$

Сызықты автоматты басқару жүйелерінде орнықты реакция гармоникалық тәуелділік бойынша өзгеріске түседі.

Жиіліктік сипаттамалар көмегімен АБЖ анализі үшін (2.1) дифференциалды теңдеу жүйесіндегі тік Фурье түрлендіргіші қолданылады:

$$\Phi\{f(t)\} = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{j\omega t} dt$$

Сонымен қатар, жиіліктік түрлендіргіш үшін ресми түрде s -ті $j\omega$ -ға ауыстырып, Лапласстың екі жақты түрлендіргішін қолдануға болады.

Жиіліктік беріліс функциясын $W(s)$ кешенді БФ үшін s -ті $j\omega$ -ға ауыстыра отырып жәй ғана алуға брлады (2.16), онда:

$$W(j\omega) = A(\omega) e^{j\varphi(\omega)} = P(\omega) + jG(\omega) \quad (3.7)$$

Мұндағы $A(\omega)$, $\varphi(\omega)$ – сәйкесінше, жүйенің амплитуда – жиіліктік және фаза – жиіліктік сипаттамалары деп аталады. $P(\omega)$, $G(\omega)$ – нақты және жорамал жиілікті сипаттамалар. Функция годографы $W(j\omega)$ амплитуда-фазалы-жиілікті сипаттамасын (АФЖС) көрсетеді.

Амплитуда – жиілікті сипаттамасы (АФЖ) келесі өрнектен анықталады:

$$A(\omega) = \sqrt{P^2(\omega) + G^2(\omega)} \quad (3.8)$$

Фазалы жиілікті сипаттамасы (ФЖС) төмендегідей анықталады:

$$\phi(\omega) = \arctg \frac{G(\omega)}{P(\omega)} \quad (3.9)$$

Сонымен, $A(\omega) = \text{mod } W(j\omega)$ модулі (3.8) амплитудалы жиілікті функция болып келеді, ал оның графигі амплитудалы жиілікті сипаттама болады.

$\varphi(\omega) = \text{arg } W(j\omega)$ (3.9) аргументі фазалы жиілікті функция, ал оның графигі фазалы жиілікті сипаттама болып келеді.

Орнықты жүйелердің гармоникалық әсерлері кезінде өтпелі үрдіс аяқталғаннан кейін шығыс шама басқа амплитудамен және фазамен гармоникалық заң бойынша өзгереді. Осы кезде шығыс және кіріс амплитудаларының қатынастарының мәндері $A(\omega)$ модуліне тең, ал фазаның ығысуы жиілікті беріліс функциясының аргументіне $\varphi(\omega)$ тең болады және сәйкесінше, амплитуда жиіліктік сипаттама амплитуда қатынастарын, ал фазалы жиілікті сипаттама кіріс гармоникалық әсердің жиілігіне тәуелді кіріске қатысты шығыс шамалардың фаза ығысуын көрсетеді.

Жиілікті тәсілдердің артықшылығы, күрделі аналитикалық есептер жүргізбестен эксперименталды жолмен жиілікті сипаттамаларды алу мүмкіндігі болып табылады.

Енді АЖС және ФЖС арасындағы байланысқа көңіл аударайық. Минималды фазалы деп аталынатын кейбір буындар үшін $A(\omega)$ және $\varphi(\omega)$ функциялары арасында байланыс бар екендігін Г. В. Боде дәлелдеген. Жалпы жағдайда, минималды фазалы деп беріліс функциясының барлық полюстері және нөлдерінде теріс немесе нөлге тең нақты бөліктері бар буындарды айтады. Минималды фазалы буындар орнықты болып келеді.

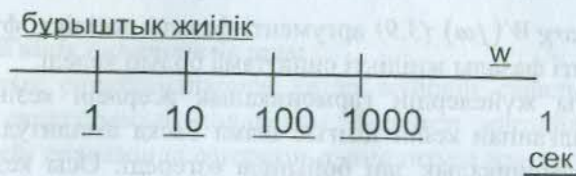
АЖС логарифмді масштабта децибилде (дБ) көрсету ыңғайлы. Сол кезде, логарифмді амплитудалы жиілікті сипаттаманы (ЛАЖС) келесі өрнектен табылады:

$$L = (w) = 20 \lg A(\omega) \quad (3.10)$$

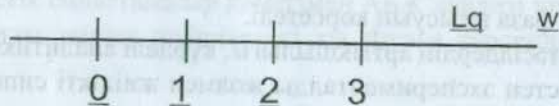
Атап өту керек, Бел қуатты он еселі көбейтуге сәйкес келетін логарифмдік бірлікті ұсынады.

Графикалық кескінде ЛАЖС жиіліктерді логарифмдік масштабта абсцисса осі бойына c^{-1} немесе Гц өлшемімен орналастырамыз. Жиілік диапазоны октава және декадаға бөлінеді. Октава – бұл бір-бірінен 2 есеге өзгеше болатын, жиіліктер арасында қорытындысы болып табылатын жиілік диапазоны. Декада – 10 есеге өзгешелігі бар жиілік үшін арналған диапазон.

Логарифмді амплитудалы жиіліктік сипаттамалардың артықшылығы күрделі есептеу жұмыстарынсыз көптеген жағдайларда АБЖ синтездеу және анализдеу кезінде графикалық кескіндерді құру мүмкіндігі болып табылады.



Декадалар



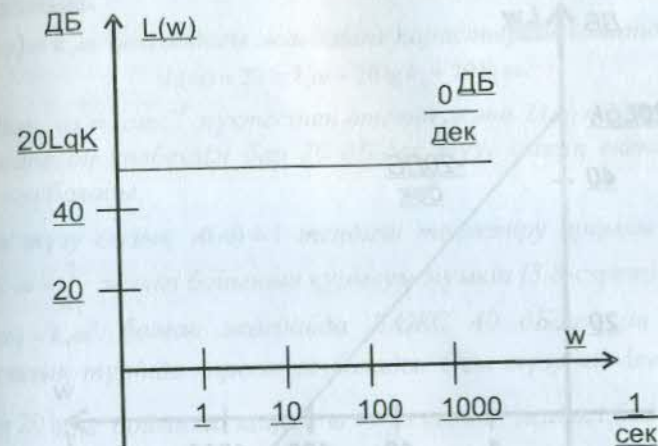
3.5-сурет. ЛАЖС және ЛФЖС абсцисса остері

Бұл артықшылық жиілікті беріліс функциясы көбейткіштер туындысы ретінде ұсынылған жағдайларда көрінеді. Сонда, нәтижелі ЛАЖС жеке көбейткіштерге сәйкес келетін ЛАЖС ординаталарының қосындысымен табылуы мүмкін. Көптеген жағдайларда осындай қосындылар қажет болмайды және нәтижелі ЛАЖС 20 дБ/дек еселі көлбеулі түзу сызық қимасының жиынтығы бар асимптоталы ЛАЖС деп аталынатын сипаттама түрінде салынуы мүмкін.

3.1-мысал

Айталық, жиілікті беріліс функциясының модулі тұрақты санға $A(\omega) = k_0$ тең болсын, сонда

$$L(\omega) = 20 \lg A(\omega) = 20 \lg k_0$$



3.6-сурет. $L(\omega) = 20 \lg k_0$ кезіндегі ЛАЖС сұлбасы

ЛАЖС абсцисса осіне параллель түзу сызық түрінде (3.6-сурет) болып келеді.

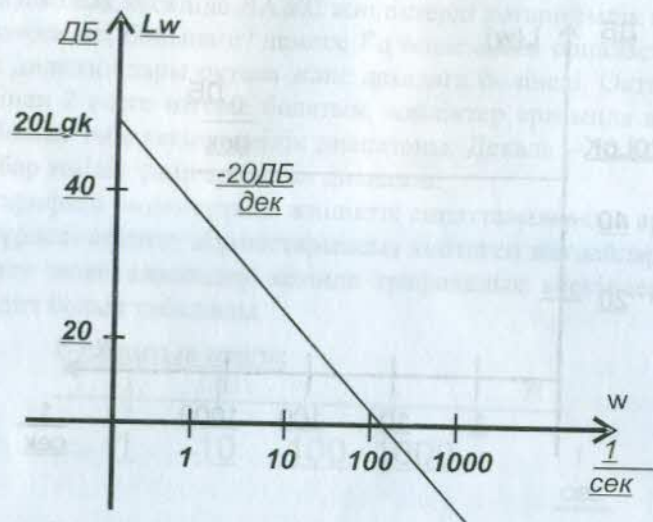
$A(\omega) = \frac{k_1}{\omega}$ болғандағы жағдайды қарастырайық. Сонда

$$L(\omega) = 20 \lg \frac{k_1}{\omega} = 20 \lg k_1 - 20 \lg \omega.$$

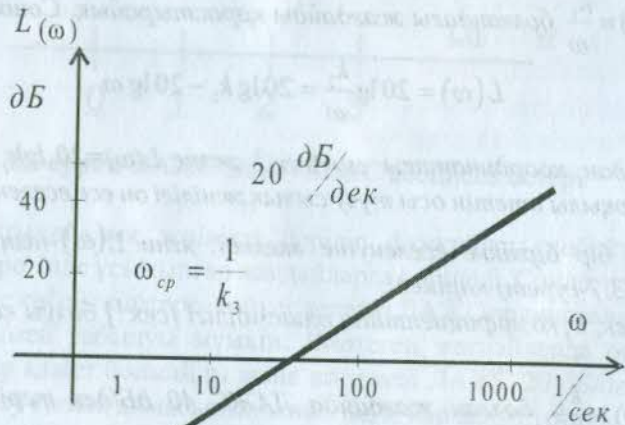
Осыдан, координатасы $\omega = 1 \text{сек}^{-1}$ және $L(\omega) = 20 \lg k_1$ болатын нүкте арқылы өтетін осы түзу сызық жиілігі он есе еселенген сайын $\lg \omega$ -ны бір бірлікке еселенуіне әкеледі, яғни $L(\omega)$ -ның 20 дБ-ға азаюы (3.7-сурет) көрінеді.

Демек, k_1 коэффициентінің өлшемділігі $[\text{сек}^{-1}]$ болуы керек.

$A(\omega) = \frac{k_2}{\omega^2}$ болған жағдайда ЛАЖС 40 дБ/дек теріс көлбеулі түзу сызық түрінде көрсетуге болады. Осы түзу қандай да бір нүкте бойынша құрылуы мүмкін, мысалы, $\omega = 1 \text{сек}^{-1}$ $L(\omega) = 20 \lg k_2$ және нүктелері бойынша немесе $\omega = \sqrt{k_2}$ кесінді жиілігі бойынша.



3.7-сурет. $L(\omega) = 20 \lg \frac{k_1}{\omega}$ кезіндегі ЛАЖС сұлбасы



3.8-сурет. $L(\omega) = 20 \lg k_3 \omega + 20 \lg \omega$ ЛАЖС сұлбасы

Демек, бұл жағдайда k_3 коэффициентінің өлшемділігі [сек⁻²] болуы керек.

3.2-мысал.

$A(\omega) = k_3 \omega$ болғандағы жағдайды қарастырайық. Сонда $L(\omega) = 20 \lg k_3 \omega = 20 \lg k_3 + 20 \lg \omega$.

Бұдан, $\omega = 1 \text{сек}^{-1}$ нүктесінен өтетін және $L(\omega) = 20 \lg k_3$ болатын және оң көлбеулігі бар 20 дБ/дек түзу сызық екенін бірден байқау-ға болады.

Бұл түзу сызық $A(\omega) = 1$ теңдігін теңестіру арқылы алынған кесінді $\omega = \frac{1}{k_3}$ жиілігі бойынша құрылуы мүмкін (3.8-сурет).

$A(\omega) = k_4 \omega^2$ болған жағдайда ЛАЖС 40 дБ/дек оң көлбеулі түзу сызық түрінде көрсетуге болады. Осы түзу $\omega = 1 \text{сек}^{-1}$ және $L(\omega) = 20 \lg k_4$ бойынша немесе $\omega = \frac{1}{\sqrt{k_4}}$ кесінді жиілігі бойынша құрылуы мүмкін.

Бақылау сұрақтары:

1. АБЖ-да қандай екі жұмыс режимі ажыратылады?
2. Статикалық режимнің ерекшелігі неде?
3. Статикалық қателіктің абсолютті мәні қалай анықталынады?
4. Статикалық қателіктің максималды мәні қалай анықталынады?
5. Салыстырмалы статикалық қателік немесе статизм қалай анықталады?
6. Динамикалық режимнің ерекшелігі неде?
7. Орнықты режимдегі АБЖ дәлдік дәрежесі нені сипаттайды?
8. Қандай үрдіс өтпелі деп аталынады?
9. Қандай үрдіс орнықты деп аталынады?
10. Екпін алу қисығы дегеніміз не?
11. Өтпелі үрдістің сапасы қандай көрсеткіштермен сипатталады?
12. Басқару үрдісінің сапасы қалай анықталады?
13. АБЖ қандай сапа сипаттамалары қолданылады?
14. АБЖ анализдеу және синтездеудің шешімі болатын 3 міндетті (есепті) келтіріңіз.
15. Бірлік секірістегі жүйенің реакциясы қалай аталады?
16. $h(t)$ өтпелі функциясының $H(s)$ бейнесі үшін өрнекті жазыңыз.
17. Бірлік импульстік функция немесе дельта функция $\delta(t)$.
18. Дельта функциясы мен бірлік секіріс функциясы арасындағы байланыс.

19. Жилікті сипаттамаларды алу тәсілдері.
20. $W(j\omega)$ кешенді функциясы үшін өрнек жазыңыз.
21. Амплитудалы жилікті сипаттамаға (АЖС) өрнекті келтіріңіз.
22. Фазалы жилікті сипаттамаға (ФЖС) өрнекті келтіріңіз.
23. Жилікті тәсілдердің артықшылығы неде?
24. Минималды фазалы буынға анықтама беріңіз.
25. Логарифмді амплитудалы жилікті сипаттамаға (ЛАЖС) өрнекті келтіріңіз.

4-ТАРАУ. ТИПТІК ДИНАМИКАЛЫҚ БУЫНДАР ЖӘНЕ АБЖ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ СҮЛБАЛАРЫ

АБЖ құрамына табиғаты әртүрлігіне қарамай бір түрлі дифференциалдық теңдеулермен сипатталатын нысандар кіреді. Осы нысандардың белгілі бір идеализациясы кезінде, алдын-ала белгілі қарапайым түрлендіру операторы (ТО) көмегімен сипаттауға болады. Осындай белгілі түрлендіру операторлары бар нысандар типтік динамикалық буындарға жатады (ТДБ). Типтік динамикалық буындардың келесідей түрлері бар: күшейткіш, бірінші ретті апериодты, тербелмелі, интегралдаушы, дифференциалдаушы, кешігуші буындар, т.б.

Әрбір типтік динамикалық буындар динамика теңдеулерімен, уақыт сипаттамаларымен, беріліс функциялармен және жиліктік сипаттамаларымен сипатталады.

Автоматикада типтік буындар автоматты басқару жүйесінің математикалық моделін алу үшін пайдаланылатын математикалық аппаратты құрайды. Нақты нысандар екінші реттен жоғары дифференциалдық теңдеулермен сипатталуы мүмкін, бірақ ол теңдеулерді екінші реттен жоғары емес теңдеулер жүйесімен алмастыруға болады. Сонымен, кез келген АБЖ типтік динамикалық буындардың жиынтығы түрінде алуға болады.

4.1. Күшейткіш буыны

Күшейткіш буынның (КБ) беріліс коэффициенті k түрлендіру операторы болады.

Динамикалық теңдеуі мына түрге ие:

$$y = ku \quad (4.1)$$

Лаплас түрлендіруінен кейін мынаны аламыз

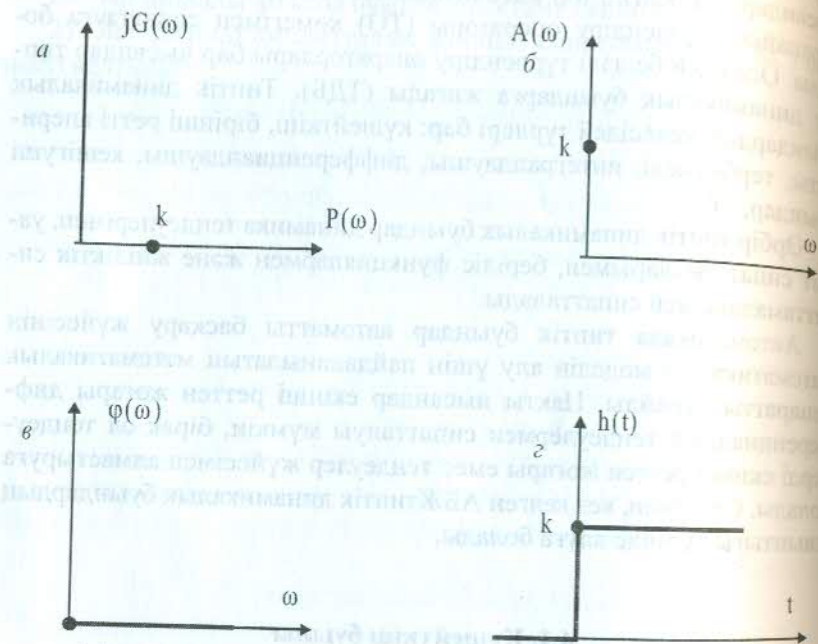
$$Y(s) = kU(s)$$

Сонда, күшейткіш буынның беріліс функциясы тұрақты шамаға тең:

$$W(s) = k$$

Осы буын инерциясыз буын деп аталады. Мұндай буындардың мысалы ретінде механикалық редукторды (k – беріліс қатынасы-

на сәйкес болады), кең жолақты күшейткіштерді (k – күшею коэффициентіне сәйкес болады) және т.б. айтуға болады. Потенциометрлі датчиктер, индукционды датчиктер, айналмалы трансформаторлар сияқты көптеген сигнал датчиктері инерциясыз буындар ретінде қарастырылуы мүмкін.



4.1-сурет. Күшейткіш буындардың сапа сипаттамалары

Амплитуда фазалы жиілікті сипаттама $W(j\omega) = k$ координата басынан k шамада орналасқан нақты остегі нүктеде бейнеленген (4.1а-сурет).

Амплитуда жиілікті сипаттама $A(\omega) = k$ (4.1б-сурет) барлық жиіліктерде тұрақты.

Фаза жиілікті сипаттама $\varphi(\omega) = 0$ (4.1в-сурет).

Күшейткіш буындардың өтпелі сипаттамалары (4.1г-сурет) сатылы функция ретінде, яғни $u = 1(t)$ кезінде $y = h(t) = k \cdot 1(t)$ болады.

Инерциясыз буындар нақты буындардың жетпейтін қасиетіне ие

буын болып табылады. Мысалы, бір де бір буын 0-ден ∞ -ке дейінгі барлық жиіліктерді біркелкі өткізуге жағдайы келмейді.

4.2. Бірінші ретті аперидты буын

Аперидты буындардың дифференциалды теңдеуінің түпнұсқасы мына түрде болады:

$$T_0 \frac{dy}{dt} + y = ku \quad (4.2)$$

(4.2) теңдеуін Лаплас түрлендіруінен кейін келесіні аламыз:

$$(T_0 s + 1)Y(s) = kU(s) \quad (4.3)$$

мұндағы, T – уақыт тұрақтысы; k – беріліс коэффициенті.

(4.4) өрнегінен мына түрде беріліс функциясын алуға болады:

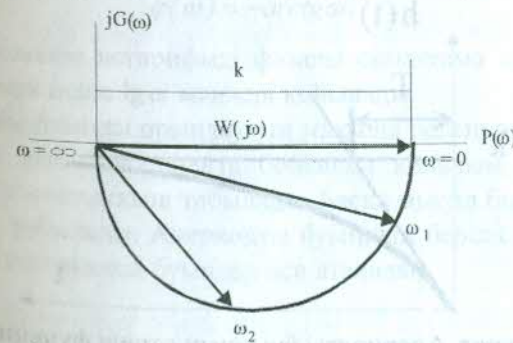
$$W(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{k}{Ts + 1} \quad (4.4)$$

АФЖС векторының аналитикалық өрнегін беріліс функциясындағы Лаплас s - операторын $j\omega$ -ға ауыстыру арқылы алады, мұндағы ω – тербеліс жиілігі, $\omega = 1/T$; T – тербеліс периоды.

Сонда, (4.4) өрнегін қажетті түрлендіруден кейін жиіліктік сипаттамасын аламыз:

$$W(j\omega) = \frac{k}{Tj\omega + 1} = \frac{k}{T^2\omega^2 + 1} - j \frac{kT\omega}{T^2\omega^2 + 1} = P(\omega) + jG(\omega) \quad (4.5)$$

Жиілікті 0-ден ∞ -ке дейін өзгерте отырып, АФЖС (4.2-сурет) тұрғызуға болады, яғни ол диаметрі k коэффициентіне тең, кешенді жазықтықтың төртінші квадрантында орналасқан жарты шеңбер түріндегі $W(j\omega)$ функциясының годографы болады.



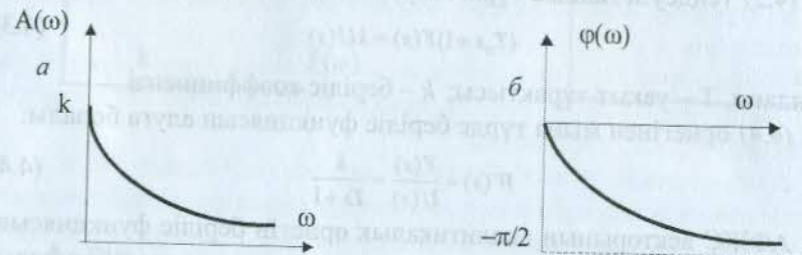
4.2-сурет. Аперидты буынның АФЖС

4.3-суретте төмендегі тепе-теңдікпен суреттелетін қисықты білдіретін АЖС көрсетілген:

$$A(\omega) = |W(j\omega)| = \frac{k}{\sqrt{T^2\omega^2 + 1}} \quad (4.6)$$

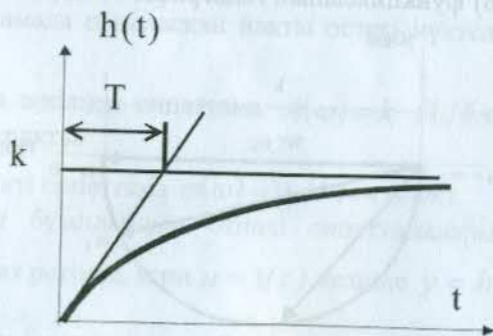
ФЖС қисығы (4.3, б-сурет) төмендегі тепе теңдігімен көрсетіледі:

$$\varphi(\omega) = \text{arctg} \frac{G(\omega)}{P(\omega)} = \text{arctg}(-\omega T). \quad (4.7)$$



4.3-сурет. Бірінші ретті аperiodты буынның АЖС және ФЖС

4.4-суретте аperiodты буын екпін алуының типтік қисығы көрсетілген, ол экспонента деп аталады. Егер оның кез-келген нүктесіне жанама жүргізсек, сосын жанама нүктесін және асимптотамен жанаманың қиылысу нүктесін уақыт осіне проекцияласақ, сонда уақыт осіне ұқсас кесінді шығады. Уақыт тұрақтысы деп аталынатын осы проекция беріліс функциясындағы коэффициентке T сәйкес, ал асимптота ординатасы k коэффициентіне сәйкес келеді.



4.4-сурет. Аperiodты буынның өтпелі функциясы

Осылайша, өтпелі функция бойынша аperiodты буынның беріліс функциясындағы k және T коэффициенттерін табу оңайға түседі. Егер өтпелі функцияның осциллограммасы эксперименталды түрде алынса, онда графикада $h=0.63$ нүктесін белгілеп, $k=1$ деп алып, $t=T$ -ны аламыз.

Логарифмдік амплитуда жиілікті сипаттаманы тұрғызуға арналған өрнекті алу үшін (3.10) формуласына (4.6) тепе-теңдігін қойып

$$L(\omega) = 20 \lg k - 10 \lg [1 + (\omega T)^2] \quad (4.8)$$

өрнегін аламыз.

Графикті тұрғызу барысында алдымен төмен жиілікті асимптота теңдігін құраймыз, ол $\omega \rightarrow 0$ және $\omega T_0 < 1$ болған кезінде

$$L_1(\omega) = 20 \lg k \quad (4.9)$$

түрінде болады.

$\omega \rightarrow \infty$ және $\omega T > 1$ болғанда жоғары жиілікті асимптота теңдігі (4.8) теңдігінен шығады:

$$L_2(\omega) = 20 \lg k - 20 \lg(\omega T) \quad (4.10)$$

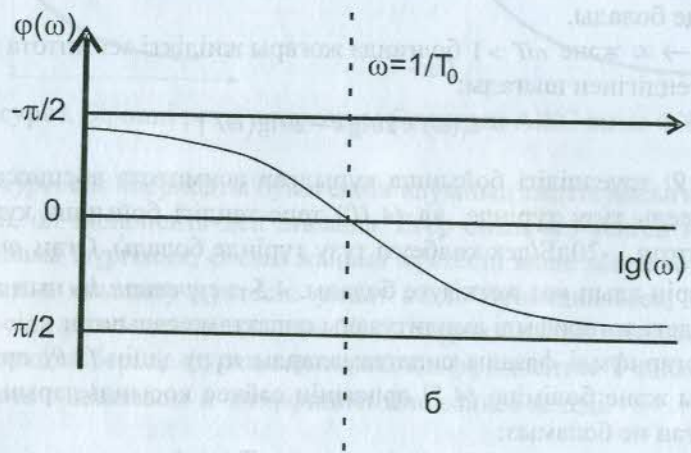
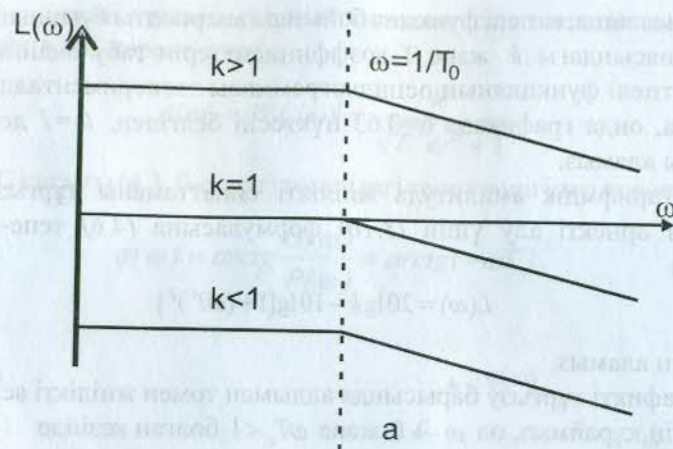
(4.9) тәуелділігі бойынша құрылған асимптота абсцисса осіне параллель түзу түрінде, ал (4.10) тепе-теңдігі бойынша құрылған асимптота -20 дБ/дек көлбеулі түзу түрінде болады. Оған ω нақты мәндерін алып көз жеткізуге болады. 4.5 а-суретте k -ның әртүрлі мәніндегі логарифмді амплитудалы сипаттама салынған.

Логарифмді фазалы сипаттамаларды құру үшін (3.9) өрнегінің алымы және бөліміне (4.5) өрнегінің сәйкес қосындыларын қойып мынаған ие боламыз:

$$\varphi(\omega) = -\text{arctg} \omega T \quad (4.11)$$

4.5 б-суретінде логарифмді фазалы сипаттама құрылған. Осы жер де абсцисса осіне $\lg \omega$ мәндері қойылады.

Аperiodты буынды орындаудың мысалы болып электр желісіне қосылғаннан кейін экспонента бойынша айналым жинайтын аз қуатты электр қозғалтқыш табылады. Басқа мысал болып электрлік RC құрылғы табылады. Аperiodты буынның беріліс функциясына ие нысандар статикалық буындар деп аталады.



4.5-сурет. Апериодты буынның ЛАЖС және ЛФС

4.1-мысал

Төменде келтірілген беріліс функциясы бар апериодты буын үшін логарифмді амплитуда жиілікті сипаттаманың құрылу мысалын қарастырайық:

$$W(s) = \frac{5}{1+2s}$$

Асимптоталық ЛАЖС тұрғызу үшін қию жиілігін анықтау қажет

$$\omega_k = \frac{1}{T} = \frac{1}{2} = 0.5$$

Осы ω_k қию жиілігін ω жиілік осінде белгілейміз. Қию жиілігінің сол жағына ордината осін орналастырамыз. $L(\omega)$ осіне $L(\omega) = 20 \lg K = 20 \lg 5 = 20 \cdot 0.6990 = 13.98 \text{ dB}$ шамасын келтіреміз. Осы нүктеден ω_k нүктесіне дейін $0 \frac{\text{dB}}{\text{дек}}$ көлбеумен сызық жүргізі-

міз. Ары қарай, ω_k нүктесінен $20 \frac{\text{dB}}{\text{дек}}$ көлбеумен сызық (4.6-сурет) жүргіземіз.

ФЖС $\varphi(\omega) = -\text{arctg} 2\omega$ тұрғызу үшін келесі ықшамдауды енгіземіз: арктангенс функциясы аргументінің шамасын біле отырып, яғни олардың $0, 30, 45, 60, 90$ градустарының мәндерінде, функция аргументтерінің осы мәндерін қамтамасыз ететін жиіліктерінің мәндерін анықтауға болады, яғни $\text{arg tg} 0 = 0^\circ, \text{arg tg} \frac{1}{\sqrt{3}} = 30^\circ, \text{arg tg} 1 = 45^\circ, \text{arg tg} \sqrt{3} = 60^\circ, \text{arg tg} \infty = 90^\circ$. Осы өрнектер негізінде ФЖС мәндерін анықтаймыз:

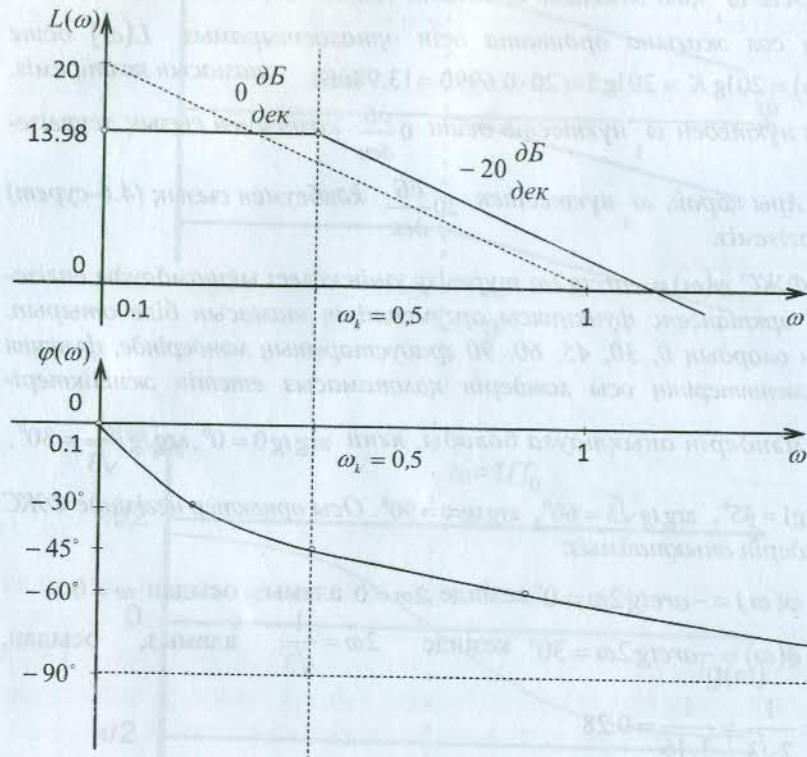
$\varphi(\omega) = -\text{arctg} 2\omega = 0^\circ$ кезінде $2\omega = 0$ аламыз, осыдан $\omega = 0$,
 $\varphi(\omega) = -\text{arctg} 2\omega = 30^\circ$ кезінде $2\omega = \frac{1}{\sqrt{3}}$ аламыз, осыдан,
 $\omega = \frac{1}{2\sqrt{3}} = \frac{1}{3.46} = 0.28$
 $\varphi(\omega) = -\text{arctg} 2\omega = -45^\circ$ кезінде $2\omega = 1$ аламыз, осыдан $\omega = \frac{1}{2} = 0.5$,
 $\varphi(\omega) = -\text{arctg} 2\omega = -60^\circ$ кезінде $2\omega = \sqrt{3}$ аламыз, осыдан $\omega = \frac{\sqrt{3}}{2} = 0.86$,
 $\varphi(\omega) = -\text{arctg} 2\omega = -90^\circ$ кезінде $2\omega = \infty$ аламыз, осыдан $\omega = \infty$.

Алынған мәндерді 4.1-кестеге енгіземіз.

4.1-кесте

ω	0	0.28	0.5	0.86	∞
$\varphi(\omega)$	0°	-30°	-45°	-60°	-90°

Осы кесте негізінде ФЖС $\varphi(\omega) = -\arctg 2\omega$ графигі (4.6-сурет) салынды.



4.6-сурет. Аперидоттық буынның ЛАЖС

4.3. Тербелмелі буын

Тербелмелі буын ретінде бір емес, екі энергетикалық немесе массалы сыйымдылықтарды қосатын АБЖ элементін алуға болады. Мысалы, бір сыйымдылықта потенциалдық энергия, ал екіншісінде кинематикалық энергия жиналады. Энергия алмасатын каналда біршама кедергі бар және онда энергияның шығыны болады. Энергияның жоғалу өлшемі ξ өшу коэффициенті болып табылады. ξ неғұрлым көп болған сайын, энергияның шығыны көп болады.

$0 < \xi < 1$ болғанда өтпелі үрдіс тербелмелі болады және буын тербелмелі деп аталады. Тербелмелі буын төмендегі дифференциалдық теңдеумен бейнеленеді:

$$T^2 \ddot{y} + 2T\xi \dot{y} + y = ku \quad (\xi > 1) \quad (4.12)$$

Лаплас түрленуінен кейін:

$$(T^2 s^2 + 2T\xi s + 1)Y(s) = kU(s) \quad (4.13)$$

Сипаттамаушы теңдеудің түбірі $T_1^2 s^2 + T_2 \xi s + 1 = 0$ кешенді болуы керек, ол $T_1 < 2T_2$ шартында орындалады.

(4.13) теңдеуі әдетте мына түрде болады:

$$\left(\frac{s^2}{q^2} + \frac{2\xi s}{q} + 1 \right) Y(s) = kU(s), \quad (4.14)$$

мұндағы $q = \frac{1}{T}$ – еркін тербелістердің бұрыштық жиілігі (өшу болмаған жағдайда).

Тербелмелі буындардың беріліс функциясы:

$$W(s) = \frac{k}{1 + 2\xi Ts + T^2 s^2} = \frac{k}{1 + \frac{2\xi s}{q} + \frac{s^2}{q^2}} \quad (4.15)$$

Тербелмелі буындардың мысалы ретінде жоғарыда қарастырылған (2.3-мысалда) вибро қорғау жүйесі (демпер), RLC – тізбегі, тұрақты тоқты басқарылатын қозғалтқыштары (анықталған шарттарда), серпімді механикалық берілістер, гироскопиялық элементтері алынуы мүмкін.

(4.12) дифференциалдық теңдеуі үшін сипаттама теңдеуінің түбірлері $0 < \xi < 1$ болғанда теріс нақты бөлікпен кешенді түйіндескен болады:

$$s_{1,2} = -\gamma \pm j\lambda = -\frac{\xi}{T} \pm j \frac{1}{T} \sqrt{1 - \xi^2} = -\xi q \pm jq \sqrt{1 - \xi^2}. \quad (4.16)$$

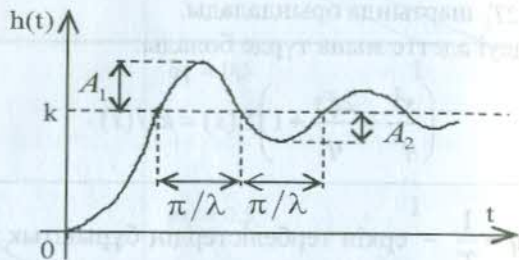
γ түбірінің нақты бөлігі өтпелі үрдістің өшу коэффициенті түрінде болады, ал λ – өшу тербелісінің жиілігі.

Тербелмелі буынның өтпелі сипаттамасы келесі теңдікпен бейнеленеді:

$$h(t) = k \left[1 - e^{-\gamma t} \left(\cos \lambda t + \frac{\gamma}{\lambda} \sin \lambda t \right) \right] \cdot I(t)$$

Мұндағы $\gamma = \frac{\lambda}{\pi} \ln \frac{A_1}{A_2}$, $\gamma = \xi q$, $\lambda = q \sqrt{1 - \xi^2}$, A_1, A_2 – бір-бірінен жарты период тербеліске тең уақытқа қалып отыратын, оның орнықты мәніне қатысты тербелістің максималды амплитудасы.

Өтпелі сипаттаманың графигі тербелмелі сипатқа ие және 4.7-суретте берілген.



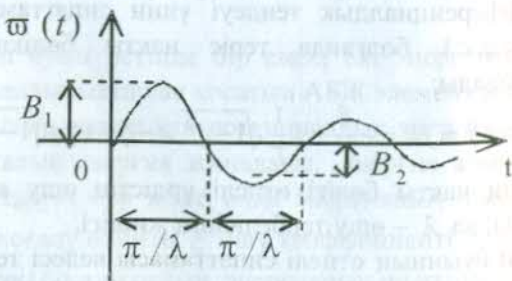
4.7-сурет. Тербелмелі буынның өтпелі сипаттамасы

Тербелмелі буынның импульсті өтпелі сипаттамасы келесі теңдеумен бейнеленеді:

$$\varpi(t) = \frac{kq^2}{\lambda} e^{-\gamma t} \sin \lambda t \cdot I(t),$$

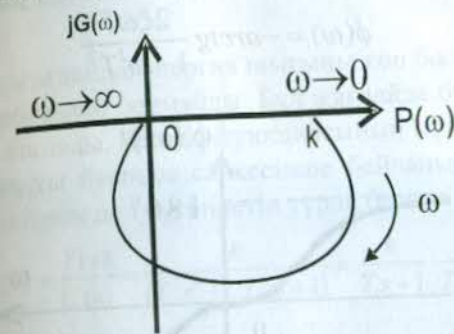
мұндағы, $\gamma = \frac{\lambda}{\pi} \ln \frac{B_1}{B_2}$, $q = \sqrt{\gamma^2 + \lambda^2}$, $\xi = \frac{\gamma}{\sqrt{\gamma^2 + \lambda^2}}$.

Импульсті өтпелі сипаттама графигі тербелмелі сипатқа ие және 4.8-суретте берілген.



4.8-сурет. Тербелмелі буынның импульсті өтпелі сипаттамасы

Тербелмелі буынның амплитуда фаза жиілікті сипаттамасының графигі 4.9-суретте көрсетілген.



4.9-сурет. Тербелмелі буынның АФЖС

Амплитуда жиілікті сипаттамада (4.10-сурет) резонансты шын болуы мүмкін және келесі теңдеумен бейнеленеді:

$$A(\omega) = \frac{k}{\sqrt{(1 - \omega^2 T^2)^2 + 4\xi^2 \omega^2 T^2}}$$

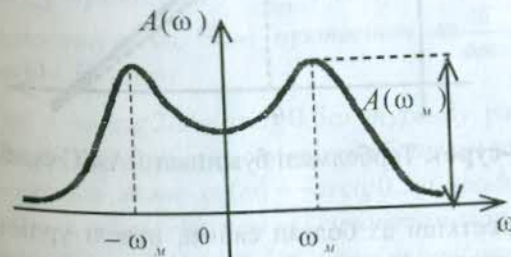
Жиілікті беріліс функциясы модулін максимумға зерттегенде шын $\xi < 0.707$ кезінде пайда болатыны көрінді. Шын биіктігі ошу көрсеткіші неғұрлым аз болған сайын жоғары болады:

$$A(\omega_m) = \frac{k}{2\xi \sqrt{1 - \xi^2}}$$

Амплитуда жиілік сипаттамасының максимумына

$$\omega_m = q \sqrt{1 - 2\xi^2}$$

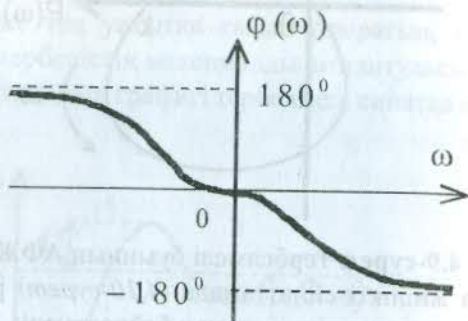
жиілігі сәйкес келеді.



4.10-сурет. Тербелмелі буынның АЖС сұлбасы

Тербелмелі буынның фаза жиілікті сипаттамасы (4.11-сурет) келесі теңдеумен бейнеленеді:

$$\phi(\omega) = -\arctg \frac{2\xi\omega T}{1-\omega^2 T^2}$$

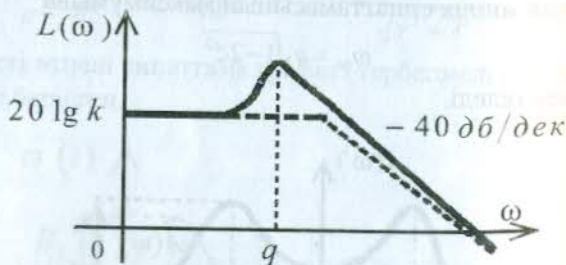


4.11-сурет. Тербелмелі буынның ФЖС

Логарифмдік амплитудалық жиілікті сипаттама келесі өрнек бойынша тұрғызылады:

$$L(\omega) = 20 \lg \frac{k}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{q^2}\right)^2 + 4\xi^2 \frac{\omega^2}{q^2}}}$$

және 4.12-суретте берілген түрде болады.



4.12-сурет. Тербелмелі буынның ЛАЖС сұлбасы

ξ өшу көрсеткіші аз болған сайын, өтпелі үрдістің тербелмелілігінің жоғарылауына және амплитуда жиілікті сипаттаманың резонансты шыңының жоғарлауына әкеледі.

$\xi=0$ нақты жағдайында, энергия шығыны болмайды. Себебі, ауын энергияның бастапқы қорын сақтап қалады, өтпелі үрдіс өшпейтін болады.

$\xi \geq 1$ болған жағдайда, энергия шығыны көп болғаны соншалық, өтпелі үрдіс тербелмелі болмайды. Бұл жағдайда буын екінші ретті апериодты деп аталады. Беріліс функциясының мұндай буыны екінші ретті апериодты буынды сәйкесінше байланысқан екі бірінші ретті апериодты буын деп түсінілетін түрде берілуі мүмкін.

$$W(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{k}{(T^2 s^2 + 2T\xi s + 1)} = \frac{k}{T_1 s + 1} \cdot \frac{1}{T_2 s + 1}, \quad (4.17)$$

4.2-мысал

Төменде келтірілген беріліс функциясы бар тербелмелі буын үшін логарифмдік жиілікті сипаттаманың құрылу мысалын қарастырайық:

$$W(s) = \frac{10}{(1+2s)(1+0.5s)}$$

Асимптоталық ЛФЖС тұрғызу үшін қию жиілігін анықтау қажет:

$$\omega_{opt1} = \frac{1}{T_1} = \frac{1}{2} = 0.5 \quad \omega_{opt2} = \frac{1}{T_2} = \frac{1}{0.5} = 2$$

Қиманың осы жиілігін жиілік ω осіне орналастырамыз. Қиманың аз жиілігінің сол жақ мәндерін ордината осіне орналастырамыз. $L(\omega)$ осіне $L(\omega) = 20 \lg K = 20 \lg 10 = 20 \text{ dB}$ шамасын келтіреміз. Осы

нүктеден ω_{opt1} нүктесіне дейін $0 \frac{\text{dB}}{\text{дек}}$ көлбеумен сызық жүргіземіз.

Ары қарай, ω_{opt2} нүктесінен $-20 \frac{\text{dB}}{\text{дек}}$ көлбеумен сызық жүргіземіз, графикті жалғастырамыз, ω_{opt2} нүктесінен $-40 \frac{\text{dB}}{\text{дек}}$ көлбеумен сызық жүргіземіз. (4.3-сурет)

ФЖС $\phi(\omega) = -\arctg 2\omega - \arctg 0.5\omega$ тұрғызу үшін келесі қысқартуларды енгіземіз. Алдымен, жоғарыда берілген әдістеме бойынша $\phi_1(\omega) = -\arctg 2\omega$ және $\phi_2(\omega) = -\arctg 0.5\omega$ графиктерін жеке-жеке тұрғызамыз, одан кейін осы екі сипаттамаларды графикалық қосындылаймыз $\phi(\omega) = \phi_1(\omega) + \phi_2(\omega)$ және екінші ретті апериодты буынның ФЖС аламыз.

Жеке тұрғызайық, алдымен, $\varphi_1(\omega) = -\arctg 2\omega$. Ол үшін келесіні есептейміз:

$$\varphi_1(\omega) = 0^\circ, \omega = 0, \varphi_1(\omega) = 30^\circ, 2\omega = \frac{1}{\sqrt{3}}, \omega = 0.28,$$

$$\varphi_1(\omega) = -45^\circ, 2\omega = 1, \omega = \frac{1}{2} = 0.5, \varphi_1(\omega) = -60^\circ, 2\omega = \frac{1}{\sqrt{3}}, \omega = 0.86,$$

$$\varphi_1(\omega) = -90^\circ, \omega = \infty$$

Алынған мәндерді 4.2-кестеге жазамыз.

4.2-кесте

ω	0	0.28	0.5	0.86	∞
$\varphi_1(\omega)$	0°	-30°	-45°	-60°	-90°

Осы кесте негізінде ФЖС $\varphi_1(\omega) = -\arctg 2\omega$ графигі тұрғызылған (4.13-сурет).

Ары қарай, $\varphi_2(\omega) = -\arctg 0.5\omega$ жеке тұрғызамыз. Ол үшін келесіні есептейміз:

$$\varphi_2(\omega) = 0^\circ, \omega = 0, \varphi_2(\omega) = 30^\circ, 0.5\omega = \frac{1}{\sqrt{3}}, \omega = 1.15,$$

$$\varphi_2(\omega) = -45^\circ, 0.5\omega = 1, \omega = 2, \varphi_2(\omega) = -60^\circ, 0.5\omega = \sqrt{3}, \omega = 3.46,$$

$$\varphi_2(\omega) = -90^\circ, \omega = \infty$$

Алынған мәндерді 4.3-кестеге енгіземіз.

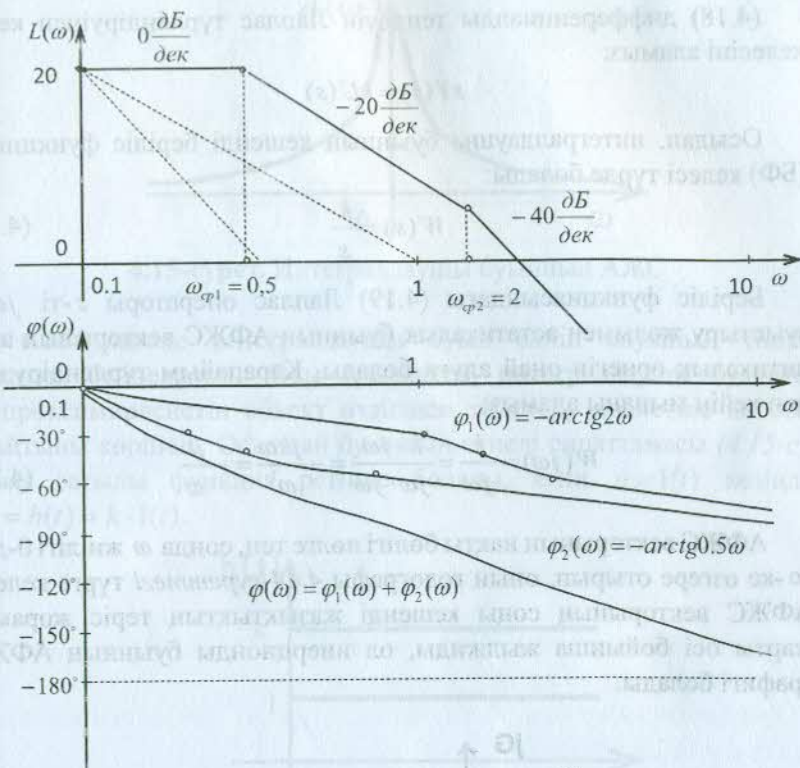
4.3-кесте

ω	0	1.15	2	3.46	∞
$\varphi_2(\omega)$	0°	-30°	-45°	-60°	-90°

Осы 4.3-кесте негізінде ФЖС $\varphi_2(\omega) = -\arctg 0.5\omega$ графигі тұрғызылған (4.3-сурет).

Ары қарай, осы екі функция графиктерін графикалық қосамыз. Ол үшін, ордината осіне төмен қарай бір-біріне параллель бірдей қашықтықта болатын сызықтар жүргізу қажет.

Содан, осы түзу бойындағы функция шамаларын 4.3-суретте көрсетілгендей етіп қосамыз.



4.13-сурет. Беріліс функциясы $W(s) = \frac{10}{(1+2s)(1+0.5s)}$ болатын тербелмелі буынның логарифмдік және фазалық жиілікті сипаттамасы

4.4. Интегралдаушы буын

Интегралдаушы буында шығыс шама кіріс шаманың интегралына пропорционалды болып келеді:

$$y = k \int_0^t u dt,$$

мұндағы, k – беріліс коэффициенті.

Типтік интегралдаушы буынның дифференциалды теңдеуі келесі түрге ие:

$$\frac{dy}{dt} = ku \quad (4.18)$$

(4.18) дифференциалды теңдеуін Лаплас түрлендіруінен кейін келесіні аламыз:

$$sY(s) = kU(s)$$

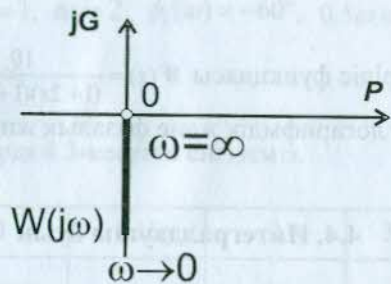
Осыдан, интегралдаушы буынның кешенді беріліс функциясы (БФ) келесі түрде болады:

$$W(s) = \frac{k}{s} \quad (4.19)$$

Беріліс функциясындағы (4.19) Лаплас операторы s -ті $j\omega$ -ға ауыстыру жолымен астатикалық буынның АФЖС векторының аналитикалық өрнегін оңай алуға болады. Қарапайым түрлендірулерден кейін мынаны аламыз:

$$W(j\omega) = \frac{k}{j\omega} = \frac{k \cdot j\omega}{j\omega \cdot j\omega} = -\frac{jk\omega}{\omega^2} = -\frac{jk}{\omega} \quad (4.20)$$

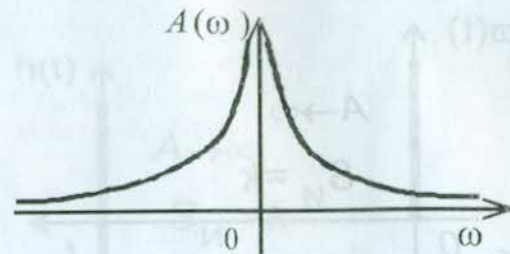
АФЖС векторының нақты бөлігі нөлге тең, сонда ω жиілігі 0-ден ∞ -ке өзгере отырып, оның годографы 4.14-суреттегі түрге келеді. АФЖС векторының соңы кешенді жазықтықтың теріс жорамал жарты осі бойынша жылжиды, ол инерционды буынның АФЖС графигі болады.



4.14-сурет. Интегралдаушы буынның АФЖС

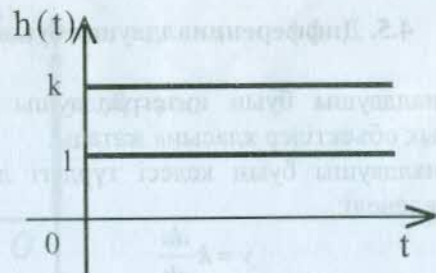
Амплитудалы жиілікті сипаттама $A(\omega) = \frac{k}{\omega}$ (4.14-сурет) қисық сызықты болады, $\omega \rightarrow 0$ кезде $A(\omega) \rightarrow \infty$, ал $\omega \rightarrow \infty$ болған кезде $A(\omega) \rightarrow 0$. Демек, кірістегі жиілік жоғары болған сайын, шығыс шаманың амплитудасы төмендейді.

Сонымен қатар, интегралдаушы буын фазаны -90° шамаға ығыстырады.



4.15-сурет. Интегралдаушы буынның АЖС

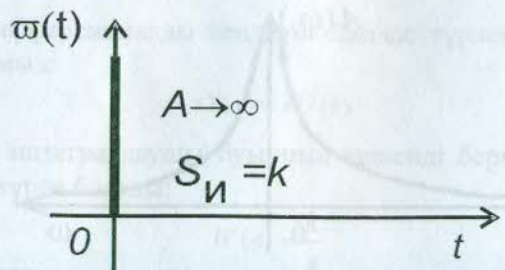
4.16-суретте интегралдаушы буын екпін алуының типтік қисығы бейнеленген. Осы графиктен, интегралдаушы буынмен аппроксимирленетін объект өздігінен тегістелу қасиетіне ие болмайтыны көрінеді. Осындай буынның өтпелі сипаттамасы (4.15-сурет) сатылы функция ретінде болады, яғни $u = 1(t)$ кезінде, $y = h(t) = k \cdot 1(t)$.



4.16-сурет. Интегралдаушы буынның өтпелі сипаттамасы

Импульсті өтпелі сипаттама (4.17-сурет) импульсті функция түрінде болады, амплитудасы $A \rightarrow \infty$, ал импульс ауданы S_{Π} k -ға тең, яғни $u = \delta(t)$ кезінде $y = \varpi(t) = k \cdot \delta(t)$

Интегралдаушы буынын іске асырушы мысалына өндірістің технологиялық тізбегіндегі жинақтаушы бункерін, инерциясыз электроқозғалтқышты және т.б. келтіруге болады. Интегралдаушы буындармен жуықталатын нысандарды астатикалық деп атайды. Кіріс әсерінің кез келген мәніне кез келген шығыс шама сәйкес келуі мүмкін. Интегралдаушы буынның ерекше артықшылығы, кіріс әсер тоқталғаннан кейін буын күйі кіріс әсер тоқтатылған сәттегі деңгейін ұстап қалатындығы болып табылады. Осындай «жады» көмегімен астатизм болады.



4.17-сурет. Интегралдаушы буынның импульсті өтпелі сипаттамасы

Сонымен қатар, интегралдаушы буындармен сипатталынатын нысандар өздігінен теңесу қасиетіне ие емес, яғни орнықсыз екенін ескеру қажет.

4.5. Дифференциалдаушы буын

Дифференциалдаушы буын интегралдаушы буындар сияқты АБЖ астатикалық объектілер класына жатады.

Дифференциалдаушы буын келесі түрдегі дифференциалдық теңдеумен бейнеленеді:

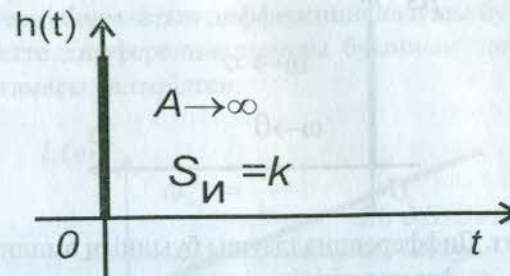
$$y = k \frac{du}{dt} \quad (4.21)$$

мұндағы, k – пропорционалдылық коэффициенті. Бұл жағдайда, кіріс және шығыс шамалары бір өлшемде болса, онда k уақыт өлшемі деп алынады және дифференциалдаушы буынның тұрақты уақыты деп аталады да T -деп белгіленеді.

(4.21) теңдеуінен дифференциалдаушы буынның беріліс функциясын мына түрде алу қиын емес:

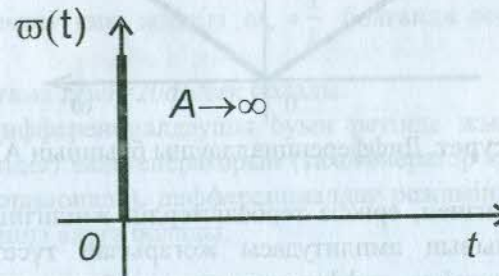
$$W(s) = ks. \quad (4.22)$$

Дифференциалдаушы буынның тұрақты кіріс әсерлерге әсері болмайды. Бірақ, бірлік секіріс сигналды беру кезінде осындай буынның өтпелі сипаттамасы (4.18-сурет) дельта функциясының импульсі түрінде, яғни $u = 1(t)$ кезінде, $y = h(t) = k \cdot \delta(t)$ болады.



4.18-сурет. Дифференциалдаушы буынның өтпелі сипаттамасы

Импульсті өтпелі сипаттама (4.19-сурет) импульсті функция түрінде болады, яғни $u = \delta(t)$ кезінде $y = \omega(t) = k \cdot \frac{d\delta(t)}{dt}$.

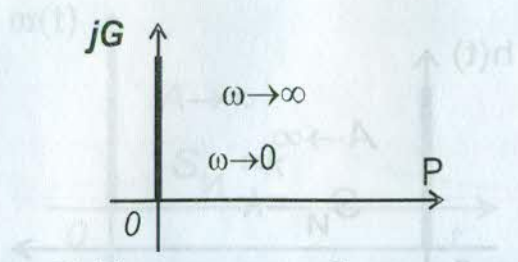


4.19-сурет. Дифференциалдаушы буынның импульсті өтпелі сипаттамасы

Жиіліктік сипаттаманы тұрғызу үшін (4.22) теңдеуінен дифференциалдаушы буынның жиіліктік беріліс функциясын анықтаймыз:

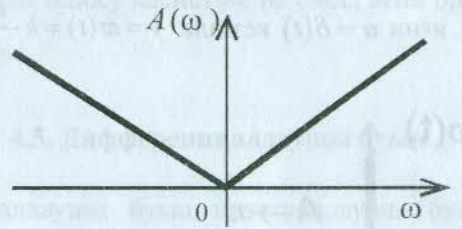
$$W(j\omega) = jk\omega \quad (4.23)$$

АФЖС графигі 4.20-суретте көрсетілген. Бұл сипаттама жорамал оң жартылай остің бойымен жүргізілген түзу сызықты көрсетеді, $\omega = 0$ тболған кезде оның басы 0 нүктесінен басталады және $\omega \rightarrow \infty$ кезінде ∞ - ке ұмтылады.



4.20-сурет. Дифференциалдаушы буынның амплитудалы фазалы жиіліктік сипаттамасы

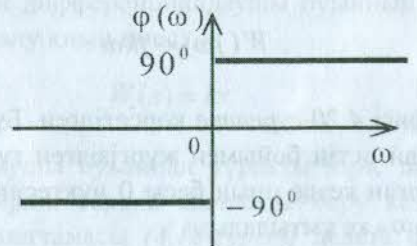
Амплитудалы жиіліктік сипаттама графигі $A(\omega) = |k\omega|$ тепе-теңдігіне сәйкес 4.21-суретте келтірілген.



4.21-сурет. Дифференциалдаушы буынның АЖС

$A(\omega)$ графигінен, еріксіз тербелістердің жиілігінің көбеюімен шығыс сигналының амплитудасы жоғарылай түсетінін көруге болады. Бұл жағдайда, дифференциалдаушы буын жоғары жиілікті сигналдарды оңай өткізеді және төмен жиілікті сигналдарды нашар өткізеді. Сондықтан, осындай нысандар жоғары жиілікті бөгеттерге сезімтал болып келеді.

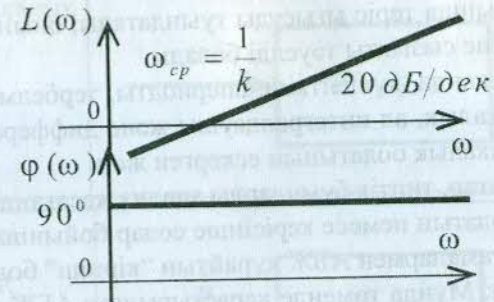
Фазалы жиіліктік сипаттама $\varphi(\omega) = \pi/2$ 4.22-суретте ұсынылған.



4.22-сурет. Дифференциалдаушы буынның фазалы жиіліктік сипаттамасы

Бұл жерде атап өтетін жағдай, фаза бойынша 90° -қа өсетін, жиілікке тәуелді болмайтын дифференциалдаушы буын кіргізеді.

4.23-суретте дифференциалдаушы буынның логарифмдік жиіліктік сипаттамасы келтірілген.



4.23-сурет. Дифференциалдаушы буынның ЛЖС

4.23-суретте қию жиілігі $\omega_p = \frac{1}{k}$ болғанда логарифмдік жиіліктік сипаттама $L(\omega) = 20\text{dB/сек}$ болады.

Идеал дифференциалдаушы буын ретінде жылдамдықты өлшеу режиміндегі тахогенераторын (тахогенератор кернеуі жылдамдыққа пропорциональ), дифференциалдау режиміндегі операционды күшейткішті алуға болады.

4.6. Кешігуші буын

Сигналдарды бұрмалаусыз беретін, бірақ шығыс сигналы уақыт бойынша кіріс сигналдан кешігетін буындарды кешігуші буындар деп атайды. Электрлік желілер, құбырлар, релелі құрылғылар және де сол сияқты АБЖ нысандары кешігуші буындардың қасиетіне ие болып табылады.

Кешігуші буындардың теңдеуі келесі түрге ие:

$$y(t) = u(t - \tau),$$

мұндағы, τ – кешігу уақыты.

Кешігуші буындардың көптеген сипаттамалары күшейткіш буындарға ұқсас болып келеді, сондықтан осында кейбір ерекше-

ліктерін ғана келтірейік. Кешігуші буынның өтпелі функциясы күшейткіш буындардың өтпелі функциясына ұқсас, ерекшелігі абсцисса осі бойынша t шамаға ығысуының болуында. Жиіліктік және амплитудалық сипаттамалары бойынша да күшейткіш буындарға ұқсас. Тек фазалы сипаттамаларында ғана өзгешелік бар. Кешігуші буын фаза бойынша теріс ығысуды туындатады, оның өзі кіріс сигналдың жиілігіне сызықты тәуелді болады.

Қорыта айтқанда, күшейткіш, апериодты, тербелмелі, кешігуші буындар статикалық, ал интегралдаушы және дифференциалдаушы буындар астатикалық болатынын ескерген жөн.

Сонымен қатар, типтік буындарды анализ жасағанда АБЖ бөліктерге бөлуге болатын немесе керісінше солар бойынша синтездеуде берілген сипаттамалармен АБЖ құрайтын “кірпіш” болып келетінін де ескеру қажет. Мұнда төменде қарастырылған АБЖ құрылымдық сұлбасы маңызды рөл атқарады.

4.7. АБЖ құрылымдық сұлбалары

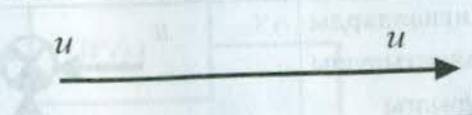
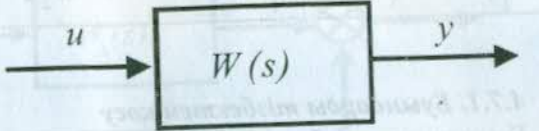
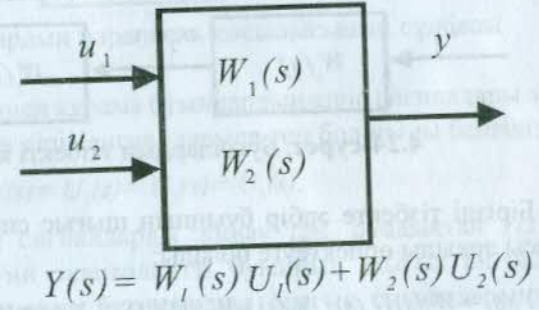

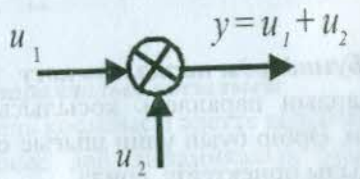
АБЖ моделдеуші аспаптарының бірі құрылымдық сұлба түрінде ұсынылатын математикалық және компьютерлік моделдер, функционалдық сұлбалар негізінде құрылған графикалық модельдер болып келеді. Құрылымдық сұлба дегеніміз, жүйе қандай динамикалық буындардан тұрағынын және олар өзара қалай байланысқанын көрсететін АБЖ графикалық моделін айтады.


Құрылымдық сұлбалардың элементтері 4.4-кестеде көрсетілген әдеттегі белгілеулерге ие.

Нақты өнеркәсіптік автоматты басқару жүйелерінде элементтердің өзара бір бірімен қосылысы күрделі болып келеді. Бірақ, кез келген күрделі жүйені үш түрлі қосылыстың бірімен жеке блоктарға бөліп тастауға болады: тізбекті, параллельді келісілген немесе қарсы параллельді. Осы қосылыстарды жеке-жеке қарастырайық.

4.4-кесте

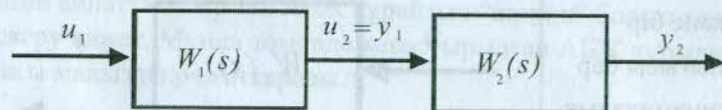
№ п/п	Элементтер атауы	Құрылымдық сұлбадағы элементтердің белгіленулері
-------	------------------	--

1	Сигнал беру сызығы	
2	Динамикалық буын	
3	Екі кірісі және бір шығысы бар динамикалық буын	
4	Түйін немесе тармақталу (тармақталу орындарында сигналдар бөлінбейді)	
5	Сигналдардың сумматоры	

6	Сигналдарды салыстырушы құрылғы	
---	---------------------------------	---

4.7.1. Буындарды тізбектей қосу

Буындардың тізбекті қосылысының сұлбасы 4.24-суретте көрсетілген. Буындардың тізбекті қосылысы кезінде әрбір буынның кірісі оның алдында тұрған буынның шығысы болады.



4.24-сурет. Буындардың тізбекті қосылысы

Бірізді тізбекте әрбір буынның шығыс сигналын беріліс функциясы арқылы өрнектеуге болады:

$$Y_1(s) = W_1(s)U_1(s); Y_2(s) = W_2(s)Y_1(s); Y_2(s) = W_1(s)W_2(s)U_1(s) \quad (4.23)$$

Осыдан, буындардың тізбекті қосылуын беріліс функциясы құрамдас буындардың беріліс функцияларының туындысына тең бір эквивалентті буынмен алмастыруға болады, яғни:

$$W(s) = W_1(s)W_2(s) \quad (4.24)$$

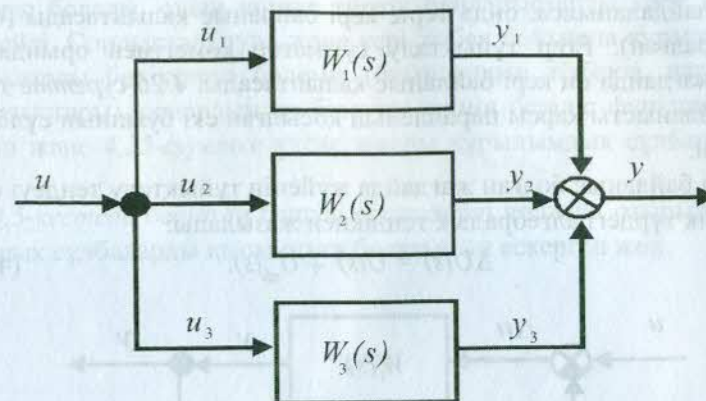
4.23 өрнегінде орындалатын түрлендіруді кез келген n -ші ретті буындар үшін жүргізуге болады, сонда эквивалентті буынның беріліс функциясы келесідей анықталады:

$$W(s) = \prod_{i=1}^n W_i(s) \quad (4.25)$$

4.7.2. Буындарды параллель қосу

Буындардың параллель қосылысының сұлбасы 4.25-суретте келтірілген. Әрбір буын үшін шығыс сигналды өзінің беріліс функциясы арқылы өрнектейік, сонда

$$Y_1(s) = W_1(s)U_1(s); Y_2(s) = W_2(s)U_2(s); Y_3(s) = W_3(s)U_3(s). \quad (4.26)$$



4.25-сурет. Буындардың параллель қосылысының сұлбасы

Түйіндердің қасиетінен құрама буындардың кіріс сигналдары эквивалентті буындардың кіріс сигналдарына тең болатыны белгілі:

$$U(s) = U_1(s) = U_2(s) = U_3(s).$$

Сумматорлар үшін сигналдарды жинау тән, сондықтан $Y(s) = Y_1(s) + Y_2(s) + Y_3(s)$, яғни эквивалентті буынның шығыс сигналы параллель қосылған құрама буындардың шығыс сигналдарының қосындысына тең.

(4.26) тепе теңдіктердегі параллель қосылған буындардың шығыс және кіріс сигналдары арасындағы байланысты ескере отырып, жеңіл түрлендірулерден кейін мынаны аламыз: $W(s) = W_1(s) + W_2(s) + W_3(s)$ немесе жалпы жағдайда:

$$W(s) = \sum_{i=1}^n W_i(s) \quad (4.27)$$

Сонымен, параллель қосылған буындарды беріліс функциясы құрама буындардың беріліс функцияларының қосындысына тең болатын эквивалентті буынмен алмастыруға болады.

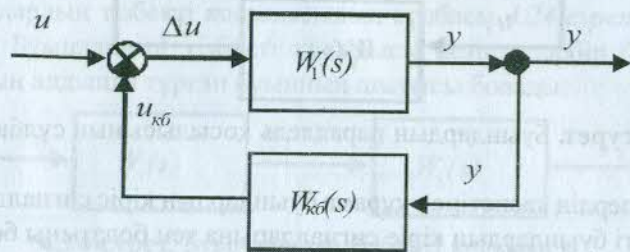
4.7.3. Буындардың қарсы параллельді қосылысы

Буындардың қарсы параллель қосылысы әдетте кері байланысты қалыптастырады. Кері байланыс деп динамикалық буындардың немесе АБЖ жиынтық буындарының шығысынан кіріске сигналды беру тізбегін айтады. Егер контурдың тұйықталуында салыстыру

түйіні пайдаланылса, онда теріс кері байланыс қалыптасады (олар кең таралған). Егер тұйықталу сумматор көмегімен орындалса, ондай жағдайда оң кері байланыс қалыптасады. 4.26-суретте теріс кері байланысты қарсы параллельді қосылған екі буынның сұлбасы берілген.

Кері байланыс болған жағдайда жүйенің тұйықталу теңдеуі операторлық түрдегі алгебралық теңдікпен жазылады:

$$\Delta U(s) = U(s) \mp U_{кб}(s). \quad (4.28)$$



4.26-сурет. Теріс кері байланыстың құрылымдық сұлбасы

Мұндағы (-) таңбасы теріс кері байланысқа, ал (+) таңбасы оң кері байланысқа сәйкес келеді.

Кері тізбек үшін (4.26-суреттегі құрылымдық сұлбаның төменгі буыны):

$$U_{кб}(s) = W_{кб}(s)Y(s). \quad (4.29)$$

Тура тізбек үшін (4.26-суреттегі құрылымдық сұлбаның жоғарғы буыны):

$$\Delta U(s) = \frac{Y(s)}{W_1(s)} \quad (4.30)$$

(4.28-4.30) теңдіктерін бірлесе шешіп және күрделі емес түрлендірулерден кейін буындардың қарсы параллель қосылған тізбектің эквивалентті беріліс функциясын аламыз:

$$W(s) = \frac{W_1(s)}{1 \pm W_{кб}(s)W_1(s)} \quad (4.31)$$

Теріс кері байланыста беріліс функцияның (4.31) бөлімінде қосу (плюс) таңбасы алынады.

Әдетте АБЖ буындардың күрделі қосылыстарының сұлбасы

түрінде болады, оның ішінде типтік байланыстарды көру қиынға түспейді. Сондықтан, тура және кері тізбек бойынша құрылымдық сұлбаларды бөліктерге бөлеміз (буындардың тізбекті, параллель қосылыстары), солардың әр біреуіне өзінің беріліс функцияларын тауып және 4.25-суретке ұқсас жалпы құрылымдық сұлбаны аламыз.

4.5-кестеде берілген белгілі ережелерді қолдана отырып құрылымдық сұлбаларды қысқартуға болатынын ескерген жөн.

Түрлендіру ережелері	Бастапқы құрылымдық сұлбасы	Эквивалентті құрылымдық сұлбасы
Сумматорды ауыстыру	<p>$y_{\text{maf}} = u_1 + u_2 + u_3 + u_4$</p>	
Буындарды ауыстыру	<p>$Y_{\text{maf}}(s) = W(s) W_1(s) X_1(s)$</p>	
Түйіндерді ауыстыру	<p>$y_{\text{maf}} = u_1 + u_2 + u_3$</p>	

Түйіндерді шығыстан кіріске ауыстыру	<p>$Y_{\text{maf}}(s) = Y_{1\text{maf}}(s) W_1(s) U_1(s)$</p>	
Сумматорларды шығыстан кіріске ауыстыру	<p>$Y_{\text{maf}}(s) = W_1(s) U_1(s) + U_2(s)$</p>	

4.3-мысал.

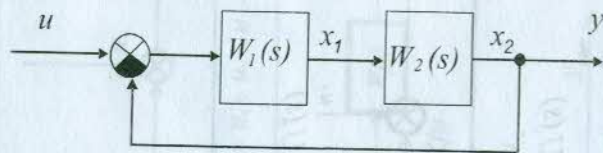
Студенттердің өзіндік жұмыстары үшін тақырып: **Автоматты басқару жүйесінің сипаттамасы**

Жұмыстың мақсаты: Сызықты динамикалық жүйенің сипаттама тәсілдерін меңгерту және олардың әдістерін MATLAB және SIMULINK пакеттерінде модельдеу.

Төменде талап етілетін теориялық материалдар және СӨЖ орындауға арналған мысалдар берілген. СӨЖ орындауға арналған әдістемелік нұсқаулық 2-қосымшада келтірілген.

4.3.1. Құрылымдық сұлба жүйесінің және беріліс функциясының сипаттамасы

АБЖ модельдеу кезінде төмендегі құрылымдық сұлбалар, беріліс функциялар, дифференциалды теңдеулер, күй айнымалылары көмегімен модельдеу тәсілдері қолданылады. 4.27-суретте құрылымдық сұлба келтірілген. Оның құрамына $W_1(s)$, $W_2(s)$ беріліс функцияларымен берілген екі буын және u кіріс сигналымен y шығыс сигналды салыстыру құрылымы кіреді.



4.27-сурет. АБЖ құрылымдық сұлбасы.

Осындай сұлба көмегімен тапсырмада нысандары модельдеу тәсілдері құрылымдық деп аталады, ол нысан құрылымын нақты қамтиды.

Айталық, мысал ретінде, буындар ара қашықтығының берілісі мына түрде берілген болсын $W_1(s) = \frac{k}{(T_1s+1)}$, $W_2(s) = \frac{1}{T_2s}$.

Мұндағы, k – күшейту коэффициенті, T_1, T_2 – белгілі шамалары бар уақыт тұрақтысы. Буындардың өзара байланысын ескере отырып, кіріс және шығыс сигналдарын Лаплас түрлендіруімен байланыстыратын $W(s) = \frac{Y(s)}{U(s)}$ эквивалентті беріліс функциясын анықтауға болады.

Құрылымдық сұлба екі дәйекті байланысқан буындар және бірлік беріліс функциясымен кері байланысы бар сумматордан тұрады. Эквивалентті буынның беріліс функциясы мұндай жүйе үшін (4.31) тәуелділігімен анықталады, яғни

$$W(s) = \frac{W_1(s) \cdot W_2(s)}{1 + W_1(s) \cdot W_2(s)}, \quad (4.32)$$

Біздің жағдайымызда, $W_1(s) = \frac{k}{(T_1s+1)}$, $W_2(s) = \frac{1}{T_2s}$ берілісі кезінде мынаны аламыз:

$$W(s) = \frac{k}{T_1T_2s^2 + T_2s + k}$$

Осыдан кіріс және шығыс сигналдар үшін Лаплас түрлендіруі бойынша тәуелділікті мына түрде аламыз:

$$Y(s) = \frac{k}{T_1T_2s^2 + T_2s + k} U(s).$$

Құрылымдық сипаттамамен салыстырғанда беріліс функциясы қобмүмкіндікті математикалық модель болып табылады, сонымен қатар сол уақытта жүйенің орнықтылығының, динамикалық сипаттамасын ары қарай анализдеуге мүмкіндік береді.

4.3.2. Дифференциалды теңдеулер көмегімен АБЖ сипаттау

АБЖ модельдеуде беріліс функциясынан дифференциалды теңдеу көмегімен жүйені сипаттауға көшуге болады. Ол үшін (4.32) теңдеуін ала отырып Лаплас кері түрлендіргішін қолдануға болады. Басқа қарапайым мысал болып Лаплас түрлендіруінің операторынан жазба түріндегі операторға (s -тан p -ға алмастыру) өтуі табылады. Біздің мысал үшін аламыз:

$$(T_1T_2p^2 + T_2p + k)Y(p) = kU(p).$$

Сосын p операторын d/dt дифференциалдау операторына ауыстыру қажет

$$T_1T_2\ddot{y} + T_2\dot{y} + ky = ku. \quad (4.33)$$

Бұл дифференциалды теңдеулерді Жоғары математика курсының танымды әдістерімен шеше отырып жүйенің кез келген кіріс әсерлерге реакциясын табуға болады.

(4.33) дифференциалды теңдеуінің $y(t)$ аналитикалық шешімі

$y_{\text{бр}}(t)$ біртекті теңдеуінің шешімі және $y_{\text{ж}}(t)$ дифференциалды теңдеуінің жеке шешімінің қосындысы болып табылады.

$y_{\text{бр}}(t)$ -ті алу үшін $T_1 T_2 r^2 + T_2 r + k = 0$ сипаттамалық теңдеуін құрамыз, және r_1, r_2 түбірлерін табамыз. Егер олар нақты және әртүрлі болса, онда біртекті теңдеу шешімі мына түрде ізделінеді $y_{\text{обр}}(t) = C_1 e^{r_1 t} + C_2 e^{r_2 t}$, мұндағы C_1 және C_2 – бастапқы және кейін анықталатын шамаларға тәуелді коэффициенттер. $r_{1,2} = \alpha \pm j\beta$ кешенді түбірлер жұбына $y_{\text{бр}}(t) = e^{\alpha t} (C_1 \sin \beta t + C_2 \cos \beta t)$ теңдеу шешімі сәйкес келеді.

Барлық жағдайда жүйе егер түбірлер сол жарты жазықтықта жатқан болса орнықты болады екен (бұл біртекті теңдеу шешімі кезінде уақыт өте келе нөлге ұмтылады).

Дифференциалды теңдеудің жеке шешімі (4.33) дифференциалды теңдеуінің оң жақ бөлігі түрінде анықталады. Егер, мысалы, ол жерде $u = e^{-t}$ экспонентальды функциясы тұрса, онда жеке шешімді де $y_{\text{частн.}} = C e^{-t}$ экспонента түрінде табу қажет. Егер $u = \mathbf{1}(t)$, онда оны $y_{\text{частн.}} = C$ константа түрінде табу қажет. C -ті анықтау үшін жеке шешімді дифференциалды теңдеуге қою керек. Туынды тұрақты нөлге тең екенін ескерсек, онда соңғы жағдайда $C=1$ екенін табамыз.

C_1, C_2 тұрақтыларының мәндері бастапқы шарттар шешімінен алынған алмастыру жолымен табылады. Мысалы, бастапқы шарт нөл болған жағдайда және C_1 және C_2 тұрақтылары $y(t) = C_1 e^{r_1 t} + C_2 e^{r_2 t} + 1$ шешімі түрінде төмендегі теңдеу жүйесімен анықталады:

$$C_1 + C_2 + 1 = 0; \quad r_1 C_1 + r_2 C_2 = 0.$$

Нысанның тапсырмамен міндетіне (4.33) типінің n -ретті дифференциалды теңдеуі бірінші ретті дифференциалды теңдеу жүйесі көмегімен көп қолданылады. Бұл сипаттама матрицалық сипаттама немесе күй теңдеуі көмегімен жазылған сипаттама түрінде танымал.

4.3.3. Күй теңдеуі көмегімен берілген сипаттама

Жоғарыда келтірілген 2.5-мысалда күй теңдеуінде келтірілген дифференциалды теңдеу түріндегі АБЖ сипаттама берілген. Шынында, Жоғарғы математика курсына кейбір жоғарғы ретті дифференциалды теңдеу түрлері бірінші ретті дифференциалды теңдеулер жүйесі ретінде келтірілуі мүмкін екендігі дәлелденеді.

Бұл жағдайда, бірінші ретті буыннан құралған құрылымдық сұлба түріндегі АБЖ сипаттамасы берілген кезде төменде келтірілген әдісті қолдану ыңғайлы.

Құрылымдық сұлбаны күй айнымалысы сипатында қолданамыз және бірінші ретті буындардың шығыс сигналдарынан басталатын x_1 және x_2 айнымалыларын қабылдаймыз. Құрылымдық сұлбадан буынның шығыс сигналдары мынаған тең екендігін көреміз:

$$x_1 = W_1(s)(u - x_2), \quad x_2 = W_2(s) \cdot x_1.$$

Бұл теңдеулерге $y = x_2$ шығыс сигнал үшін алгебралық теңдеу қосу керек.

Матрицалық түрде күй теңдеуі мына түрде болады:

$$\dot{X} = \bar{a}X + \bar{b}u, \quad Y = \bar{c}X, \quad (4.34)$$

$$X = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}, \quad \bar{a} = \begin{bmatrix} -1/T_1 & -k/T_1 \\ 1/T_2 & 0 \end{bmatrix}, \quad \bar{b} = \begin{bmatrix} -k/T_1 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad \bar{c} = [01]$$

Күй кеңістігінде күй матрицасын қолдана отырып орнықтылықты, басқаруды, бақылауды және басқа да жүйе сипаттамаларын бағалауға болады.

Сипаттамалардың барлық қарап шығылған түрлері (4.32–4.34) бір бірімен тығыз байланысты. Бір сипаттаманы білу арқылы (түрлендіргіш операторлары), қалғандарын алуға болады. Мысалы, $\bar{a}, \bar{b}, \bar{c}$ матрицалары арасындағы байланыс күй кеңістігі және беріліс функциясы жүйесінің сипаттамасы $W(s)$ келесі теңдікпен беріледі:

$$W(s) = \bar{c}(sE - \bar{a})^{-1}\bar{b} \quad (4.35)$$

мұндағы s – Лаплас операторы, E – бірлік матрица.

Күй кеңістігі сипаттамасының дұрыстығын анықтау үшін ертеректе алынған (4.32) формуласымен $W(s)$ түрлендіргішін салыстыру және (4.35) формуласы бойынша $W(s)$ -ті анықтау ұсынылады.

4.3.4. АБЖ басқарылынуы және бақылануы

Күй теңдеуінде берілген жүйенің басқарылынуы мен бақылануын бағалау үшін $\bar{a}, \bar{b}, \bar{c}$ матрицасы түрінде құрамыз, екі көмекші матрица

$$R = [\bar{b}, \bar{a}\bar{b}, \dots, \bar{a}^{n-1}], D = [\bar{c}, \bar{c}\bar{a}, \dots, \bar{c}\bar{a}^{n-1}].$$

R және D матрицалары сәйкесінше жүйенің басқарылыну матрицасы және бақылану матрицасы деп аталады.

Жүйе басқарылатын болуы үшін басқарылу матрицасы толық рангты $\text{rank} R = n$ болуы қажетті және жеткілікті.

АБЖ бақыланатын болуы үшін бақылану матрицасы толық рангты $\text{rank} D = n$ болуы қажетті және жеткілікті.

Бір кіріс және бір шығысты жүйе жағдайында R және D матрицалары квадратты, сондықтан бақылану және басқарылу үшін R және D матрицаларының анықтауыштарын есептеу жеткілікті. Егер олар нөлге тең болмаса, онда матрицалар толық рангты болады.

Бақылау сұрақтары:

1. Типтік динамикалық буындардың анықтамасы.
2. Апериодты буынның өтпелі функция графигі бойынша k және T коэффициенттерін қалай анықтаймыз.
3. Апериодты буындарды жүзеге асыру мысалдары.
4. Апериодты буынның беріліс функциясы.
5. Тербелмелі буынның беріліс функциясы.
6. Тербелмелі буынның өтпелі сипаттамасы.
7. Тербелмелі буынның фаза жиіліктік сипаттамасы.
8. Интегралдаушы буынның беріліс функциясы.
9. Интегралдаушы буынның АФЖС.
10. Интегралдаушы буынның өтпелі сипаттамасы.
11. Интегралдаушы буындарды жүзеге асыру мысалдары.
12. Дифференциалдаушы буынның беріліс функциясы.
13. Дифференциалдаушы буынның өтпелі сипаттамасы.
14. Дифференциалдаушы буынның амплитуда жиіліктік сипаттамасы.
15. Идеалды дифференциалдаушы буындардың мысалдары.
16. Кешігуші буындарының қасиеті.
17. Кешігуші буындардың мысалдары.
18. Кешігуші буындардың теңдеуі.
19. Құрылымдық сұлбалардың элементтері.
20. Буындардың тізбекті қосылысының сұлбасы.
21. Буындардың тізбекті қосылысы кезіндегі эквивалентті буындардың беріліс функциясы.

22. Буындардың параллель қосылысының сұлбасы.
23. Буындардың параллель қосылысы кезіндегі эквивалентті буындардың беріліс функциясы.
24. Буындардың қарсы-параллель қосылысы.
25. Кері байланыс мысалы мен түсінігі.
26. Теріс кері байланысты құрылымдық сұлба.
27. Қарсы-параллель қосылған буындар тізбегінің беріліс функциясы.

5-ТАРАУ. АБЖ ОРНЫҚТЫЛЫҒЫ

5.1. Орнықтылықты математикалық бағалау

Жоғарыда көрсетіп өткеніміздей барлық автоматиканың басқару жүйелері орнықты болуы қажет. Егер шектелген кіріс сигналында жүйе реакциясы шығыс сигнал ретінде де шектелген болса, онда АБЖ орнықты деп саналады. Көптеген автоматты басқару жүйелерінің теріс кері байланысы бар тұйықталған жүйесі болады. Осындай жүйелерде шығыс шама кері байланыс жүйесі арқылы кіріске беріледі, онда ол беруші әсермен салыстырылады. Осыдан өзінің функциясын қалыпты орындап жатқан жүйе, жүйенің орнықтылығы үшін сипатты жіберілетін ауытқуларын қамтамасыз ете отырып беруші және шығыс сигналдар арасындағы айырмашылығын жояды. Орнықсыз жүйелер үшін осы ауытқулар уақыт өткен сайын өсе бастайды.

Тұйықталған АБЖ орнықтылыққа зерттеу барысында математикалық зерттеулердің ыңғайлылығына байланысты жүйенің еркін қозғалысы қарастырылады. Жүйенің еркін қозғалысы кіріс қоздырылған сигналдың берілуі және алынуынан кейінгі жүйенің қасиетімен анықталады.

Орыс ғалымы А. М. Ляпунов механикалық жүйелер мысалында көрсеткендей, егер еркін қозғалыстағы жүйе орнықты болса, онда қозу әсер етіп тұрған жүйе де орнықты болып келеді.

Осы қортындыны автоматты басқару жүйелеріне қолдана отырып, орнықтылық үшін қозған қозғалыс нәтижесінде қозу әсер етуі тоқтаған соң қозбаған күйге қайта орала алатын жүйенің қабілеттілігі қарастырылады.

Айталық, қозу әрекеті жоқ кезде s шығыс сигналы $y_{s0}(t)$ ($s = 0, 1, \dots, n$) функцияларымен, ал қозу әрекетінде $y_s(t)$ функциясымен сипатталсын.

Орнықты (еркін) қозғалыстан қозған қозғалысқа ауытқуы:

$$\Delta y_s(t) = y_{s0}(t) - y_s(t)$$

(-) белгісі теріс кері байланысты білдіреді. Бастапқы кезде ауытқу $\Delta y_s(0)$ болады.

Орнықтылықтың математикалық шартын келесідей қалыптастыруға болады: қозбаған қозғалыс орнықты болады, егер қандай да

бір оң аз сан μ үшін өзіне тәуелді болып келетін басқа санды ζ алуға болса, ол барлық қозған қозғалыстар үшін бастапқы шарт кезінде төмендегі өрнек орындалады

$$|\Delta y_s(0)| < \zeta(\mu)$$

барлық $t > 0$ үшін төмендегі теңсіздік орындалады:

$$|\Delta y_s(t)| < \mu.$$

Егер $\zeta(\mu) = \infty$ болса, онда жүйе шексіз орнықты деп аталады, яғни ол кез келген бастапқы шарттарда орнықты.

Тұйықталған жүйенің еркін қозғалысы келесі дифференциалдық теңдікпен сипатталады:

$$a_n \frac{d^n \Delta y}{dt^n} + \dots + a_1 \frac{d \Delta y}{dt} + a_0 \Delta y = 0 \quad (5.1)$$

Бастапқы шарты $\frac{d^k \Delta y}{dt^k} = \Delta y^{(k)}(0)$ болған кезде, мұндағы $k = 0, 1, \dots, n$.

(5.1) дифференциалды теңдеуінің шешімі келесі өрнекпен беріледі:

$$\Delta y(t) = \sum_{k=1}^n C_k e^{p_k t}. \quad (5.2)$$

Мұндағы C_k – бастапқы шартқа тәуелді интегралдау тұрақтысы, p_k – сипаттама теңдеуінің түбірі

$$a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \dots + a_1 p + a_0 = 0. \quad (5.3)$$

(5.2) өрнегін шешу кезінде жүйе орнықты болу үшін келесі шарт орындалуы керек:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \Delta y(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} \sum_{k=1}^n C_k e^{p_k t} = 0.$$

Сызықты АБЖ орнықтылығының қажетті және жеткілікті шарты сипаттама теңдеуінің барлық түбірлері (кешенді түбірлердің нақты және жорамал бөліктері) теріс болуы жеткілікті.

(5.3) теңдеуінің сипаттама теңдеуі жүйенің дифференциалдық теңдеуі бойынша немесе беріліс функциясы бойынша табылуы мүмкін.

Жоғарыда көрсетілгендей, тұйықталған АБЖ орнықтылыққа тексеру кезінде еркін жағдайдағы АБЖ қарастырылады. 5.1-суретте $W_0(s)$, $W_p(s)$ -ға сәйкес беріліс функциясын реттегіштен және басқару нысанынан құралған еркін жағдайдағы карапайым түрдегі тұйықталған АБЖ құрылымдық сұлбасы көрсетілген.

Орнықтылыққа тексеру барысында, қарапайым өрнегі бар БФ тәуелді шартты тұйықталмаған жүйе немесе беріліс функциясының тұйықталған жүйесі шығыс болып табылады.

5.1-суретте тұйықталған тізбектің шартты айырымын қабылдау көрсетілген.

Тұйықталған АБЖ БФ өрнегі 4.31 өрнегінен мына түрде алынған болуы мүмкін:

$$W_s(s) = \frac{W_o(s)}{1 \pm W_p(s) \cdot W_o(s)} \quad (5.4)$$

Тұйықталмаған АБЖ БФ өрнегі (4.21) өрнегіне сәйкес мына түрде болады:

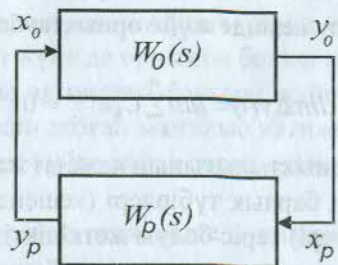
$$W_{ам}(s) = W_o(s) \cdot W_p(s)$$

Теріс кері байланыс жағдайында $W_{ам}(s)$ көбейткіші орнына (5.4) өрнегінің бөліміндегі көбейтіндісін қойсақ мына өрнекті аламыз:

$$W_s(s) = \frac{W_o(s)}{1 + W_{ам}(s)} \quad (5.6)$$

Егер (5.4) өрнегіндегі әрбір БФ көбейткішін $W_o(s) = \frac{B(s)}{A(s)}$, $W_p(s) = \frac{D(s)}{C(s)}$ көпбуынды қатынасы түрінде қабылдасақ, алымы мен бөлімін қоссақ және барлық қосындыны нөлге теңестірсек, онда жоғарғы ретті алгебралық өрнекті аламыз:

$$B(s)D(s) + A(s)C(s) = 0.$$



5.1-сурет. АБЖ кеңейтілген сұлбасы

Түбір таңбаларын анықтау мақсатында сипаттама теңдеуінің аналитикалық шешімі, әсіресе егер олар жоғары ретті алгебралық теңдеу түрінде ұсынылса, көп шығынды және күрделі болып келеді. Сондықтан, автоматты басқару теориясында осындай теңдеулерді шешпей сипаттама теңдеулерінің түбір таңбаларын анықтауға мүм-

кіндік беретін жанама әдістер қолданылады. Осы әдістер бастапқы берілгендерге сәйкес келесі критерияларды қолданады: Раус-Гурвиц, Михайлов, Найквист, Боде диаграммасы (ЛАЖС) және басқалары.

5.2. Гурвиц орнықтылығының алгебралық критерийі

Бұл өлшем сипаттама теңдеуінің реті 5-тен жоғары емес болғанда қолданылады. Осы өлшемнің артықшылығы есепті шешудің қарапайымдылығында болып келеді. Гурвиц өлшемін қолданудағы кемшілігі, ол АБЖ жеке алынған элементтерінің жалпы жүйе орнықтылығына әсер етуін анықтауға мүмкіндік бермейтінде болады. Мына сипаттама теңдеуімен берілген автоматты басқару жүйесіне Гурвиц өлшемін қолданайық.

$$a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \dots + a_1 p + a_0 = 0$$

Жүйе орнықты болады, егер Гурвиц анықтаушы және оның барлық диагональ минорлары оң болған жағдайда, яғни

$$\Delta_n > 0, \Delta_{n-1} > 0, \dots, \Delta_2 > 0, \Delta_1 = a_{n-1} > 0.$$

Гурвиц анықтаушы белгілі ереже бойынша құрылады, яғни диагональ бойымен коэффициенттерді a_{n-1} -ден бастап кему ретімен орналастырады. Содан, анықтаушы бағанын толтырады, жоғары диагональ элементтерін индекстерінің кему ретімен, ал төменгі диагональ элементтерін өсу ретімен орналастырады. Егер коэффициенттері болмаса, онда сәйкес элемент нөлге тең болады.

$$\Delta_n = \begin{vmatrix} a_{n-1} & a_{n-3} & \dots & \dots & 0 \\ a_n & a_{n-2} & \dots & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & a_1 & 0 \\ 0 & \dots & \dots & a_2 & a_0 \end{vmatrix}$$

Әр диагональдағы минор, Δ_{n-1} -ден бастап жоғары ретті минормен (мұнда Δ_n болады) оң жақ бағанын және төменгі қатарды сызу жолымен табылады.

5.1-мысал

$p^3 + 16p^2 + 32p + 10 = 0$ сипаттама теңдеуімен берілген үшінші ретті дифференциалдық теңдеумен сипатталатын АБЖ орнықтылығын Гурвиц өлшемі көмегімен анықтау қажет.

Гурвиц анықтауышын құрамыз:

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} 16 & 10 & 0 \\ 1 & 32 & 0 \\ 0 & 16 & 10 \end{vmatrix} = 5020.$$

Диагональды минорлардың таңбасын анықтаймыз:

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} 16 & 10 \\ 1 & 32 \end{vmatrix} = 502; \quad \Delta_1 = 16$$

Осыдан, АБЖ орнықты екенін көреміз, себебі Гурвиц бойынша орнықтылық шарты орындалып тұр.

5.3. Орнықтылықтың жиіліктік критерийлері

Төменде қарастырылатын жиіліктік өлшемдер жазықтықтағы жиіліктік сипаттамаларын талдауға негізделген.

Жиіліктік әдістердің артықшылығы:

- графикалық кескіндердің көркемділігі;
- эксперименталді жолмен табылған жиіліктік сипаттаманы қолдана отырып, күрделі дифференциалдық теңдеулерді шешу қажеттілігінің керек есемтігі;
- АБЖ нақты алынған көрсеткішінің орнықтылыққа әсерін талдау мүмкіндігі;
- өтпелі үрдістің сапасын талқылау мүмкіндігі.

Күрделі жүйелерді талдау үшін қолданылатын Михайлов өлшемін қарастырайық.

5.3.1. Михайловтың орнықтылық критерийі

Михайлов өлшемі бойынша орнықтылық анализі үшін берілген болып толық тұйықталған АБЖ сипаттамасы алынады

$$A(s) = a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_0.$$

Егер $A(s)$ полиномына тек жорамал мәндерді $s = j\omega$ қойсақ, онда келесі түрдегі кешенді полиномды аламыз:

$$D(j\omega) = a_0 (j\omega)^n + a_1 (j\omega)^{n-1} + \dots + a_n = X(\omega) + jY(\omega) = |D(j\omega)| e^{j\theta(\omega)}$$

мұндағы,
$$\left. \begin{aligned} X(\omega) &= a_n - a_{n-2}\omega^2 + a_{n-4}\omega^4 - \dots \\ Y(\omega) &= \omega(a_{n-1} - a_{n-3}\omega^2 + a_{n-5}\omega^4 - \dots) \end{aligned} \right\}$$

- сәйкес Михайловтың нақты және жорамал функциялары.

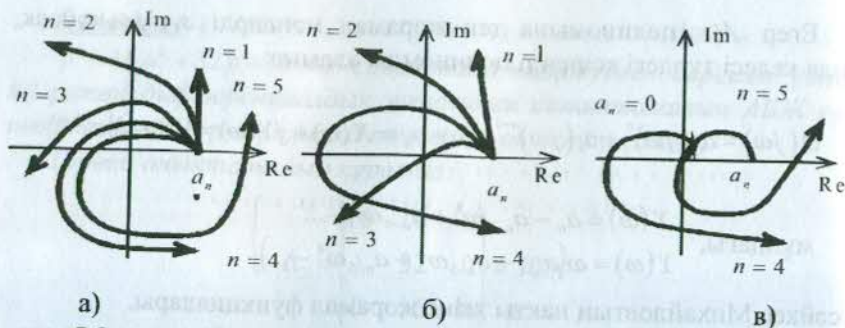
ω жиілігінің өзгерісі кезінде $D(j\omega)$ векторы бағыты және шамасы бойынша өзгере отырып, оның ұшымен қисық сызылады, оны Михайлов қисығы (годографы) деп атайды.

Сызықты жүйе орнықты болу үшін жиілігі ω 0-ден ∞ дейін өзгерісі кезінде $D(j\omega)$ векторы ешбір жерде нөлге айналмай, координата басы айналасында сағат тіліне қарсы $n \frac{\pi}{2}$ бұрышқа бұрылса (мұндағы n - сипаттама теңдеуінің дәрежесі), онда орнықтылыққа осы шарт жеткілікті және қажетті.

Кешенді жазықтық бір біріне $\frac{\pi}{2}$ бұрышта орналасқан остермен төрт квадрантқа бөлінгендіктен өлшемді келесідей айту қолайлы: Михайлов годографы ω жиілігі 0-ден ∞ дейін өзгергенде, $\omega = 0$ он жақты жарты остен басталып кешенді жазықтықтың n квадранттар санын сағат тілінің бағытына қарсы кезектеп өтсе, n - сипаттама теңдеуінің дәрежесі, онда ол сызықты жүйе орнықты болуы үшін қажетті және жеткілікті шарты болады.

Орнықты жүйелер үшін Михайлов қисығы спираль тәріздес түрге ие және де оның ұшы сипаттама теңдеуінің дәрежесіне тең координата жазықтығының квадрантында шексіздікке ұмтылады.

5.2 а-суретте бірінші реттен ($n = 1$) бастап және бесінші ретті ($n = 5$) теңдеулермен сипатталатын орнықты жүйелер үшін Михайлов қисықтары көрсетілген. Салыстыру ыңғайлы болуы үшін барлық жағдайда a_n коэффициенттерін бірдей аламыз. 5.2 б-суретте орнықсыз жүйелердің Михайлов қисығы көрсетілген. 5.2 в-суретте орнықтылық шекарасында орналасқан жүйелердің Михайлов қисығы көрсетілген.



а) б) в)
5.2-сурет. Михайлов годографтарының түрлі мысалдары

Михайлов өлшемі жоғары тәртіпті АБЖ үшін қолдануға ыңғайлы, мысалы, $n = 6, 8, 10$ кезінде.

5.3.2. Найквист орнықтылығының өлшемі

Бұл критерийді АБЖ алгебралық немесе эксперименталды жиілік сипаттамалары берілген жағдайда және сипаттама теңдеуі жоғары ретті болған жағдайларда қолданады. Оның артықшылығы, белгілі көрсеткіштің жүйенің орнықтылығына әсерін зерттеу мүмкіндігінде және эксперимент нәтижелерін қолдана алуында тұрады. Найквист өлшемі графоаналитикалық әдіс болып табылады және де MATLAB ортасында құрылуы мүмкін болатын график тұрғызуды талап етеді (5.2-мысал).

Найквист өлшемі АФЖС бойынша нәтижесінде айыру арқылы алынған тұйықталмаған жүйелердің орнықтылығы жөнінде есепті шешуге мүмкіндік береді (5.1-сурет).

(5.6) өрнек бойынша тұйықталмаған жүйенің шығыс сигналы мынаған тең:

$$Y(s)[1 + W_{\text{авт}}(s)] = X(s)W_o(s).$$

Кіріс әсерлерді нөлге тең деп алғанда,

$$1 + W_{\text{авт}}(s) = 0.$$

(5.5) теңдігін есепке ала отырып табатынымыз:

$$A_{\text{авт}}(s) + B_{\text{авт}}(s) = 0.$$

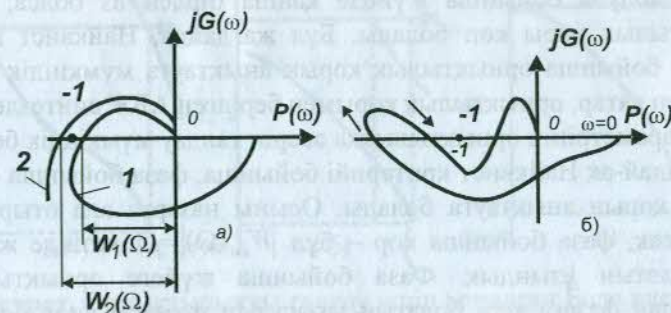
Нақты жүйелерде $B_{\text{авт}}(s)$ полиномының дәрежесі $A_{\text{авт}}(s)$ полином дәрежесінен аз болғандағы динамикалық буындардың инерциялы-

ғын есепке алатын болсақ, онда орнықтылықты $A_{\text{авт}}(s)$ полиномының түбірі бойынша анықтауға болады. s -операторын $j\omega$ -ға алмастырып АФЖС тұрғызылады.

Орнықтылықты бағалау үшін $n \leq 2$ кезінде кешенді жазықтықта $P(w)$, $G(w)$ координатасымен немесе $n > 2$ полярлы жүйе координатасында тұйықталмаған жүйенің амплитуда фазалы жиілік сипаттамасы (АФЖС) тұрғызылады.

$$W_{\text{авт}}(j\omega) = A(\omega)e^{j\phi(\omega)} = P(\omega) + jG(\omega).$$

Мұндағы $W_{\text{авт}}(j\omega)$ тұйықталмаған жүйенің (5.1-мысал) беріліс функциясы ол кешенді беріліс $W(s)$ функциясынан s айнымалысын $j\omega$ -ға ауыстыру жолымен алынады. $A(\omega)$, $j(\omega)$ – сәйкесінше амплитудалы және фазалы жиілік сипаттамалары. $P(\omega)$, $G(\omega)$ – жиілік сипаттаманың нақты және жорамал бөліктері. 0-ден ∞ -ке дейінгі аралықта ω -ға мәндер бере отырып кешендік жазықтықта нүктелерді табады және АФЖС жиілік сипаттамасын тұрғызады.



5.3-сурет. Найквист критерийі бойынша АБЖ орнықтылығын анықтау үшін АФЖС графиктері

Мысалы әдебиетте [1] Найквист өлшемі дәлелденіп келесідей тұжырымдалады:

– егер тұйықталмаған АБЖ орнықты немесе орнықтылық шекарасында тұрса, онда тұйықтау нәтижесінде алынған АБЖ орнықты болуы үшін, 0-ден ∞ аралығында ω өзгерісі кезінде тұйықталмаған жүйенің АФЖС кешенді жазықтықта координатасы $(-1, j0)$ болатын нүктені қамтымауы қажетті әрі жеткілікті болады;

– егер тұйықталмаған жүйе орнықсыз болса, ал оның БФ жорамал остің оң жағында m полюсі болса, онда тұйықталған

жүйенің орнықтылығы үшін, 0-ден $-\infty$ аралығында ω өзгерісі кезінде кешенді жазықтықта координатасы $(-1, j0)$ болатын нүктені тұйықталмаған жүйенің АФЖС m рет камтуы қажетті әрі жеткілікті.

5.3 а-суретте тұйықталмаған жүйе орнықты болған кезде, 1 қисығы орнықты АБЖ АФЖС, 2 қисығы орнықсыз АБЖ АФЖС көрсетілген. 5.3 б-суретте $m=4$ болатын, орнықсыз тұйықталмаған жүйенің АБЖ АФЖС көрсетілген. Осы жүйе тұйықталғанда орнықты болады, себебі $P(w)$ осімен қисықтың қиылысуы $(-1, j0)$ нүктесінен солға қарай төменнен жоғары қарай қиылысуы жоғарыдан төменге қарай қиғанмен тең.

Найквист өлшеміне сүйене отырып орнықтылық қорын анықтау үшін орнықтылық шартын тұжырымдауға болады.

Егер $\varphi(\Omega) = -\pi$ болған кезде $\omega = \Omega$ деп белгілесек, онда тұйықталған жүйе $|W_{ам}(\Omega)| < 1$ кезінде орнықты және $|W_{ам}(\Omega)| > 1$ кезінде орнықсыз болады. 5.3а-суретте орнықты жүйе үшін $|W_1(\Omega)| < 1$, ал орнықсыз жүйе үшін $|W_2(\Omega)| > 1$ екені көрсетілген. Бұдан шығатыны, модуль бойынша жүйеде қанша бірден аз болса, сонша орнықтылық қоры көп болады. Бұл жағдайда, Найквист қисығы модуль бойынша орнықтылық қорын анықтауға мүмкіндік береді, сонымен қатар, орнықтылық қорымен берілген АБЖ синтездеу үшін жүйе параметрінің орнықтылыққа әсерін талдау мүмкіндік береді.

Сондай-ақ Найквист критерийі бойынша, фаза бойынша орнықтылық қорын анықтауға болады. Осыны назарға ала отырып қарастырсақ, фаза бойынша қор – бұл $|W_{ам}(\Omega)| = 1$ кезінде жиілікте анықталатын ұзындық. Фаза бойынша жүйеге орнықтылықты жоғалтпай фазаға кері болатын ығысудың шамасы фаза бойынша қорды білдіреді.

5.3.3. Боде (ЛАЖС) диаграммасын тұрғызу жолымен орнықтылықты анықтау

АБЖ орнықтылығын Найквист өлшемі бойынша талдау кейбір жағдайларда Боде диаграммасын құру әдісімен соның ішінде ЛАЖС (3.10) көмегімен

$$L(w) = 20 \lg A(w)$$

және фазалы жиіліктік сипаттамасымен (3.9)

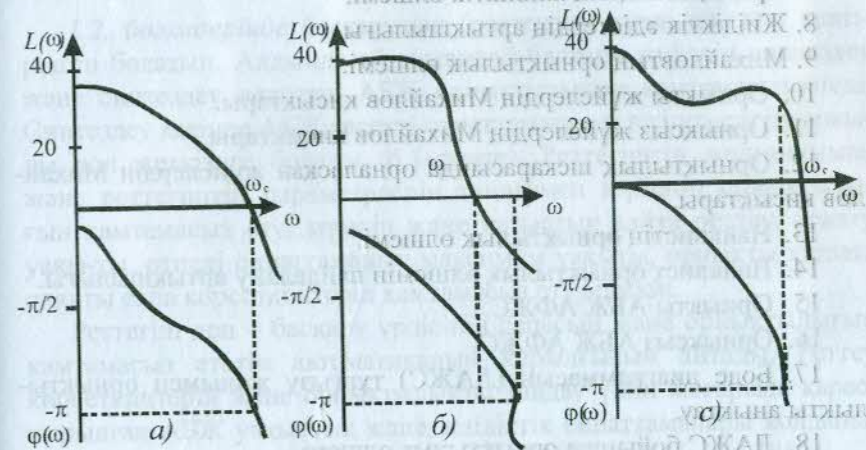
$$\varphi(\omega) = \operatorname{arctg} \frac{G(\omega)}{P(\omega)}$$

жүргізу ыңғайлы.

Бұл әдістің артықшылығы ЛАЖС қолдан құрудың және 3.3.2 бөлімде көрсетілгендей, Боде диаграммасы жүйенің сапалы сипаттамаларын талдау үшін қолданудың ыңғайлылығы болып табылады.

Осы жағдайда орнықтылық өлшемі келесідей тұжырымдалады: егер жиіліктік сипаттамасы L мәніне жеткен кезде ЛАЖС теріс болса, тұйықталған минималды фазалы жүйе орнықты болады. Минималды фазалы жүйе деп БФ өрнегіндегі алымының реті бөлімінің ретінен төмен және нөлдері оң жақ жарты жазықтықта орналасқан жүйені атайды.

ЛАЖС мен ω осінің қиылысуы кескін қиылысуымен ω_c сипатталады.



5.4-сурет. Орнықтылықты талдау үшін арналған Боде қисығы

5.4 а-суретте $\varphi = -\pi$ кезінде ЛАЖС ординатасы теріс мәнге ие және бұл жүйенің орнықтылығына сәйкес келеді. ЛАЖС терістігі $\varphi(\omega) = -\pi$ кезінде АФЖС тұйықталған жүйесі $(-1, j0)$ нүктесін қамтитынын көрсетеді.

5.4 б-суретте $\varphi = -\pi$ кезінде ЛАЖС ω осімен қиылысқан кездегі сәйкес келетін шектік шартты графигі көрсетілген.

5.4 с-суретте АБЖ күйінің орнықсыз жағдайы көрсетілген. Мұнда $\varphi = -\pi$ болған кезде кескін жиілігіне сәйкес ЛАЖС ординатасы оң.

Бақылау сұрақтары:

1. Ляпунов бойынша орнықтылықтың математикалық шарты.
2. Ляпунов бойынша сызықты АБЖ орнықтылығының қажетті және жеткілікті шарттары.
3. Жүйенің беріліс функциясы бойынша сипаттама теңдеуі қалай анықталады?
4. Дифференциалдық теңдеулердің шешімінсіз сипаттама теңдеу түбірлерінің таңбаларын анықтауға мүмкіндік беретін жанама әдістер.
5. Гурвиц орнықтылығының алгебралық өлшемі.
6. Гурвиц анықтауышы Δ_n .
7. Орнықтылықтың жиілік өлшемі.
8. Жиілік әдістердің артықшылығы.
9. Михайловтың орнықтылық өлшемі.
10. Орнықты жүйелердің Михайлов қисықтары.
11. Орнықсыз жүйелердің Михайлов қисықтары.
12. Орнықтылық шекарасында орналасқан жүйелердің Михайлов қисықтары.
13. Найквистің орнықтылық өлшемі.
14. Найквист орнықтылық өлшемін пайдалану артықшылығы.
15. Орнықты АБЖ АФЖС.
16. Орнықсыз АБЖ АФЖС.
17. Боде диаграммасын (ЛАЖС) тұрғызу жолымен орнықтылықты анықтау.
18. ЛАЖС бойынша орнықтылық өлшемі.
19. Модуль бойынша орнықтылық қорын қалай анықтауға болады?
20. Фаза бойынша орнықтылық қорын қалай анықтауға болады?

6-ТАРАУ. АБЖ СИНТЕЗДЕУ ӘДІСТЕРІ

Синтездеу әдістері қажетті қасиеттерге ие автоматты басқару жүйелерін құру үшін қолданылады. Синтез есептерін шешу кезінде АБЖ алдын ала өзгермейтін бөлікке бөледі, мысалы, басқару нысаны (БН) және өзгертін бөлім – басқару құрылғысы (БК). Синтездеу әдістерін қолдана отырып, қажетті қасиетті АБЖ алу үшін қажетті құрылымды және БК буындарының сипаттамаларын алу қажет.

6.1. Сызықты үздіксіз АБЖ реттеу заңдары

1.2. бөлімдерінде басқарудың (реттеудің) түрлі әдістері келтірілген болатын. Алдында айтылғандай басқару жүйесін анализдеу және синтездеу есептері АБЖ орнықтылығын қамтамасыз етеді. Синтездеу кезінде АБЖ керекті сипаттамаға реттегішті енгізу арқылы қол жеткізуге болады (6.1-сурет). Реттегіштің жалғануымен және реттегіштің параметрлерін таңдаумен жүйенің орнықтылығын қамтамасыз етуі мүмкін және қатыстық қайта реттеу, орнату уақыты, өтпелі сипаттаманың максимум уақыты, орнықты қателік сияқты сапа көрсеткіштерін қамтамасыз ету мүмкін.

Реттегіш деп – басқару үрдісінің сапасын және орнықтылығын қамтамасыз ететін автоматиканың құрылғысын айтады. Реттеу көрсеткіштерін және орнықтылықты талдау үшін жоғарыда қарастырылған АБЖ уақыттық және жиілік сипаттамалары қолданылады.

Айталық $\Delta y(t)$ шамасы, шығыс шамасының қажетті мәнінен $y^p(t)$ нақты мәнінің $y(t)$ айырымына тең шама, ол басқару (реттеу) қателігі деп аталады және мынаған тең:

$$\Delta y(t) = y^p(t) - y(t) \quad (6.1)$$

Басқару нысанына кіріс әсерді $u(t)$ қателік шамасымен байланыстыратын тәуелділікті реттеу заңы деп атайды, оны келесі түрде ұсынуға болады:

$$u(t) = F[\Delta y(t)]. \quad (6.2)$$

Әсер бойынша қосымша компенсациялы бар аралас жүйе үшін реттеу заңын келесі түрде беруге болады:

$$u(t) = F[\Delta y(t), f(t)]. \quad (6.3)$$

Төменде жалпы түрде реттеудің сызықты заңдылығын жүзеге асыру мүмкіндіктері қарастырылған, ол келесі тәуелділікпен сипатталады:

$$u(t) = k_1 \Delta y(t) + k_2 \int_0^t \Delta y(t) dt + k_3 \frac{d\Delta y(t)}{dt}. \quad (6.4)$$

Тәжірибе жүзінде реттеу заңы бойынша реттегіштің 5 түрі қолданыста кең тараған, олар: пропорционалдық, интегралдық, пропорционалдық-интегралдық, пропорционалдық-дифференциалдық және пропорционалдық-интегралдық-дифференциалдық.

Пропорционалдық реттегіште (П-реттегіші) бір баптау параметрі бар. Оның беріліс функциясы (БФ) пропорционалды типтік динамикалық буынның (ТДБ) беріліс функциясына сәйкес келеді:

$$W(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = k_1, \quad (6.5)$$

мұндағы, k_1 – күшейту коэффициенті.

Реттегіштің беріліс функциясына кіретін коэффициенттерді олардың баптау параметрлері деп атайды. П-реттегішінің құрылымындағы k_1 коэффициенті 0,1-ден 40-қа дейінгі диапазонда өзгеруі мүмкін.

Берілген жағдайда құрылғы жоғары тез әрекеттікке ие.

Интегралдық (астатикалық) немесе И-реттегішінде де баптау параметрі біреу. Оның беріліс функциясы астатикалық ТДБ беріліс функциясына сәйкес келеді:

$$W(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{1}{T_u s}, \quad (6.5)$$

мұндағы T_u – интегралдау уақыты.

И-реттегішінің кейбір құрылымдарында баптау параметрі T_u 1-ден 2000 с диапазон аралығында өзгеруі мүмкін.

И-реттегішті АБЖ орнықты режимде жоғары дәлдікке ие, бірақ осы жағдайда жүйе тербеліске бейімді және тез әрекеттігі төмендей түседі.

Пропорционалдық-интегралдық немесе ПИ-реттегішінде баптау параметрі екеу. Реттегіштің осы түрі өнеркәсіптік автоматты басқару жүйелерінде жиі қолданылады. Оның беріліс функциясы келесі түрге ие:

$$W(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = k_1 + \frac{k_1}{T_u s}. \quad (6.6)$$

Осы типті реттегіштің баптау параметрі күшейту коэффициенті k_1 және интегралдау уақыты T_u болып табылады. Оның беріліс функ-

циясы ПИ-реттегіші құрылымына салынған элементтердің параллель қосылған пропорционалды және интегралды құрастырушыларының қосындысына тең. Демек, ПИ-реттегішінің интегралды құраушысы істен шықса, онда ол П-реттегіші ретінде жұмыс жасай береді, ол оның жұмысының сенімділігін арттырады. Айталық, И-реттегіші жүйе орнықтылығының қорын төмендетеді.

Пропорционалдық-дифференциалдық немесе ПД-реттегішінде реттеудің екі параметрі бар. Оның БФ мына түрде болады:

$$W(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = k_1(1 + T_D s), \quad (6.7)$$

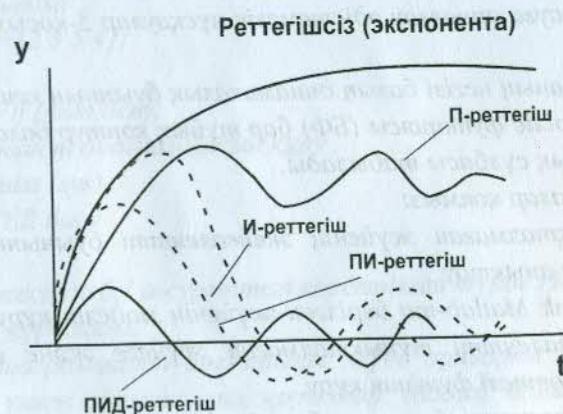
мұндағы, T_D – дифференциалдау уақыты.

ПД-реттегіштерінің кейбір құрылымында баптау параметрі T_D 1-ден 200с. диапазон аралығында өзгереді.

Пропорционалдық-интегралдық-дифференциалдық немесе ПИД-реттегішінде баптау параметрі үшеу. Оның беріліс функциясы келесі өрнекпен өрнектеледі:

$$W(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = k_1 \left(1 + \frac{1}{T_u s} + T_D s \right), \quad (6.8)$$

яғни, осы реттегіште баптау параметрі үшеу болады: k_1 – күшейту коэффициенті, T_u – интегралдау уақыты, T_D – дифференциалдау уақыты.



6.1-сурет. Өртүрлі реттегіштермен жүйедегі нысан параметрлерін реттеу

Реттегіш түрін немесе реттеу заңын таңдау қиын. Нысанның беріліс функциялары бойынша реттегіштің қажетті түрін және оны жөндеудің тиімді параметрлерін анықтауға мүмкіндік беретін диаграммалар түрлері және эмпирикалық формулалары бар. Бірақ, тәжірибеде іріктеу әдісі жиі пайдаланылады: кезекпен реттегішті таңдайды, жұмыс сапасын және орнықтылыққа тексереді және егер алынған нәтижелер қанағаттандырылмаса, онда одан күрделі реттегішті таңдайды. Түрлі реттегіштерді пайдалану әсері 6.1-суреттегі қозғалыс заңдарымен бейнеленген. Статикалық нысан өздігінен түзелу қасиетіне ие, сондықтан оның реттегішсіз реттеу параметрі экспонента бойынша уақыт өтісімен өзгере отырып тұрақты мәнге келеді. П-реттегішті АБЖ статикалық қателік, ал ПИД-реттегішті АБЖ (ең күрделі және қымбат) минималды динамикалық қателік және реттеу уақыты бар.

6.1-мысал.

Студенттің өзіндік жұмысы (СӨЖ) үшін тақырыптар: Жүйенің орнықтылығын талдау.

Жұмыстың мақсаты: АБЖ орнықтылыққа талдау әдісін меңгеру және MATLAB бағдарламасын қолдануға дағдылану.

Төменде Найквист өлшемін қолданумен АБЖ орнықтылығын талдау үшін MATLAB бағдарламасын қолдану мысалы келтірілген. СӨЖ орындауға арналған әдістемелік нұсқаулар 3-қосымшада келтірілген.

Тапсырманың негізі болып динамикалық буынның кешенді және жиілікті беріліс функциясы (БФ) бар тұйық контур болатын АБЖ структуралық сұлбасы табылады.

Тапсырмалар қоямыз:

1. Тұйықталмаған жүйенің эквивалентті буынының беріліс функциясын анықтау.

2. Simulink Matlab-та берілген жүйенің моделін құру, сонымен қатар эквивалентті тұйықталмаған жүйеге және екі бірдей модель үшін өтпелі функция құру.

3. Эквивалентті буынның беріліс функциясы бойынша бөлім деңгейіндегі сипаттамаларды алу және Гурвиц өлшемі бойынша жүйенің орнықтылығын анықтау талап етіледі.

4. Эквивалентті буынның беріліс функциясы бойынша дифференциалды теңдік жүйесін және Фурье түрлендіргішін қолдана отырып жиілікті беріліс функциясы үшін өрнек алу.

5. Найквист өлшемі бойынша жүйенің орнықтылығын анықтау; реттегіш (датчик) параметрін өзгерте отырып модуль бойынша қордың көбеюіне қол жеткізу.

6. Қолмен Бode диаграммасын (ЛАЖС) құру

7. Компьютерлік модельдеу әдісімен сызылған және қолдан сызылған Бode диаграммаларын салыстыру.

5-7 тапсырмалар Matlab бағдарламалық өнімін қолданумен шешіледі, сондықтан, Бode диаграммасы мен Найквисттің, ЛАЖС диаграммасын қолданып MATLAB көмегімен жүйенің орнықтылығын талдауды орындауды қарастырамыз.

Айталық тұйықталмаған жүйенің беріліс функциясы мынаған тең болсын:

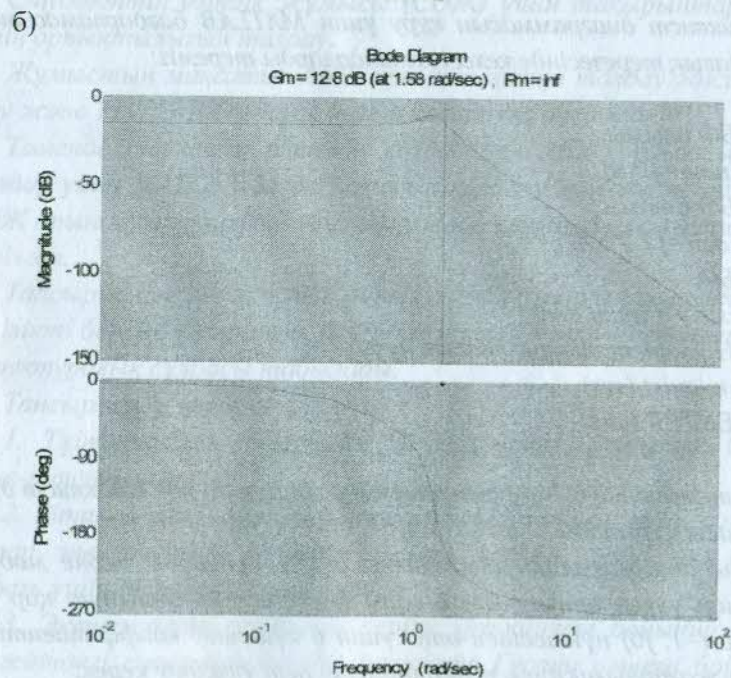
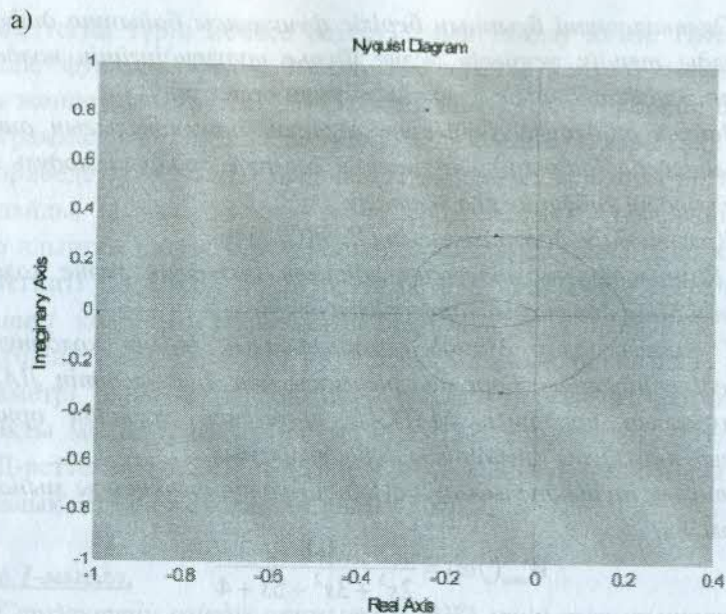
$$W_{am}(j\omega) = \frac{0.8}{2s^3 + 3s^2 + 5s + 4}$$

Найквист диаграммасын құру үшін MATLAB бағдарламасының командалық терезесінде келесі командаларды тереміз:

```
% БФ алымы
>> num=[0.8];
% БФ бөлімі
>> den=[2 3 5 4];
% БФ
>> sys=tf(num,den);
% Найквист диаграммасын құру
>> nyquist(sys)
% ENTER басу
```

Нәтижесінде 6.1 а-суреттегі көрсетілген түрде Найквист диаграммасы құрылады.

Осы диаграммадан шығатыны жүйе орнықты және модуль бойынша үлкен орнықтылық қоры бар. Модуль бойынша қор годограф $(-1, j0)$ нүктесінен өтуі үшін 6 күшейту коэффициентін k (біздің жағдайымызда $k = 0.8$) бірнеше рет үлкейту керек.



6.2-сурет. Найквист және Бode диаграммалары

Фаза және модуль бойынша орнықтылық қорын және Бode диаграммасы көмегімен қарастырылған жүйенің орнықтылығын анықтаймыз.

MATLAB бағдарламасындағы командалық терезеден келесі нұсқауларды тереміз:

```
% БФ алымы
>> num=[0.8];
% БФ бөлімі
>> den=[2 3 5 4];
% БФ
>> sys=tf(num,den);
% Бode диаграммасы құрылады
>> margin(sys)
% ENTER басы
```

Нәтижесінде 6.1 б-суретте көрсетілген Бode диаграммасын аламыз.

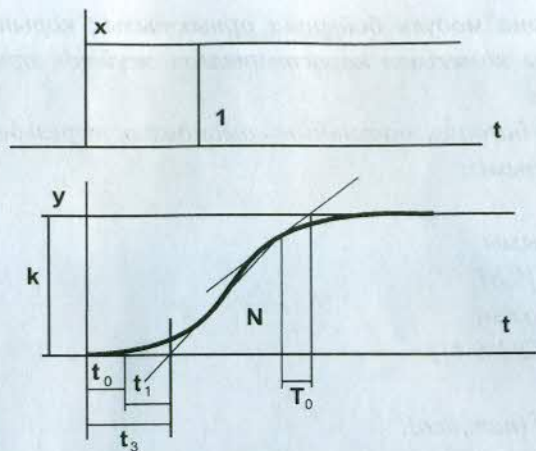
Жүйе орнықты, модуль бойынша қор $Gm=12.8$ дБ, фаза бойынша қор ($Pm=Inf$) біздің жағдайымызда диаграмманың астында жазылған жазудан көріп тұрғанымыздай анықталмаған.

1-қосымшада берілген динамикалық сипаттамаларды құру үшін Simulink LTI-Viewer қолданылуы бойынша [14] жұмыстан нұсқау берілген.

6.2. Бірнеше ТДБ жиынымен күрделі басқару, объектілерді аппроксимациялау

АБЖ синтездеу кезінде типті динамикалық буынын тәжірибеде қалай қолданылатынын қарастырамыз. Айталық, қандай да бір нақты басқару нысаны (БН) берілсін.

АБЖ анализ және синтез есебін шешу үшін беріліс функциясын және БН уақыт тұрақтысын орнату қажет. Ол үшін эксперименталды жолмен бірлік секіріске жүйе реакциясы ретінде екпін алу қисығы $u(t)$ тұрғызылады (6.2-сурет). Екпін алу қисығы бойынша шығыс



6.3-сурет. Екпін алу қисығы

сигнал алғашында транспортты кешігу деп аталатын t_0 қандай да бір уақытқа кешігеді. Ары қарай, $y(t)$ екінші ретгі аperiodтық буынның шығыс сигналы ретінде өзгереді, оның беріліс функциясы келесі түрде болады:

$$W(s) = \frac{k}{T s^2 + T \xi s + 1},$$

мұндағы, k – күшейту коэффициенті; T – уақыт тұрақтысы; ξ – демпферлеу коэффициенті.

Көрсетілген коэффициенттерді аналитикалық түрде анықтау әдетте күрделі болады. Сол себептен тәжірибеде коэффициенттері оңай табылатын ТДБ жиынтығын колданып $y(t)$ қисығын аппроксимациялау әдісі іске асырылады. қабылдауы қолданылады. Ол үшін (6.2-сурет) буынның иілуі N нүктесінде жанама жүргізіледі сол арқылы жанаманың t -осімен қиылысу нүктесінде анықталады сыйымдылықтың кешігу t_1 , уақыт. Қисықтың қалған бөлігі бірінші ретгі аperiodты буынның графигі ретінде қарастырылуы мүмкін. Осылайша, басқару нысаны екі буынның тізбекті қосылысымен аппроксимацияланады: кешігу уақытымен $t_3 = t_0 + t_1$ сипатталатын кешігуші және бірінші ретгі аperiodты буынмен (6.3-сурет).

БН



6.4-сурет. БН аппроксимациясы

Тізбекті біріккен буындардан құрылған БО беріліс функциясы келесі түрде ие:

$$W(s) = e^{-st_3} \frac{k}{T_0 s + 1}$$

k, T_0 коэффициенттері жоғарыда айтылған әдістермен оңай анықталады. Осы объектіні (6.3-сурет) кешігуші статикалық нысан деп атайды.

6.3. СЫЗЫҚТЫ АБЖ КОРРЕКТИРЛЕУ

АБЖ корректирлеу басқарудың қажетті сапасын қамтамасыз ету үшін корректирлеуші буынды енгізумен орындалады. Корректирлеудің бірнеше түрлері бар:

1. Тізбекті корректирлеу

Айталық, қажетті функция (корректирлеуден кейінгі) берілген және $W^*(s)$ -ға тең болсын. АБЖ өзгермейтін бөлігінің беріліс функциясы $W_c(s)$ болсын. Егер, біз берілген буынға беріліс функциясы $W_c(s)$ болатын буынды тізбектей жалғасақ, корректирлеуші буынның беріліс функциясы қандай болатынын анықтаймыз.

Эквивалентті буынның беріліс функциясы белгілі және оны $W^*(s)$ деп алып, 4.24 теңдігін қолдана отырып,

$$W_k(s) = \frac{W^*(s)}{W_c(s)}$$

түріндегі тәуелділік көмегімен тізбекті қосылған корректирлеуші буынның БФ аламыз.

2. Параллель корректирлеу

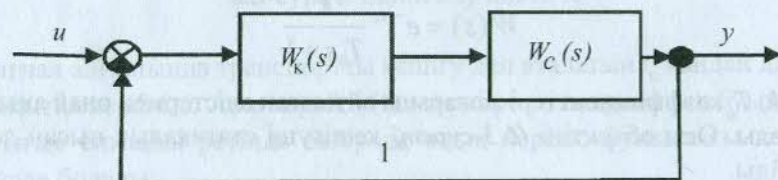
Енді корректирлеуші буынды берілген буынға параллель қосайық.

(4.27) теңдігін қолданайық. Эквивалентті буынның беріліс функциясы берілген және $W^*(s)$ деп аламыз. Сонда корректирлеуші буынның беріліс функциясы мынаған тең:

$$W_K(s) = W^*(s) - W_C(s).$$

3. Кері байланыс көмегімен корректирлеу

Түзетудің осы түрінде корректирлеу буын екі түрлі қосылуы мүмкін: біріншіден, ол кері байланыс тізбегіне тікелей қосылады (4.25-сурет); екіншіден, дара кері байланысты буынмен тізбекті қосылады (6.4-сурет).



6.5-сурет. Дара кері байланысты түзету сұлбасы

Бірінші жағдайда, корректирлеуші буынның беріліс функциясы (4.31) өрнегі көмегімен анықталады:

$$W_K(s) = \frac{W_C(s) - W^*(s)}{W_C(s)W^*(s)}$$

Екінші жағдайда, қарапайым түрлендірулерден кейін корректирлеуші буынның беріліс функциясын мына түрде аламыз:

$$W_K(s) = \frac{W^*(s)}{W_C(s)[1 - W^*(s)]}$$

Кері байланыс көмегімен корректирлеудің бір түрі бағынышты реттеу жүйесі болып табылады. Тізбекті бағынышты тұйықталған контурлары бар көпконтурлы болуы бағынышты реттеу жүйесінің ерекшелігі болып табылады. Ішкіден бастап, жеке-жеке әрбір контурдың параметрлерін синтездеу мүмкіндігінің болуы осындай жүйелердің артықшылығы болып келеді.

Бақылау сұрақтары:

1. Берілген қасиеттермен АБЖ қалай аламыз?
2. Реттегіш деп қандай құрылғыны атаймыз?
3. Басқару қателігі қалай анықталады?
4. Ауытқу бойынша реттеу заңын жазыңыз.
5. Қозу бойынша компенсацияланатын реттеу заңын жазыңыз.
6. Реттегіштің 5 түрін атаңыз.
7. Пропорционалды реттегіштің ерекшелігі және беріліс функциясы.
8. Интегралды реттегіштің ерекшелігі және беріліс функциясы.
9. Пропорционалды-интегралдық реттегіштің беріліс функциясы және ерекшелігі.
10. Пропорционалды-дифференциалдаушы реттегіштерінің ерекшеліктері және беріліс функциясы.
11. Пропорционалды-интегралды-дифференциалдаушы реттегіштерінің ерекшеліктері және беріліс функциясы.
12. Бірнеше ТДБ жиынымен күрделі басқару нысандарының аппроксимациясы.
13. Сызықты АБЖ корректирлеу міндеттері.

II БӨЛІМ. АВТОМАТИКАНЫҢ ҚОНДЫРҒЫЛАРЫ ЖӘНЕ ЭЛЕМЕНТТЕРІ

7-ТАРАУ. АВТОМАТИКА ЭЛЕМЕНТТЕРІ ЖӘНЕ ОЛАРДЫҢ СИПАТТАМАЛАРЫ

Автоматика элементтеріне функционалды бағыты бойынша келесі элементтер жатады: ақпараттық, салыстыру, күшейту, тапсырма беруші, есептеу, жадылық, логикалық, тарату және орындау элементтері. Бұл элементтердің кейбірі арнайы пәндерде қарастырылады, қалғандарын төменде қарастырамыз.

Атап өту керек, ең алғашқы Қазақстанда автоматиканың техникалық құралдары [5] пәні бойынша оқу құралын құрамында Г. М. Тоқтабаев, А. А. Афанасьев секілді Қазақстанның танымал ғалымдары бар авторлық ұжым дайындаған.

7.1. Автоматика элементтерінің жіктелуі

Автоматика элементтері деп – ақпаратты, энергияны түрлендіретін белгілі бір функцияларды орындайтын қондырғыларды айтамыз.

Электрлік, механикалық және басқа да байланыстармен қосылған және басқару жүйесі құрылымына кіретін автоматиканың элементтері және әртүрлі кешенді құрылғылар сызбаларда шартты электрлік, гидравликалық, пневматикалық және кинематикалық сұлбалар түрінде бейнеленеді (*1-қосымша*). Электрлік сұлба келесі түрлерге бөлінетінін ескерген жөн:

- құрылымды, ол құрылғының негізгі бөліктерін (буындарын), олардың өзара байланыстары мен сипаттамаларын анықтау үшін арналған;
- функционалды, ол жалпы құрылғыда және жеке бөліктерінде өтетін үрдістерді мәлімдеу үшін арналған;
- принципіалды, элементтердің толық құрамы мен олардың арасындағы байланыстарын көрсету және қондырғының жұмыс принципі жайында түсініктемелер беру үшін арналған;
- монтажды, сымдар, кабельдер және тағы да басқа қосуға

арналған құралдар көмегімен құрылғының негізгі бөліктерінің қосылысын көрсету үшін арналған.

Автоматика жүйелерінде элементтер бір бағытты әрекетті буын ретінде қарастырылады, ол түрленген сигналды бір бағытта – кірістен шығысқа береді.

Автоматика элементтерінің жіктелу негізіне функционалды белгілер қойылуы мүмкін. Бұл жағдайда автоматика элементтері келесі топтарға бөлінеді:

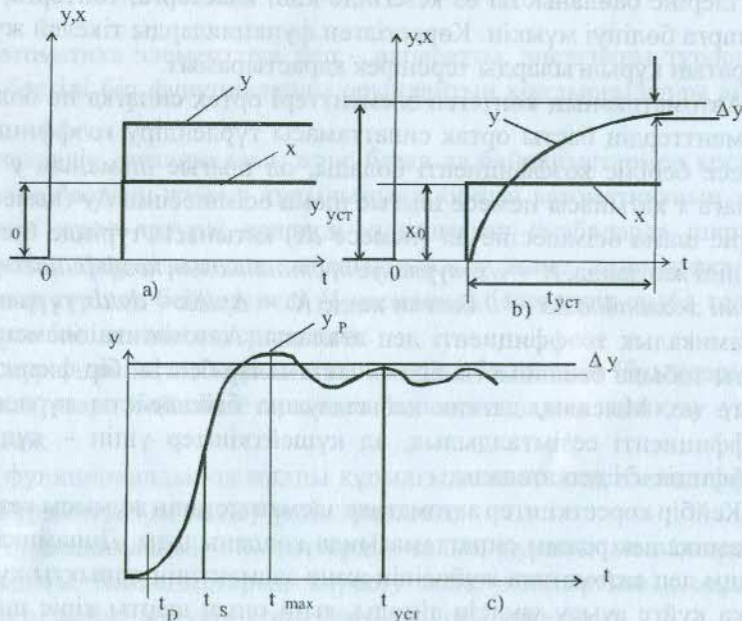
- ақпараттық,
- салыстыру,
- тарату,
- күшейту,
- есептеу,
- жадылық,
- орындау,
- логикалық және көмекші.

Автоматика элементтерінің жиыны кез келген автоматикалық жүйені өлшеу, бақылау, реттеу және басқару жүйесін жинауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, әрбір элементтер тобы түрлі белгілеріне байланысты өз кезегінде кіші кластарға, топтарға, кіші топтарға бөлінуі мүмкін. Көрсетілген функцияларды тікелей жүзеге асыратын құрылғыларды тереңірек қарастырамыз.

Автоматиканың көптеген элементтері ортақ сипатқа ие болады. Элементтердің басты ортақ сипаттамасы түрлендіру коэффициенті немесе беріліс коэффициенті болады, ол шығыс шаманың y кіріс шамаға x қатынасы немесе шығыс шама өсімшесінің Δy (немесе dy) кіріс шама өсімшесіне Δx (немесе dx) қатынасы түрінде болады. Бірінші жағдайда, $K = y/x$ түрленудің статикалық коэффициенті, ал екінші жағдайда $\Delta x \rightarrow 0$ болған кезде $K = \Delta y / \Delta x \approx dy / dx$ түрленудің динамикалық коэффициенті деп аталады. Автоматика элементінің нақты тобына байланысты бұл сипаттамалар белгілі бір физикалық мәнге ие. Мысалы, датчик қабылдауына байланысты түрлендіру коэффициенті сезімталдылық, ал күшейткіштер үшін – күшейту коэффициенті деп аталады.

Кейбір көрсеткіштер автоматика элементтерінің жұмысы кезінде динамикалық режим сипаттамасында қолданылады. Динамикалық режим деп автоматика жүйесінің және элементінің орнықты күйден басқа күйге ауысу үрдісін айтады, яғни оның шарты кіріс шама x болғанда, сәйкесінше, шығыс шама y болғанда уақыт бойынша

өзгеріп отыруында болып табылады. Осы үрдіс өтпелі үрдіс деп аталады. Буынның инерциялығы болмаған жағдайда x_0 кіріс сигналының серпімелі өзгеруі, y_0 шығыс сигналының шамасына серпімелі өзгеруін туындатады (7.1 а-сурет). Шындығында автоматика элементтерінің белгілі бір инерттілігі бар, онда кіріс өлшемінің 0-ден x_0 -ге дейін серпімелі өзгеруі кезінде y шығыс шамасы орнықты мәнге $y_{орн}$ бірден емес өтпелі үрдіс өтетін уақыт аралығында ғана жете алады (7.2 б-сурет). Сонымен қатар өтпелі үрдіс апериодты (тебелмелі еме) өшетін (7.2 б-сурет) немесе тербелмелі өшетін (7.2 с-сурет) болуы мүмкін. 7.2-суретте датчиктің кіріс сигнал өзгерісіне қандай реакцияда екеніне мысалдар көрсетілген. Мұндағы t_0 – датчиктің кіріс сигнал өзгеруіне әсер етпеген жағдайдағы сезімталдықсыз аумағының өту уақыты; t_D – алғаш рет датчик көрсеткіші y шығысы 50%-ті көрсеткен кездегі кешігу уақыты; t_p – y_{max} бірінші максимумға жету уақыты; $t_{орн}$ – орнату уақыты. Өтпелі үрдіс уақыты немесе орнату уақыты деп - осы уақыт аралығында шығыс сигнал мәні орнықты мәнге жететін және ауытқуы берілген мәнінен төмен болатын уақытты айтамыз (мысалы $\Delta y = \pm 5\%$), ол автоматика элементтерінің динамикалық сипаттамасының бірі болып табылады.

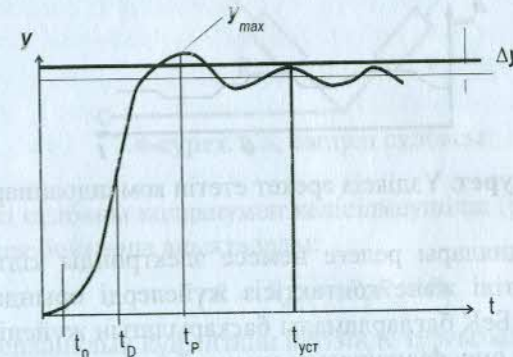


7.1-сурет. Элементтегі өтпелі үрдістер.

7.2. Беруші құрылғылар

Беруші құрылғылар (БеҚ) – басқару нысаны ары қарай қалай басқарылатыны жайындағы ақпаратты құрайтын беруші әсерді АБЖ енгізуге арналған.

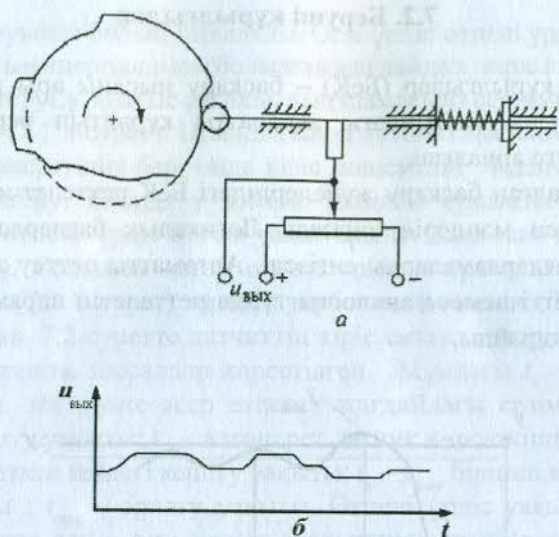
Тұйықталған басқару жүйелеріндегі БеҚ реттелетін координаттың берілген мәндерін енгізеді. Логикалық бағдарламалы АБЖ БеҚ осы бағдарламаларды енгізеді. Автоматты реттеу жүйелерінде БеҚ дискретті немесе аналогты түрде реттелетін параметр туралы ақпаратты құрайды.



7.2-сурет. Датчик реакциясы

Беруші құрылғының құрылымы оның нақты тағайындалуына тәуелді. Мысалы, тұрақталынған кернеуді автоматты реттеу жүйесіне енгізу үшін потенциометр қолданылуы мүмкін. Қарапайым потенциометрде кіріс шамасы ретінде тасымалдау (ауысу), ал шығыс-қозғалтқыштың (двиготың) тасымалдауына тәуелді кернеу (ток) болып табылады. Бағдарламалы басқарылатын автоматты жүйелерде БҚ ретінде үздіксіз немесе дискретті әрекет ететін командоаппараттар қолданылады. Мысалы, 7.3-суретте үздіксіз әрекет ететін командоаппараттың сұлбасы келтірілген.

Мұндай БеҚ кері байланыссыз АБЖ ғана қолданылуы мүмкін, өйткені БеҚ шығысындағы сигналдар команданың нақты орындалуына тәуелсіз, олар алдын ала берілген цикл бойынша қайталанып отырады. Мұндай командоаппараттар кейбір кір жуғыш машиналардың басқару жүйесіне ие.



7.3-сурет. Үздіксіз әрекет ететін командоаппарат

БеҚ функциялары релеге немесе электронды кілттерге негізделген контактілі және контактісіз жүйелерді орындауы мүмкін. Осы жағдайда БеҚ бағдарламалы басқарылатын жүйенің автоматты қосылу немесе өшу функциясын орындайды.

7.3. Салыстыру құрылғысы

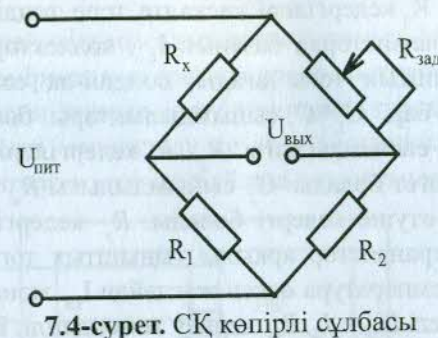
Салыстыру құрылғысы (СК) сигналдарды салыстыру функциясын орындайды. Мысалы, кері байланысты АБЖ СК кірістерінің біреуіне датчиктен сигнал келіп түседі, ал екіншісіне БҚ сигналдың тағайындалған мәні келіп түседі. Екеуінің айырмашылықтарына байланысты басқаруға арналған сигналдар анықталады. Электрлік сұлбаларда БҚ сипатында айнымалы резисторлар, потенциометрлер, электронды құрылғылар қолданылады.

Айталық, басқарылатын шаманың тағайындалған мәні g болсын. Бұл сигнал дәл қазіргі уақытта y мәнін беретін датчикпен бақыланады. Сонда салыстыру құрылғысында келісілмеген сигнал шығады.

$$\lambda = g - y \quad (7.1)$$

Басқару жүйесіндегі СК шығысына орындаушы механизм орнықты делік. $\lambda = 0$ кезінде жүйе тепе-теңдікте болады, ал $\lambda \neq 0$ кезінде механизм қосылады.

СК ретінде көбінесе 7.4-суретте көрсетілгендей көпірлі сұлбалар қолданылады.



7.4-сурет. СК көпірлі сұлбасы

Көпірлі сұлбаны қолданумен келісілмеушілік (рассогласование) келесі өрнек бойынша анықталады:

$$\lambda = R_{сер} - R_x R_2 / R_1 \quad (7.2)$$

СК операциялық күшейткіш негізінде тұрғызылуы мүмкін.

7.4. Күшейткіштер

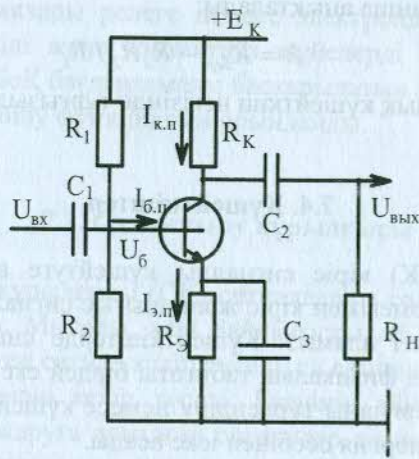
Күшейткіш (К) кіріс сигналды күшейтуге арналған. Кейбір жағдайларда К көмегімен кіріс және шығыс сигнал арасындағы берілген тәуелділікті аламыз. Күшейткіштерде сигналдар кірісінің және шығысының физикалық табиғаты бірдей екенін ескеру керек. Күшейткіште энергияны түрлендіру немесе күшейту күшейткіштің қорек көзіндегі энергия есебінен іске асады.

Күшейткіштің негізгі сипаттамалары: күшейту коэффициенті, статикалық сипаттаманың сызықтылығы; тезәрекеттілік, өзіндік шулар деңгейі; максималды шығыс қуат.

АБЖ күшейткіштің келесі типтері қолданылады: жартылай өткізгіштік, магнитті, электромашиналы, гидравликалық, пневматикалық және тағы басқалары. Өлшеу техникасында жартылай өткізгішті күшейткіштер кеңінен қолданылады, олардың күшею коэффициенті жоғары, шу деңгейі төмен, тезәрекеттілігі жоғары.

Сонымен қатар, бұл күшейткіштердің шығыс қуаты төмен. Жартылай өткізгішті күшейткіштер электроника курсына толығымен қарастырылады. Мұнда мысал ретінде биполярлы транзистордағы күшейткіштерді қарастырамыз, оның сұлбасы 7.5-суретте көрсетілген.

Мұндағы R_1, R_2 кедергілері каскадта тепе теңдікті қамтамасыз етеді. Осыдан транзисторда базаның $I_{б.п.}$, коллектордың $I_{к.п.}$, эмиттердің $I_{э.п.}$ тыныштық тоғы ағады, сондай-ақ сәйкес $U_{б.п.}, U_{к.п.}, U_{э.п.}$ кернеулері бар. C_1, C_2 сыйымдылықтары бөлу функциясын орындайды. C_1 сыйымдылығы R_1, R_2 кедергілерінің бөлгішінен токтың ағуына бөгет болады. C_2 сыйымдылығы $R_ж$ жүктеме кедергісіне кернеудің өтуіне кедергі болады. R_3 кедергісі берілген $U_{бп}$ кернеуі кезінде транзистор арқылы тыныштық тоғын анықтайды. Коллектордағы температура өскен жағдайда $I_{кп}$ және $I_{эп}$ тоғы өседі, осыдан эмиттердегі $U_{эп} = I_{эп} R_{эк}$ кернеу төмендейді. Базадағы кернеу берілген болғандықтан транзистор жабылады, бұл транзистор жұмысында тыныштық күйін автоматты түрде теңестіруге әкеледі.



7.5-сурет. Биполярлы транзистордағы күшейткіш сұлбасы

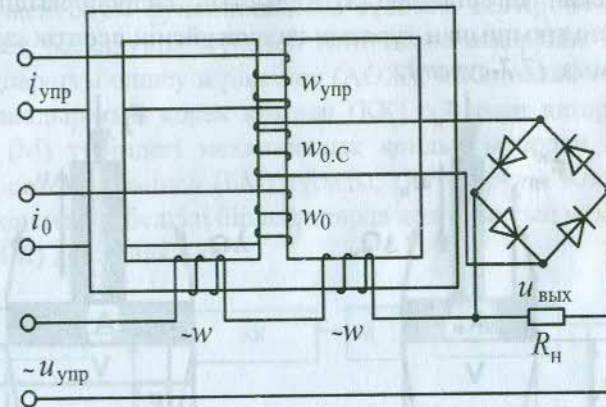
Эмиттердің айнымалы тоғы $I_э = I_э R_э$ айнымалы кернеу туындайды ол күшейтілген кернеуді азайтып тұрады. Каскадтың күшейту коэффициенті (K біреуі) келесіге тең:

$$K = \frac{R_к}{R_э}$$

Динамикалық режимдегі шығыс сигнал параметрлерін анықтау үшін $R_н$ жүктеме кедергісі $R_к$ кедергісіне параллель қосылады. Онда коллектор тізбегіндегі жалпы кедергі келесіге тең:

$$R_{ко} = \frac{R_к R_н}{(R_к + R_н)} \quad (7.3)$$

Магнитті күшейткіш мысалын қарастырамыз. Магнитті күшейткіш (МК) өзек темірмен көп орамды дроссель түрінде болады. Магнитті күшейткіштің жұмыс істеу принципі тұрақты токтың магнит өрісімен өзекті магниттелу кезінде айнымалы ток орамының индуктивтілігі өзгерген кезімен байланысты жұмыс жасайды.

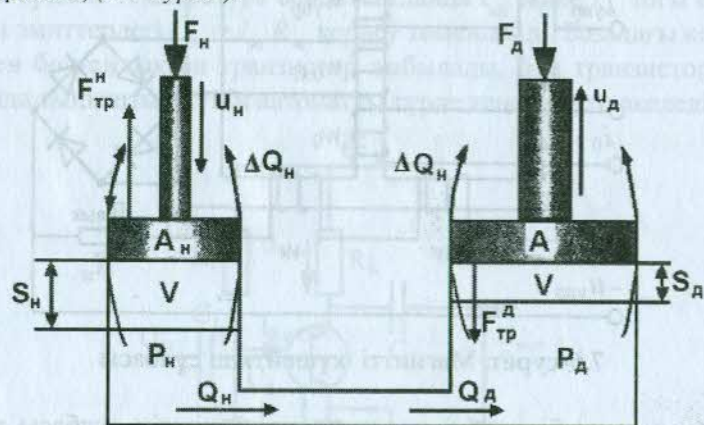


7.6-сурет. Магнитті күшейткіш сұлбасы

7.6-суретте біртактілі магнитті күшейткіштің сұлбасы көрсетілген. Осы МК $\omega_э$ айнымалы тоғының екі секциялы орамының біреуі бар. Осы орамға $R_ж$ күшейткіш жүктемесі тізбектей қосылған. Ортанғы сырықта үш орам бар: басқарушы орам ($\omega_{бас}$), кері байланысты орам ($\omega_{кб}$) және нөлдік орам (ω_0). Басқарушы тізбек бойынша $i_{бас}$ кіріс сигнал тұрақты ток түрінде беріледі. Кері байланыс орамы МК шығыс кернеуінің түзеткіші арқылы қанығады. Осыдан оң кері байланыс күшейткіш инерциясын және статикалық сипаттаманың тіктігін ұлғайтады және керісінше, осы параметрлерді теріс кері байланыс кезінде азайтады. Кері байланыс рөлі МК тезәрекеттілігі айтарлықтай төмен болғанда қажет. Нөлдік орам тәуелсіз қорек көзінен қанығады және сызықты бөліктегі күшейткіштің жұмыс нүктесін жылжыту үшін қызмет етеді.

Токты осы орамға берген кезде жұмыс нүктесі сызықты сипаттаманың ортасына оңға қарай жылжиды. Осы жағдайда МК кезінде басқарушы токтың полярлығына сезімталдылық қасиетін қабылдайды. Нөлдік орамда ток болмаған жағдайда МК полярлық өзгерісіне сезімтал емес, ал күшейткіш сипаттамалары ордината осіне қатысты симметриялы.

Гидравликалық элементтері бар АБЖ гидрокүшейткіштер қолданылады. Қарапайым гидрокүшейткіштің жұмыс істеу принципі 7.7-суретте көрсетілген. Күшейту қасиеті арқасында кіші кіріс күшейткішке штоктағы жоғары шығыс күшейткіші сәйкес келеді. Мысал ретінде гидроцилиндрлері бір-бірімен қысқа магистральмен байланысқан ілгерілемелі қозғалыстың гидросорғышынан және гидрокозғалтқышынан тұратын гидрожүйенің есептік сұлбасын қарастырамыз, (7.7-сурет).



7.7-сурет. Гидрокүшейткіш сұлбасы

Егер A_n поршень ауданымен гидросорғыш (ГС) штогына P_n күші әрекет етсе, онда сұйықтықта A_d ауданымен гидрокозғалтқыш (ГК) поршеніне әрекет ететін $p = P_n / A_n$ қысымын туындатады және штокта $P_d = p \cdot A_d$ күшін теңестіретін күшті туындатады. Осыдан:

$$\frac{P_n}{A_n} = \frac{P_d}{A_d}$$

Осы өрнектен ГП мультипликационды эффектісі мультипликациялық коэффициентімен сипатталатыны көрінеді. Мультиплика-

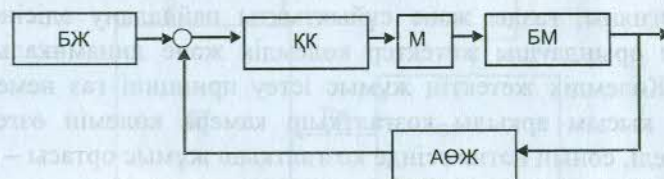
ция коэффициенті шығыс буын күшінің кіріс буын күшіне қатынасына тең:

$$k = P_d / P_n = A_d / A_n$$

7.5. Автоматика жүйесінің орындаушы жетектері

7.5.1. Негізгі түсініктер мен ережелер

Орындаушы жетек (ОЖ) деп қажетті сипаттағы механикалық қозғалысты алу мақсатындағы ақпаратты және энергияны түрлендіруді іске асыратын жүйені айтамыз. Төменде орындаушы жетектің үлкейтілген функциональды сұлбасы келтірілген. Орындаушы жетек басқарушы жүйеден (БЖ) және атқарушы деңгейге жататын ақпаратты өлшеу жүйесінен (АӨЖ), механикалық энергияны шоғырландыратын қорек көзінен (ҚК) сонымен қатар қосымша муфта (М) түріндегі механикалық қондырғылардан, тежегіш және беріліс механизмінен (БМ) тұрады, (7.16-сурет). Көрсетілген атқарушы қондырғы белгілі бір шарттарда қозғалыстың мехатронды модулі (ҚММ) деп аталады.



7.8-сурет. Орындаушы жетек құрылымының сұлбасы

Шындығында, қазіргі заманғы қоғамның дамуында, техникалық өрлеу деңгейінің көтерілуіне байланысты автоматика жүйесіне толықтай, орындаушы жетектерге жекелей байланыспен әртүрлі көрсеткіштері бойынша жоғарғы талаптар қойылуда. Мысалы, автоматика жүйесінің орындаушы жетегі ауыспалы динамикалық сипатта жұмыс істеуі керек (момент, инерция, жүктеме). Сонымен қатар, олар қоздырғыш факторлармен әсерлеспеуі керек. Үлкен динамикалық жүктеме кезінде ОЖ осы жүктемелердің демпфирленуін қамтамасыз етуі қажет. ОЖ қойылатын маңызды талаптардың бірі қуаттың массаға жоғарғы қатынаста болуы керектігі. Жалпы

массаның және өлшемдердің төмендеуі ОЖ үшін үрдіс сипаттамасы болып табылады. Сондай-ақ ОЖ механикалық энергияны күшейтеді, соның әсерінен басқарылатын қозғалыс орындалады, сондықтан орындаушы жетектерге келесідей талаптар қойылады: тез әрекет етуі, қозғалыс икемділігі, жоғарғы жүктеме қабілеті, дірілдің болмауы. ОЖ берілген қозғалыс дәлдігін, жоғарғы шуыл көздерінің болмауын, пайдалану кезінде қолайлы және қауіпсіз болуын қамтамасыз етуі қажет. Нарықтың конъюнктура талаптарына байланысты ОЖ құны жағынан төмен, сәйкес дизайнды, адам-машиналы интерфейске ыңғайлы болуы қажет.

Тәжірибеде әртүрлі белгілері бойынша ерекшеленетін көптеген ОЖ кездеседі. Негізгі ескеретін ерекшелігі механикалық энергияның шоғырландыратын қорек көзінің болуы. Осы белгілері бойынша ОЖ пневматикалық, электрогидравликалық және электрлік болып бөлінеді.

7.5.2. Гидро және пневматикалық ОЖ

Орындаушы қозғалтқыштардың жұмыс ортасына (газ немесе сұйықтық) байланысты жетектерді пневматикалық және гидравликалық орындаушы жетектер деп бөлуге болады.

Энергияны, газды және сұйықтықты пайдалану әдісіне байланысты орындаушы жетектер көлемдік және динамикалық деп бөледі. Көлемдік жетектің жұмыс істеу принципі газ немесе сұйықтық қысым арқылы қозғалтқыш камера көлемін өзгертуіне негізделеді, соның нәтижесінде қозғалтқыш жұмыс ортасы – гидро-пневмоцилиндр поршеньдерінің немесе қозғалтқыштың қызмет органының орын ауыстырулары орындалады.

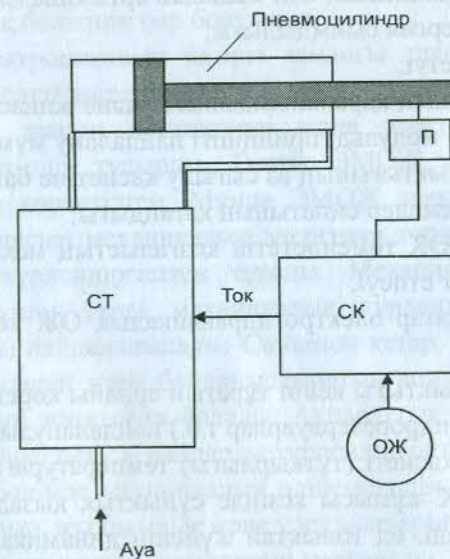
Жұмыс істеу принципі газ немесе сұйықтық ағынының динамикалық әсеріне негізделуін гидро-пневмодинамикалық деп атайды.

Ары қарай негізінен тек көлемдік гидро-пневможетектерді қарастырамыз.

Гидро-пневматикалық ОЖ механикалық энергияны шоғырландыратын қорек көзі болып және сызықты және айналмалы қозғалысты гидро-пневмо қозғалтқыштары болып табылады.

Электропневматикалық орындаушы жетектерді қолдану аясына-өнеркәсіптік роботты техника, дәлдігі бойынша талаптары аз жетектер, екі позициялы механизмдер жетегі және қарапайым өндірістік автоматтар жатады. Пневматикалық ОЖ құрамына біржақты

және екіжақты әсерлі пневмоцилиндрлер, толық бұрылысты емес пневмоқозғалтқыштар, пневмомоторлар, мембранды камералар және т.б. жатады. Қозғалтқыштарды функционалдау мен басқаруға арналған қосымша қондырғыларға жататындар: таратқыш аппараттар, түрлі пневмоклапандар, пневмодроссельдер, индикаторлар мен қысым релесі, ауаны дайындауға арналған аппараттар және т.б. Пневматикалық ОЖ басқару үшін микропроцессорлы басқару модулі және ағымды автоматикаға негізделген басқару жүйесі пайдаланылуы мүмкін. 7.17-суретте пневматикалық қозғалыстың мехатрондық модулінің (КММ) жұмыс істеу принципі келтірілген. Пневмоцилиндр штогы потенциометрмен (П) өлшенеді, одан берілетін сигнал қорек көзінен (К) қоректенетін сервокүшейткішке (СК) беріледі. Сервокүшейткіш келіп түскен сигналдарды пневмоцилиндрдағы ауаны басқарып отыратын сервотаратқышқа (СТ) береді.



7.9-сурет. Гидро пневматикалық ОЖ сұлбасы

Пневматикалық ОЖ негізгі артықшылықтары:

- Тез әрекет етуі;
- Шығыстағы күшті басқару мүмкіндігі;
- Құрылымының қарапайымдылығы, қосымша механикалық берілістерді қажет етпеуі;

- Пайдаланудағы қарапайымдылығы;
- Өрт, жарылыс қауіпсіздігі;
- Ағымды автоматиканы қолдану мүмкіндігі.

Кейбір жағдайларда пневматикалық ОЖ қолдануға шектеу қо-
тын талаптары да болады.

Пневматикалық ОЖ айтарлықтай кемшіліктері бар және оның ең бастысы ауаның қысылуынан қозғалысты және позициялауды берілген дәлдікпен алу мүмкіндігінің болмауы. Одан бөлек пневматикалық ШИЖ шығысындағы қуаты төмен, ол жұмыс қысымының аз екенін көрсетеді, қозғалыстың бәсеңдігін қамтамасыз ете алмайды, сонымен қатар, ауаны дайындайтын қосымша қондырғыларды талап етеді. Соның өзінде болашақта пневматикалық ОЖ пайдалану саласын кеңейту үшін, пневмоавтоматика элементтері мен қондырғылары құрылуы мүмкін.

Электрогидравликалық ОЖ мынадай артықшылықтары бар:

- Жоғары энергия сыймдылығы;
- Тез әрекет етуі;
- Құрылымының қарапайымдылығы және жинастыру мен құру кезінде агрегатты модульді принципті пайдалану мүмкіндігі;
- Жұмыс сұйықтығының аз сығылу қасиетіне байланысты, статистикалық жүктемелер сипатының қатаңдығы;
- Жүйенің ПӘК төмендететін қозғалыстың механикалық түрлендіргішін қажет етпеуі.
- Сонымен қатар электрогидравликалық ОЖ кемшіліктері де бар, олар:
 - Жұмыс сұйықтығы келіп тұратын арнайы қорек көздерін (насосық станция, гидрорезервуарлар т.б.) пайдалануды талап етеді;
 - Сұйықтық қасиеті (тұтқырлығы) температураға байланысты. Ол мысалыға ОЖ жұмысы кезінде сұйықтық қызады және оның құрылымы өзгереді, ол толықтай жүйенің динамикалық сипатына әсер етеді;
 - Экологиялық сипаттамаларға мәселе тудыратын, сонымен қатар, ОЖ эксплуатациялы сипаттамаларына әсер ететін жұмыс сұйықтығының сыртқа ағып кету орындарының бар болуы;
 - Позициялы булардың болуы қосымша қондырғыларды (золотниктер, гидроцилиндрлер т.б.) дайындау дәлдіктері бойынша талаптарының жоғарылығы.

Соған қарамастан электрогидравликалық қозғалыстың мехатрондық модулін (ҚММ) пайдалану басқа жетектермен салыстырғанда жоғары, мысалы, жарылыс қауіпті орта жұмысы үшін 10 кВТ жоғары қуатты жүктемеде жұмыс істеуі. Гидрожетектер гидрожетектерде жұмыс жасайтын қондырғыларда, өнеркәсіптік роботтарда пайдаланылады.

7.5.3. Электромеханикалық орындаушы жетек (ЭМОЖ)

ЭМОЖ құрылымдық және функционалдық қатынаста өзіндік бір бұйым болып табылады, оның басқа модулдермен жекелей және әртүрлі комбинациялық түрде қолдануға болатын механикалық, электрлік (электротехникалық) және ақпараттық бөлімдері бар. Қозғалыстың электромеханикалық мехатрондық модулінің (ҚЭМММ) қарапайым мехатронды емес ЭМОЖ айырмашылығы, оның қосалқы ақпараттық бөлігінің бар болуында.

Микроэлектрониканың қазіргі заманғы технологиясының дамуы ЭМОЖ сәтті интегралдайтын, сонымен қатар, оны ҚЭМММ ауыстыратын шағын датчиктерді және электронды блоктарды жасауға мүмкіндік тудырды. Типтік ЭМОЖ құрамы үлкейтіліп 7.18-суретте көрсетілген. Мұнда ЭМОЖ электроқозғалтқыштан электр энергиясын механикалық энергияға түрлендіретін электротехникалық түрлендіргіштен тұрады. Механикалық қозғалысты түрлендіру үшін түрлі механикалық түрлендіргіштер (беріліс механизмдері) пайдаланылады. Сонымен қатар, осында люфт таңдау механизмдерін және байланыстыратын қондырғыларды (тежегіш, муфталар) жатқызуға болады. Ақпараттық бөлімге өлшеу құралдары, ақпараттық сигналдарды түрлендіргіштер жатады. Әдетте, ақпараттық бөлімде механикалық өлшемдердің жалпылама күшін, координаттарын, жылдамдық және үдеу мәндерін өлшеуге мүмкіндік беретін кинестетикалық датчиктерді қолданады.

Қозғалыстың электромеханикалық мехатронды модуліне кеңейтілген ақпараттық-өлшеуіш жүйесі, электроқозғалтқыштар мен басқарудың микропроцессорлы жүйесіне арналған электронды күштік түрлендіргіштер жатады, оларды қозғалыстың интеллектуалды мехатронды модулі деп атайды. Ары қарай, қозғалыстың интеллектуалды мехатронды модулін қарастырамыз, яғни оларды қозғалыстың электромехатронды модулі (ҚЭММ) деп атайды.

Интеллектуалды мехатронды модуль тармақшасын басқаруда интеллектуалды әдісті қолдануды мехатронды қозғалыс модулі деп атаймыз.

Төменде 7.1-суретте ҚЭММ қарапайым функционалды сызбасы көрсетілген.



7.10-сурет. ЭМОЖ құрамы

Мұнда барлық энергияны тұтынатын немесе жеке-жеке тұтынушыларға басқару кешеніне (БК), күштік түрлендіргішке (КТ), электроқозғалтқышқа (ЭҚ) және механикалық түрлендіргішке (МТ) арналған қорек көздері көрсетілмеген.

Берілген функционалды сұлбада ҚЭММ элементтері болып саналмайтын нысан пен қорек көздері көрсетілген. Бірақ та нысан жайындағы ақпарат ҚЭММ функциялау мақсатын қалыптастыру деңгейі кезінде міндетті түрде болуы қажет. Әрбір келтірілген құрылымдық функционалды элементтер ары қарай осы немесе басқа мақсаттарда қарастырылады. Мұнда атап өту кекек жағдай, БК болып электроқозғалтқышты КТ арқылы автоматты басқаруға арналған аппараттық және бағдарламалық құралдардың жиынтығы түсіндіріледі. Басқару кешені жоғарыда орналасқан басқару жүйелерінен сигналдарды алады, сонымен қатар, ақпараттық-өлшеуіш жүйелер көмегімен ҚЭММ ішкі және сыртқы орталары (объект) жайлы ақпараттарды ала алады. Күштік түрлендіргіш электронды қондырғы түрінде, яғни БК анықталған сигналдарымен сәйкес келетін электроқозғалтқыш басқарылуы үшін тағайындалған жүйелер түрінде болады.



7.11-сурет. ҚЭММ функционалды сызбасы

Байқап отырғанымыздай, сұлбада МТ кейбір жағдайда қорек көзіне қосылғанын көруге болады. Мұндай жағдайлар электромеханикалық муфта, тежегіштер орын алуы, сондай-ақ олар БК басқарылуы мүмкін.

ҚЭММ басты ерекшеліктері ондағы элементтердің әртүрлі электронды, электротехникалық, механикалық, ақпаратты болуында.

Мехатронды жүйе ерекшелігі, бір-бірімен байланысты энергетикалық және ақпараттық ағындардың бар болуында.

Автоматикалық өлшеу элементтері реттелетін өлшемді, ауытқыған әсер немесе басқа өлшемдерді өлшеуге арналған.

7.6. Датчиктер

Автоматиканың өлшеуіш элементтері басқару үшін қажетті ақпараттарды беретін қоздыру әсерлері немесе басқа да шамалардың реттелінетін шамаларын өлшеу үшін қызмет етеді.

Кейбір анықтамалар мен түсініктер келтіреміз.

Өлшеуіш түрлендіргіш – өлшенетін шамаларды өңдеуге ыңғайлы өлшеуіш сигналдарға немесе басқа да шамаларға түрлендіру үшін қызмет ететін өлшеу құралы. Қарапайым өлшеуіш түрлендіргіштің мысалы ретінде біріншілік түрлендіргіш немесе сезімтал элемент болады, олар өзінің күйін сыртқы қоздыру әсерінен өзгертеді. Мы-

салы, фотодиод, тензорезистор. Техникада кең қолданысқа ие болған датчиктер болып табылады.

Датчик – өлшенетін шаманың функциясы болатын физикалық шамалар әсерінен эквивалентті сигнал беретін бір немесе бірнеше өлшеуіш түрлендіргіші.

Өлшеуіш аспап (ӨА) – орнықты диапазонда өлшенетін физикалық шаманың мәнін алу үшін арналған құрылғы. Өлшенетін шаманың тіркеу түрі бойынша аспаптар аналогты және санды болып бөлінеді. Ал тағайындалуы бойынша – электрлі және электрлі емес шамаларды өлшейтін аспаптар болып бөлінеді.

Өлшеу қондырғысы – ыңғайлы түрде өлшеу және ақпарат сигналын өңдеу үшін арналған өлшеудің функционалды біріккен құралдар жиыны. Олар өзінің құрамына өлшеуіш түрлендіргіштерді, өлшеуіш аспаптарды, сонымен қатар, әртүрлі қосалқы құрылғыларды қоса алады.

Өлшеу жүйесі – автоматты басқару жүйелерінде автоматты өңдеуге, беруге және қолдануға ыңғайлы түрдегі өлшеу ақпаратының сигналын өңдеу және бір немесе бірнеше физикалық шамаларды өлшеу мақсатында бақыланатын нысанның әртүрлі нүктесінде орналасқан ЭЕМ, басқа да техникалық құрылғылар және өлшеу құралдарының өзара байланыс арналарымен функционалды біріккен жиынтығы.

Өлшеу – есептеу кешені нақты өлшеу міндеттері үшін арналған өлшеу жүйесі болып келеді.

Өлшеу нысанының қасиеті туралы ақпарат өлшеу құралының кірісіне сигналдар түрінде түседі. Сигналды қалыптастыратын физикалық құбылыс табиғатына байланысты сигналдар механикалы, электрлі, магнитті, жарықтық және басқа да түрлерге бөлінеді. Өзгеріс сипатына байланысты сигналдар уақыт бойынша тұрақты және айнымалы болып бөлінеді. Уақыт бойынша айнымалы сигналдар өз кезегінде кездейсоқ, детерменирленген және квазидетерменирленген сигналдар болып бөлінеді. Квазидетерменирленген сигналдар уақыт бойынша өзгеріс заңдылығының белгілі сипаттамасына ие, бірақ бір немесе бірнеше параметрлері белгісіз болып келеді. Мысалы, косинусоидалды сигналда жиілік және амплитуда белгілі, бірақ фаза белгісіз.

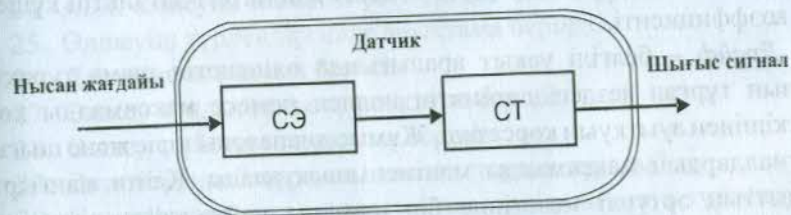
Жалпы, қарастырылып отырған датчиктер тек өлшеу үшін ғана қызмет етпейді, олар ақпаратты өлшеу жүйелерінде сигналдарды

беруге ыңғайлы болу үшін қажетті шамаларды басқа түрдегі шамаға түрленуін басқару үшін керекті өзгерістерді орындайды. Пневматикалық датчиктерден басқа көптеген датчиктер әртүрлі физикалық шамаларды электрлікке түрлендіреді.

Автоматты басқару жүйелеріне ақпаратты өлшеу технологияларының үрдістерін жүзеге асыратын техникалық құрылғылар кіреді. Датчиктер АБЖ ақпаратты өлшеу жүйелерінің маңызды элементтерінің бірі болып табылады. 7.20-суретте көрініп тұрғандай, датчиктер сезімтал элементінен (СЭ) және сигнал түрлендіргішінен (СТ) тұрады. Ақпараттың түрлену негізіне салынған физикалық принциптерге сәйкес сезімтал элементтің автоматикада қолданылатын келесі түрлері ажыратылады:

- Резистивті (тензо және фоторезисторларды қоса алғанда);
- Электромагнитті (индуктивті, индукционды және басқалар);
- Холл түрлендіргіші;
- Оптикалық;
- Пьезоэлектрлік.

Өлшеуіш аспаптарда сезімтал элемент ақпаратын электрлік сигналдарға түрлендіру үшін арналған екі түрлі өлшеуіш сұлбасын қолданады: параметрлік және генераторлы. Параметрлік ӨА сезімтал элемент сигналын кернеу немесе ток түрінде электрлік сигналға түрлендіру орындалады. ӨА генераторлы өлшеу сұлбаларында сезімтал элемент генератор құрамына кіреді, бұл жерде сигналдың генерация жиілігі индуктивті және конденсатор орамымен құрылған контурдың резонансты жиілігіне тең болып келеді.



7.12-сурет. Датчик сұлбасы

Датчиктер орындалатын функцияларына сәйкес кинестетикалы, локационды, визуалды және тактильді болып бөлінеді. Кинестетикалық датчиктерге орын ауысу және күй датчиктері (резистивті күй датчигі, электромагнитті күй датчигі, фотозлектрлі күй датчигі);

жылдамдық датчиктері (тахогенераторлар); динамикалық шамалар датчиктері (пьезоэлектрлі, магнит серпімді, электростатикалы, электромагнитті) жатады.

Локационды датчиктерге келесі тізімді келтіруге болады:

- Магнитті локационды жүйелер;
- Құйынды тоқты локационды жүйелер;
- Электромагнитті локационды жүйелер;
- Акустикалық локационды жүйелер;
- Оптикалық локационды жүйелер.

Көру датчиктері мен жүйелерге техникалық көру жүйесі жатады. Тактильді тип жүйелеріне сезгіш күш моментті датчигі, жанасу датчигі, байланыс датчиктері жатады.

Датчиктердің статикалық сипаттамаларына сезімталдық, өлшеу мөлшері, статикалы күшейту, дрейф, жұмыс диапазоны, қайталану және жаңғыртуды келтіруге болады. Сезімталдылық өлшенетін шаманың өзгеріс шегі бойынша шығыс сигналды бағалауға мүмкіндік береді. Оның өзі статикалы және динамикалы сезімталдылық болып ажыратылады. *Статикалы сезімталдылықты* түрлендірудің статикалы функциясы негізінде өлшейді, осы кезде кіріс сигналын x , шығыс сигналын y деп белгілесек, онда $y = Sx$, мұндағы S – сезімталдылық немесе түрлену коэффициенті.

Өлшеу мөлшері – өлшенетін шаманың ең кіші мәні, ол мән датчикке түседі (зафиксирована) және датчикпен тура көрсетеді.

Статикалы күшейту – өте төменгі жиіліктегі датчиктің күшейту коэффициенті.

Дрейф – белгілі уақыт аралығында өлшенетін шама тұрақты болып тұрған кездегі датчиктің нөлден немесе максималды көрсеткішінен ауытқуын көрсетеді. Жұмыс диапазоны кіріс және шығыс сигналдардың максималды мәнімен анықталады. Қайта жаңғырту уақыттың әртүрлі мезетінде бір шаманы қайта-қайта өлшеумен анықталады. Жаңғыртуды анықтау кезінде уақыттың үлкен аралығы алынады.

Бақылау сұрақтары:

1. Автоматика элементтерінің анықамасы.
2. Электрлік сұлбалар қандай сұлбалар болып бөлінеді?

3. Функционалды белгілері бойынша автоматика элементтерінің кластарға жіктелуі.

4. Беруші құрылғының мысалы және тағайындалуы.

5. Салыстыру құрылғысының мысалы және тағайындалуы.

6. Күшейткіштердің (К) мысалы және тағайындалуы.

7. Күшейткіштердің негізгі сипаттамалары.

8. Биполярлы транзистордағы күшейткіштің сұлбасы.

9. Электронды күшейткіштің күшею коэффициенті.

10. Қарапайым гидрокүшейткіштің жұмыс істеу принципі.

11. Орындаушы жетектің (ОЖ) мысалы және тағайындалуы.

12. Орындаушы жетектің функционалды сұлбасы.

13. Орындаушы жетектерге қойылатын талаптар.

14. Механикалық энергияны шоғырлаушы көзі бойынша орындаушы жетектердің негізгі ерекше белгілері.

15. Механикалық энергияны шоғырлайтын қандай құрылғыларды гидропневможетектерде қолданады?

16. Өзінің әрекет принципін көрсететін гидропневматикалық орындаушы жетектің сұлбасын сызыңыз.

17. Пневматикалық ОЖ құндылықтары.

18. Электрогидравликалық ОЖ сұлбасы.

19. Электрогидравликалық ОЖ құндылықтары.

20. Электрогидравликалық ОЖ кемшіліктері.

21. Электромеханикалық орындаушы жетек (ЭМОЖ).

22. ЭМОЖ құрамы.

23. ЭММҚ функционалды сұлбасы.

24. АБЖ өлшеуіш элементі ретінде датчиктің функциясы.

25. Өлшеуіш түрлендіргішке анықтама беріңіз.

26. Датчикке анықтама беріңіз.

27. Өлшеу қондырғысына анықтама беріңіз.

28. Өлшеу жүйесіне анықтама беріңіз.

29. Датчик қандай құраушы элементтерден тұрады?

30. Сезімтал элемент ақпаратын электрлік сигналға түрлендіру үшін арналған өлшеу сұлбасының екі түрін көрсетіңіз.

31. Орындалу функциясына байланысты датчиктер қалай жіктеледі?

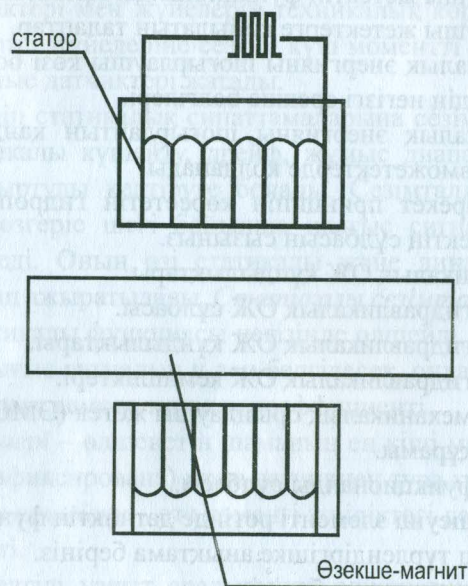
32. Қандай датчиктер кинестетикалық датчиктерге жатады?

33. Қандай датчиктер локационды датчиктерге жатады?

8-ТАРАУ. ЭЛЕКТРОМАГНИТТІ ҚҰРЫЛҒЫЛАР

8.1. Құрылғылар және оларды қолдану

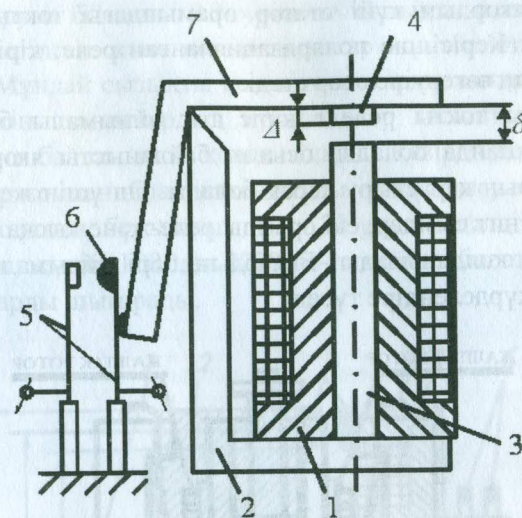
Магнит пен статорлық орамды (8-сурет) металл өзекшесінен тұратын электромагниттік жүйе электромагниттік құрылғы (ЭҚ) деп аталады (ЭҚ). ЭҚ жұмыс істеу принципі статорлық орамға ток берген кезде, өзекше (якорь) магниттік индукцияның әсерінен орын ауыстырылуына негізделген.



8.1-сурет. Электромагниттік құрылғы

Автоматика жүйелерінде ЭҚ автоматиканың ауыстырып – қосу (реле) және орындаушы құрылғылары ретінде қолданылады. Реле ретінде қолданылатын ЭҚ электромагниттік реле (ЭР) деп аталады. ЭР кіріс электрлік сигналдың әсерінен қайта қосылады, сонымен бірге шығыс сигналдың секірмелі өзгеруі жүреді.

8.2-суретте электромагниттік реле келтірілген, мұндағы: 1 – орауыш (катушка), 2 – бұғау (ярмо), 3 – өзекше, 4 – сақтағыш тісше, 5 – ұштық (наконечник), 6 – пластиналар, 7 – якорь.



8.2-сурет. Электромагниттік реле

8.2-суретте электромагниттік реле келтірілген, мұндағы: 1 – орауыш (катушка), 2 – бұғау (ярмо), 3 – өзекше, 4 – сақтағыш тісше, 5 – пластиналар, 6 – ұштық (наконечник), 7 – якорь.

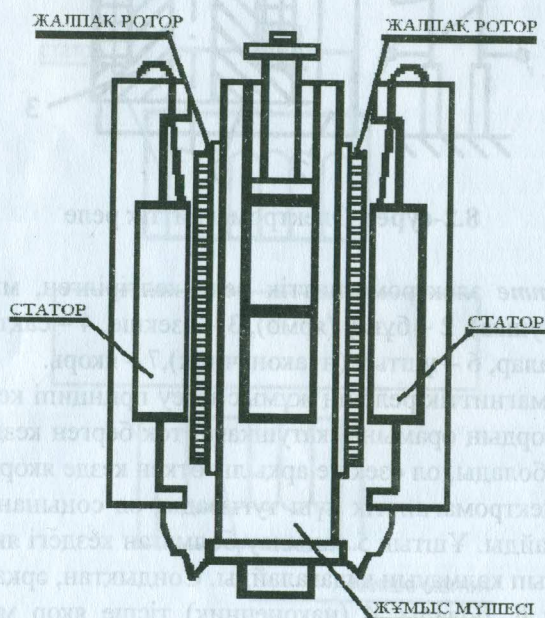
Электромагниттік реленің жұмыс істеу принципі келесіге негізделген, статордың орамына (катушкаға) ток берген кезде магниттік ағын пайда болады, ол өзекше арқылы өткен кезде якорды өзекшеге тартатын электромагниттік күш туғызады, ол соңынан 6 байланысын тұйықтайды. Ұштық 5 саңылау болмаған кездегі якордың өзекшеге жабысып қалмауын қадағалайды. Сондықтан, әрқашан бастапқы саңылау δ_0 болады. 4 (наконечник) тісше якор мен өзекшені бір-бірімен жабысып қалуынан сақтайды.

Қуатты тізбектерді ауыстырып қосу үшін қолданылатын ЭР түйістіргіш (контактор) деп атайды. Мұндай релелерді автоматты түрде басқарылатын электроқозғалтқыштарды басқарудың релелік жүйелерінде қолданады, мысал ретінде жүккөтергіш және көтергіш – транспортты машиналарды жатқызуға болады.

Жалпы, ЭР автоматика жүйелерінде басқару, қорғау және дабыл беру үшін қолданады. Кіріс токқа байланысты ЭР тұрақты және айнымалы тоқты болып екіге бөлінеді. Тұрақты ток релесінің өзі нейтралды және поляризацияланған болып екіге бөлінеді. Ней-

тралды ЭР якордың күйі статор орамындағы токтың бағытына тәуелді емес. Керісінше поляризацияланған реле, кіріс сигналдың полярлығының өзгеруіне әсер етеді.

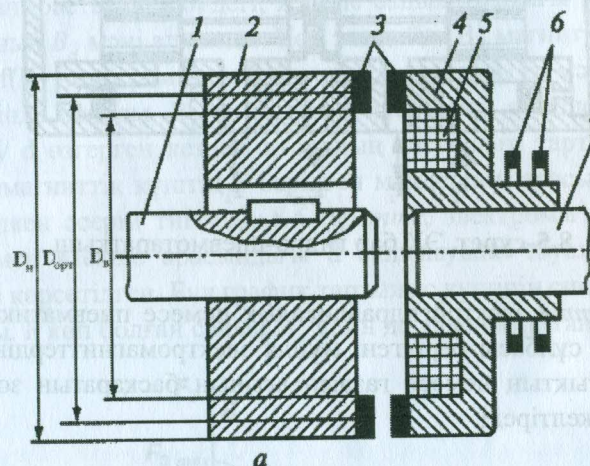
Айнымалы токты реледе кіріс ток айнымалы болғандықтан якорде діріл пайда болады, осыған байланысты якордың дірілін жою шараларын қарастыру керек болады. Ол үшін жеке беттерден құрылған магнит сымдар, екі орамды реле және қысқа тұйықталған орамды реле қолданылады. Бұлардың бәрі айнымалы токты ЭР құрылымын күрделендіре түседі.



8.3-сурет. Сызықты электромагнитті қозғалтқыш

Осындай себептерден тұрақты токты ЭР кең қолданысқа ие. Автоматиканың атқарушы құрылғылары ретінде ЭҚ негізгі және қосалқы функцияларды атқарады. ЭҚ негізгі функцияларды орындаған жағдайда, олар автоматика жүйелерінде тікелей атқарушы құрылғылар ешкімге бағынбай өздігімен орын ауыстыра алады. Мұндай функциялардың мысалына SODIC.Co.,Ltd жапон фирмасы шығаратын сызықты электрқозғалтқыштарды, роботтардың электромагниттік ұстағыштарын және теміржолдың бағыттарын ауыс-

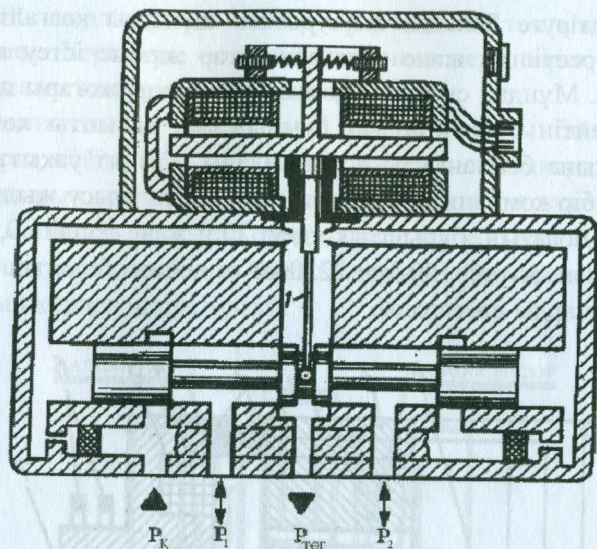
тыруды келтіруге болады. 8.3-суретте сызықты қозғалтқыштың сұлбасы көрсетілген және сонымен қатар жұмыс істеу принципі көрсетілген. Мұндай сызықты қозғалтқыштарды жоғары дәлдікпен жұмыс істейтін станоктардың буынын бір қалыпты қозғалысқа келтіре алуына байланысты қолданылады. Қазіргі уақытта мысал ретінде кейбір компаниялар максималды орын ауысу жылдамдығы 3 м/с дейін болатын, бұрыштық үдеуі 20 g және дәлдігі 0,1 мкм-ге дейін болатын, жүрісі 100-ден 2220мм-ге дейінгі болатын сызықты қозғалтқыштарды шығарады.



8.4-сурет. Электромагниттік муфта

Қосалқы функцияларын орындаған кезде ЭҚ механикалық гидравликалық және пневматикалық тізбектерді қосу үшін және өшіру үшін қолданылады. Мысал ретінде, басқарылатын механикалық жүйелерде қолданылатын тежегіштерді және электромагниттік муфталарды келтіруге болады. Электромагниттік муфтының сұлбасы 8.4-суретте көрсетілген. Бұл суретте жетекші білік (1) және жетектелуші білік (7) сонымен қатар бір-бірімен электромагнитті муфта көмегімен жалғанған, фрикциалық накладка 3, статор 4, орам 5 және қайтару серіппесі 6 орналасқан.

Басқарылатын электрогидравликалық және пневматикалық жүйелерде ЭҚ клапандардың және басқа да буындардың орнын ауыстыру үшін қолданылады.



8.5-сурет. ЭҚ бар гидро-пневмотаратқыш

8.5-суретте электрогидравликалық немесе пневматикалық күшейткіштің сұлбасы берілген, мұнда электромагниттердің көмегімен сұйықтың немесе газдың ағынын басқаратын золотникті қозғалысқа келтіреді.

8.2. Электромагниттік құрылғыны есептеу реті

Мысал ретінде, тұрақты тоқты нейтралды электромагниттің (ЭМ) есебін қарастырамыз. Есептің бастапқы мәліметтері ретінде: якордағы күштің (закон изменения усилия) өзгеру заңын; кіріс кернеуді немесе токты; жұмыс режимін және уақыттық сипаттамаларын аламыз. Есептеу кезінде пайдалану шарттарын, діріл мен тоздан қорғау шараларын ескерген жөн. Есептеменің нәтижелері бойынша ЭҚ түрі, катушканың сипаттамалары, статор орам сымның ұзындығы мен көлденең қимасы, магнитті сым материалдары таңдалады. Жобаланған ЭҚ габаритті өлшемі аз, салмағы кіші және құны арзан болуы керек.

Есептеудің бастапқы сатысында, орындаушы құрылғы мен ЭҚ бір-бірімен жалғанудың кинематикалық сұлбасы және электромаг-

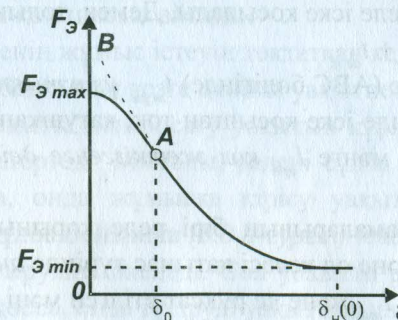
ниттің түрі таңдалады. Электромагниттің түрін таңдау үшін конструктивті K көрсеткішін қолдану ыңғайлы болады, оны төмендегідей анықтаймыз:

$$K = \sqrt{F_{\min} / \delta_{\max}}, \quad (8.1)$$

мұндағы, F_{\min} – әуе саңылауының максимум рұқсат етілген мәні δ_{\max} кезінде ЭМ жұмыс жасайтын якордағы минималды күш.

K мәндері бойынша анықтама әдебиетінен ЭМ түрі таңдалады. Мысалы: реле ретінде қолданылатын клапанды ЭМ үшін $K = 2900 \text{ Н}^{1/2}/\text{м}$.

Кейін, бастапқы мәндегі, жұмыс саңылауындағы магниттік индукцияның B_d мәні алынады. Көп жағдайда B_d магниттік индукцияны $B_d = f(K)$ нонограммасы бойынша таңдалады. B_d мәні $0.06 \dots 1 \text{ Тл}$ шектерінде болады. B_d таңдалуына якорь мен өзекше арасындағы саңылау d өзгерген кездегі якорьдың катушкаға тартылу күшімен электромагниттік күштің F берілген мәндерінің арасындағы тәуелділік үлкен әсерін тигізеді. 8.6-суретте, электромагнитті күш-тің якорь мен өзекше арасындағы d саңылауына тәуелді өзгеруінің графигі көрсетілген. Бұл график тартылыс күшінің сипаттамасы деп аталады. F көп болған сайын B_d үшін де үлкен мән таңдалады.



8.6-сурет. ЭМ тартылыс күшінің сипаттамасы

Жұмыс саңылауының қимасы келесі жолмен анықталады

$$S = 2\mu_0 F_{\min} / B_d^2. \quad (8.2)$$

Бұл жердегі коэффициент $\mu_0 = 0,15 \div 0,25$.

Өзекшенің қимасын жұмыс саңылауының қимасына тең деп алуға болады.

Катушканың ормының S қимасы мен l ұзындығын тағайындамас бұрын l/S қатынасы алынады. Бұл қатынас материалдың шығынына тәуелді болады. Якорьдың аз жүрісі мен аз күші кезінде бұл қатынастың үлкен мәнін таңдаған жөн болатыны тәжірибелерде белгіленген. Әдетте реле үшін $l/S=5 \div 8$ шамасын алуға кеңес беріледі.

8.3. ЭҚ сипаттамалары

ЭҚ жұмыс жасау үрдісін диаграммада көрсетілгендей (8.7-сурет) 4 кезеңге бөлуге болады:

1 кезең – реленің іске қосылуы; 2 кезең – реленің жұмысы; 3 кезең – релені босату; 4 кезең – реленің тыныштығы.

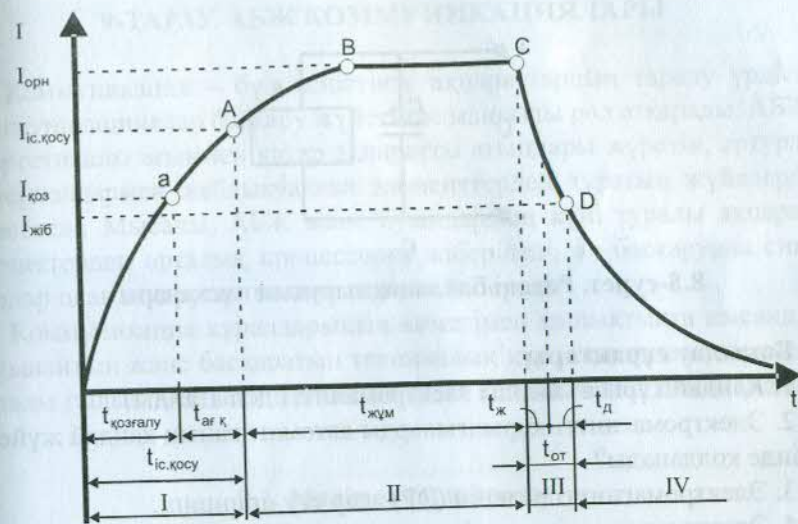
Диаграммада уақыттың әртүрлі жағдайына байланысты ток күшінің өзгеруі көрсетілген.

1 – кезеңде қисықтың *a* нүктесі көрсетілген, ол $I_{қозғалу}$ ток пен $t_{қозғалу}$ уақыт арасындағы якорьдің қозғала бастайтын аралығына сәйкес келеді. А нүктесіне сәйкес келетін сипаттамаларға қол жеткізгенге дейін якорь $t_{ағ қ}$ уақыт ағынымен қозғалады және А ($t_{i. қосу}$, $I_{i. қосу}$) нүктесінде реле іске қосылады. Демек, толық іске қосылудың уақыты $t_{i. қосу} = t_{қозғалу} + t_{ағ қ}$.

2 – кезеңде реле (ABC бөлігінде) $t_{жұм}$ ұзақтығымен жұмыс істейді. АВ бөлігінде іске қосылған ток, катушканың орамы бойымен өтіп орнықты мәнге $I_{орн}$ қол жеткізгенге дейін реленің күйін сипаттайды.

Реленің сипаттамаларының бірі реле қорының коэффициенті болып табылады және ол келесі қатынас түрінде анықталады $K_{кор} = I_{орн} / I_{i. қосу} = 1,5 \div 2$. $I_{орн}$ және де рұқсат етілген мәні орамның қызуының шарттары бойынша анықталады.

3 – кезеңде реленің жұмысы тоқтағаны жөнінде сигналдың берілген кезінен басталады немесе кіріс сигналдың өшкен кезінен басталады. Дегенмен орамдағы токтың ағымы жалғасады. Сонымен бірге $t_{ж}$ якорьды жіберу уақыты деп аталады. Кейін якорь бірнеше уақыт бойы $t_{ағ қ}$ ток $I_{жіб}$ түсу тоғының мәніне дейін азайғанша қозғала бастайды, және де D нүктесіне қол жеткізген кезде реле әсерін тоқтатады.

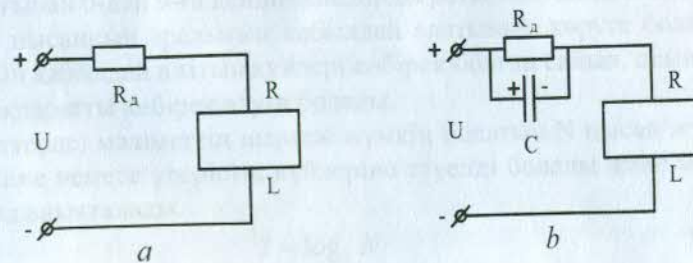


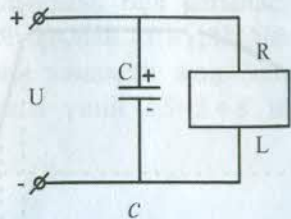
8.7-сурет. Реленің күйінің диаграммасы

Сондай-ақ реленің сипаттамасы ретінде жіберу уақыты $t_{жіб} = t_{ж} + t_{д}$ және де кері қайтару коэффициенті беріледі. Кері қайтару коэффициенті $K_{кері қ} = I_{жіб} / I_{i. қосу} = 0,4 \div 0,5$ деп жіберу тоғының жұмыс істеу тоғына қатынасын айтады.

4 – кезең реленің жұмыс істеуін тоқтатқан кезден бастап реленің тыныштық күйі басталған кезге дейінгі уақытпен сипатталады.

Іске кірісу уақыты мен босату уақытын құрылымдық және сұлбалық әдіспен өзгертеді. Мысалы, релені сұлба бойынша (8.8 a-сурет) іске қосса, онда жұмысқа кірісу уақытының арттыруына әкеледі. Релені сұлба бойынша (8.8 b-сурет) іске қосса, онда босату уақытының арттыруына әкеледі. Сол уақытта релені (8.8 c-сурет) сұлба бойынша қосса, онда түсіруді уақыттың үлкеюіне алып келеді.





8.8-сурет. Релені байланыстырудың нұсқалары

Бақылау сұрақтары:

1. Қандай құрылғыларды электромагнитті деп атайды?
2. Электромагнитті құрылғыларды автоматиканың қандай жүйелерінде қолданады?
3. Электромагнитті реленің (ЭР) әсер ету принципі.
4. Электромагнитті релені автоматиканың қандай жүйелерінде қолданады?
5. Кіріс токқа байланысты релені қалай жіктейді?
6. Тұрақты токты реле қандай түрлерге бөлінеді?
7. Нейтралды тұрақты токты электромагнитті есептеудің реті.
8. Электромагниттің құрылымдық көрсеткіші қалай анықталады?
9. Тарту күшінің сипаттамасы бойынша ЭҚ жұмысын қандай кезеңдерге бөлуге болады?
10. Реле күйінің диаграммасын сызыңыз.
11. Реле байланысының нұсқаларын көрсетіңіз.

9-ТАРАУ. АБЖ КОММУНИКАЦИЯЛАРЫ

Коммуникация – бұл кеңістікте ақпараттардың таралу үрдісі. Коммуникациялар басқару жүйесінде маңызды рөл атқарады. АБЖ энергетикалы ағынмен қатар ақпаратты ағындары жүретін, әртүрлі материалдармен жабдықталған элементтерден тұратын жүйелерді көрсетеді. Мысалы, АБЖ және буындардың күйі туралы ақпарат датчиктерден орталық процессорға жіберіледі, ал басқарушы сигналдар одан атқарушы механизмдерге жібереді.

Коммуникация құралдарының көмегімен қашықтықта нысанды бақылайтын және басқаратын техникалық құралдар және теориясы туралы ғылым мен техниканың аймағын телемеханика деп атайды.

9.1. Мәліметтің шарасы

Мәлімет адамның тіршілік әрекетіндегі барлық салаларында жиі қолданылатын ұғымдарының бірі болып табылады. Мәлімет – бұл кез келген нысан, жүйе, үдерістің ішкі қасиеті болып табылған іргелі шама. Осылайша, кез келген нысан, жүйе, үдеріс өзі жайлы мәліметтерге ие болады және сол мәліметтерді нақтылы техникалық құралдарды қолдану арқылы кез келген жерге беріп жіберуге болады немесе басқа нысандарды қолдану арқылы да жіберуге болады. Осы уақытқа дейін ақпараттың нақты анықтамасы жоқ. Кибернетиканың энциклопедиясының келтірген мәліметінің анықтауы бойынша бұл жерде байқайтынымыз, байланыс үдерісінде басқа жүйеге қатынаста ол тапсырған түрлерінің кейбір мәліметтерінің жиынтығы бар.

Математикалық көзқарас бойынша, ақпарат нысанның әр түрлі күйін ұсынатын жиындардың реттілікті белгісі болып табылады. Мысалы, 0-ден 9-ға дейінгі сандар он әртүрлі нысандарды көрсетеді. Басқа жағынан 0-ден 9-ға дейінгі сандарды ретке салғандағы жиыны 10 күйлі нысанның аралығын қабылдай алатынын көруге болады. Нысанның қабылдай алатын күйлері көбірек болған сайын, осындай күйден ақпаратты көбірек алуға болады.

I (биттерде) мәліметтің шарасы мүмкін болатын N нысан жүйесінің күйіне немесе үдерістің күйлеріне тәуелді болады және мына теңдікпен анықталады.

$$I = \log_2 N \tag{9.1}$$

Мысалы, егер нысан тек екі жағдайды қабылдай алса: 0, 1. Онда оның ақпараттық мазмұны ($I = \log_2 2 = 1$) 1-ге тең болады. Бит, ақпараттық техникада таралған бірлік болып келеді.

9.2. Телемеханикадағы коммуникация үрдісінің үлгісі

Телемеханика жүйесіндегі коммуникация үрдісінің жалпы үлгісі 9.1-суретте көрсетілген.



9.1-сурет. Телемеханикалық жүйенің сұлбасы

Коммуникациялық жүйе (ПП-ХҚ) хабарлағыш (передатчик), қабылдағыш және байланыс арнасынан құралған. Қабылдағыш пен хабарлағышқа ортақ болып келетін тасымалдауышпен немесе байланыс арнасы бойынша символдардың тізбегінен тұратын хабарламаны хабарлағыш қабылдағышқа береді. Хабарлама қандай да бір сыртқы нысанға (басқару пункті немесе БН) қатысты. Берілетін ақпараттың жалпы саны, хабарламаны құрайтын символдардың қосындысы ретінде беріледі. Хабарламаны жіберу үшін қандай болмасын бір код қолданылады, осыған байланысты хабарлағыш арнаның кейбір физикалық қасиеттерін өзгертеді, ал қабылдағыш байланыс арнасынан табылған арнадан хабарламаны қабылдап оның өзгерісін қалпына келтіреді. Коммуникация үрдісінің арнасына шулар, бұрмалаушы хабарламалар әсер етеді және арнадағы өзгерістерді тануға және хабарламаны дұрыс түсінуге арналған қабылдағыштың жұмысын қиындатады.

Телемеханика жүйесі басқарудың бір пунктінен бірнеше нысандарын басқаруға мүмкіндік береді. Басқару нысанынан көрсетілген кері хабарламалар датчиктерден және басқарудың кері байланысын

қамтамасыз ететін басқа да құрылғылардан келіп түседі.

Деректерді берудің негізгі мәселесі берілген уақыт ішінде қажетті хабарламаны аз шуда алу, бұрмалаусыз жеткізу және шудың әсерінен әлсіреген ақпаратты қабылдап туралау болып келеді.

Автоматты басқару жүйелерінде А құрылғысы Б құрылғысына ақпаратты жәй ғана береді немесе А құрылғысы Б құрылғысына қандай да болсын әрекетті жасауға мәжбүрлейді.

9.3. Коммуникациялық жүйенің есептік сипаттамалары

Коммуникацияны сынау үшін бірнеше есептік сипаттамалар қолданылады, оған өткізу қабілеті және өткізу жолы жатады. Өткізу қабілетінің өлшем бірлігі – бит/с, ол бірлік уақытында байланыс арнасында беретін ақпараттың санын анықтайды. Байланыстың физикалық (электрлі, оптикалық, радиоканалды) каналының өткізу қабілеті өткізу жолағы, сигналдың қуаты және шудың деңгейіне тәуелді болады. Өткізу жолағының өлшем бірлігі (Гц) герцпен беріледі және жиіліктің ауқымы ретінде анықталады, ол үшін байланыс каналындағы сигналдардың қуаты 50%-ға құлағанға дейін жібере алатын қабілеті бар болса болды. Сигналдың N деңгейіндегі W өткізу жолағының еніне байланысты V_{max} электр каналындағы деректерді максимал беру жылдамдығы Г.Найквисттің (9.3) формуласы бойынша анықталады.

$$V_{max} = 2W \log_2 N \quad (9.3)$$

Екілік мәліметтердің беру кезінде $V_{max} = 2W$.

Байланысқа әртүрлі (шулар) бөгеттер теріс ықпал етеді. Шуларды есепке алғандағы каналдағы байланыстың максималды өткізу қабілеттілігі К.Шеннонның (9.3.1) формуласы бойынша анықталады.

$$V_{max} = W \cdot \log_2(1 + S/R) \quad (9.3.1)$$

(S) сигнал қуатының орташа деңгейіне (R) шудың қуатына қатынасын логарифмдік бірлігі (дБ) децибел болатын S/R қатынасын білдіреді. Сигналдардың беру жылдамдығы іс жүзінде әлдеқайда аз болуы мүмкін.

9.4. Ашық жүйелердің әрекеттесуі (АЖӘ) үлгісі

Қазіргі кезде коммуникация үрдістерінде байланыстардың қуатты құралдары қолданылады және қолданушылардың арасында көптеген стандарттар сәйкес келмегендіктен өзара келіспеушіліктер туады. Халықаралық стандарттау ұйымы (*International Organization for Standardization – ISO*) ашық жүйелердің әрекеттесуінің (АЖӘ) эталондық үлгісін өңдеді. АЖӘ эталондық үлгісі, коммуникационды үрдістің әртүрлі құраушыларын ұқсастыру және жіктеу үшін құрылымды ұсынады. АЖӘ базалы сұлбалармен сәйкес өңделген қосымша жүздеген стандарттары бар. АЖӘ үлгісі нақты бір салаға жатпайды, ол тек коммуникацияны абстрактты түсінікте бейнелейді. АЖӘ жүйенің үйлесімділігіне жету үшін қолданылатын қажетті хаттамалардың немесе беріліс жылдамдығын, кернеу деңгейін анықтамайды. Керісінше, АЖӘ хаттамалардың, жылдамдықтары және кернеу деңгейлерінің, сонымен қатар басқа да көптеген параметрлердің келісілгендігін мәлімдейді. АЖӘ үлгісінің тәжірибелік мақсаты ауыспалылықты және үйлесімділікті қамтамасыз ету болып табылады.

Үйлесімділік дегеніміз ол – мәліметтердің алмасуы, олардың түрленуіне пропорционалды емес шығындардың талап етуін білдіреді. Ауыспалылық бір функцияны орындауға арналған, әртүрлі өндірушілермен шығарылатын құрылғылар, жұмыстары бірдей принцип және ереже бойынша негізделген жағдайда ешқандай қиындықсыз бір-бірімен алмастыра алуын білдіреді.

АЖӘ – бұл коммуникация үрдісінің тұжырымдамалық үлгісі, осыған сәйкес үрдіс бірнеше функционалды деңгейлерге бөлшектенеді. Мұнда әрбір функционалды деңгей, деңгейі бойынша жоғарыда немесе төменде орналасқан көршілерімен ғана өзара әрекеттеседі. Мұндай нұсқа ауыспалылық және үйлесімділіктің нақты деңгейін қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. АЖӘ үлгісінде жеті функционалды деңгей анықталған. Олардың әрбіреуі тек өзінің көршілерімен ғана тікелей әрекеттеседі: олар төменгі деңгейдің қызметін анықтайды және оны жоғарыда орналасқан деңгейге жеткізеді. Әртүрлі коммуникациялық желінің бір деңгейінде орналасқан нысандар біррангілі деп аталады. Біррангілі нысандар өзара бір-бірімен хаттамалар негізінде әрекеттеседі, олар хабарламаның форматын және оларды жіберу ережесін анықтайды.

АЖӘ ережелеріне сәйкес біррангілі нысандар ғана бір-бірімен хабарласа алады. АЖӘ үлгілерінде келесі деңгейлер анықталған:

- Станция немесе түйіндер деп аталатын, нысанның интерфейсіне сәйкес келетін электрлі немесе оптикалық сигнал берудің физикалық ортасын білдіретін деңгей – физикалық деңгей деп аталады. Физикалық деңгей екі түйін арасындағы жалғыз материалдық байланыс болып табылады және телефон, телеграф, радио, электронды байланыс, сонымен қатар электрлі және оптикалы өткізгіштер түрінде жүзеге асуы мүмкін.
 - Кадрларды қалыптастыру және беруді қамтамасыз ететін деңгей арналы (каналды) деңгей деп аталады.
 - Қорек көзінен белгіленген түйінге хабарламаны беруді бақылайтын және маршрутын орнататын деңгей – желілі деңгей деп аталады.
 - Қорек көзінен қабылдағышқа хабарламаның жеткізілуін басқаратын деңгей – транспорттық деңгей деп аталады. Осы деңгей қолданбалы бағдарламалық қамтамасыз етудің арасындағы интерфейсден тұрады. Транспорттық деңгей қоректен қабылдағышқа мәліметтерді жіберудің дұрыстығына және қолданбалы бағдарламалардың жеткізілуіне жауапты болып келеді.
 - Нысандар арасындағы байланысты басқаруға (байланыс сеансы), синхрондауға, қолдауға жауапты деңгей – сеансты деңгей деп аталады. Осы деңгейде желіге тіркелу орындалады.
 - Кодтау және қабылдаушыға түсінікті форматқа кодты түрлендіруді қамтамасыз ететін деңгей – мәліметтерді көрсету деңгейі деп аталады.
 - Файлдарды беру, деректер базасындағы операциялар және алыстан басқару сияқты қолданбалы есептер шешілетін ең жоғарғы деңгейді көрсететін деңгей – қолданбалы деңгей деп аталады.
- Бірінші деңгей материалды іске асыратын жалғыз деңгей. Қалғандары бағдарламалы құралдармен жүзеге асқан функцияларды шақырудың бейнесін немесе ережелер жиынын көрсетеді. Төменгі үш деңгей желілі немесе коммуникационды деңгейлер деп аталады, себебі олар хабарламаны жеткізуге жауапты болып келеді.
- Өндірісті автоматтандыру хаттамасы автоматты басқару жүйесінің және басқа да құрылғылардың өзара алмасымдылығы мен үйлесімділігін қамтамасыз ететін (*Manufacturing Automation Protocol – MAP*) АЖӘ үлгілеріне негізделген.

9.5. Өндірісті автоматтандырудың хаттамасы

MAP осы хаттаманы қолдана отырып, әртүрлі құрылымдарға (әртүрлі жасап шығарушылар) бір-бірімен мәліметтерді алмасуға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, АЖӘ сияқты MAP сұлбасы 7 деңгейге бөлінеді. Әрбір деңгей ISO хаттамасымен суреттеледі. MAP өндірістің нақты уақыт тәртібінде қолдану үшін әдейі жасалынған. Автоматтандыру жүйелерінде үш функционалдық деңгейлерді белгілеуге болады: ортақ (стратегиялық) басқару, өндірістік жолдармен басқару, бөлімшемен (орташа деңгей) басқару және жергілікті (9.2-сурет) басқару. MAP орташа деңгейдегі басқарумен жұмыс істейді. Басқарудың жергілікті деңгейінде микропроцессорлық құрылыммен және атқарғыш механизм басқарылуы датчиктің аралықтарында ақпараттарды беру және алмастыру арқылы іске асады. Бұл деңгейде жергілікті басқарудың Fieldbus шинасы қолданылады. Атап өту керек, жергілікті басқарудың Fieldbus шинасы стандарттардың түріне әлі кірмеген, дегенмен болашақта мұндай хаттама күтілуде.



9.2-сурет. Басқарудың иерархиялық құрылымы

9.6. АБЖ көрсеткіштерінің жиынтығы

АБЖ басқарылатын шеткі процессорлары немесе интерфейстік модульдері, техникалық үрдіс жөніндегі мәліметтерді датчиктерден алады. Бұл процессорлар техникалық үрдістерді атқарушы механизмдер арқылы басқарады. Мәліметтерді датчиктерден жинаудың және оларды жоғары иерархиялық қондырғылар мен басқарудың орталығына жіберудің негізгі үш тәсілі бар.

Бірінші тәсіл телеметрияның әдісін қолдануға негізделген. Телеметрия – бұл мәліметтерді екі бағытта жіберудің қолайсыз болуы немесе мүмкін емес жағдайда (мысалы, ғарыштық нысандар жағдайында), перифериялық қондырғылардан орталық процессорға жіберудің тура тәсілі. Барлық мәліметтер алдын ала белгіленген форматта үздіксіз беріледі. Бір цикл біткен соң жаңасы басталады.

Тапсырыс бойынша орындалатын мәліметтерді жинақтау екінші тәсіл болып табылады. Компьютер циклі түрде датчиктердің ағымдық жағдайын сұрап отырады және де периодты түрде өзінің мәліметтерінің ішкі базасындағы мәліметтерді жаңартып отырады. Сұраған кезде, перифериялық қондырғылар басқарушы компьютерге жауап беруі тиіс.

Үшінші тәсіл алдыңғы тәсілмен салыстырғандағы өзінің мағынасын өзгерткен өзгертінділерді ғана жіберуден тұрады. Сандық өзгергіштер әрбір өзгерісте беріледі, ал аналогты өзгергіштер үшін белгілі бір өтетін зона беріледі. Жаңа ақпарат аналогты өзгергіш алдыңғы жіберілген мәнге қатысты белгілі бір пайызға өзгерген кезде ғана орталық процессорға келіп түседі.

Күрделі әдістерде өзгергішпен өлшенетін ауытқу интегралы қандайда бір мәнге жеткен кезде мәліметтердің берілісін қосады. Бұл әдіс ақпаратты жіберу кезінде датчиктермен генерацияланатын үзулерге негізделген.

Орындалатын ақпараттардың типтік математикалық операциялары сүзу, ең аз, ең көп және орташа мәндерді немесе басқа статистикалық параметрлерді табу болып келеді.

Мәліметтерді, датчиктерден орталық қондырғыға жіберуге арналған өнеркәсіптік автоматиканың жүйесі, көбінесе үзу мен екінші және үшінші әдістердің бөлімдерінде қолданылады.

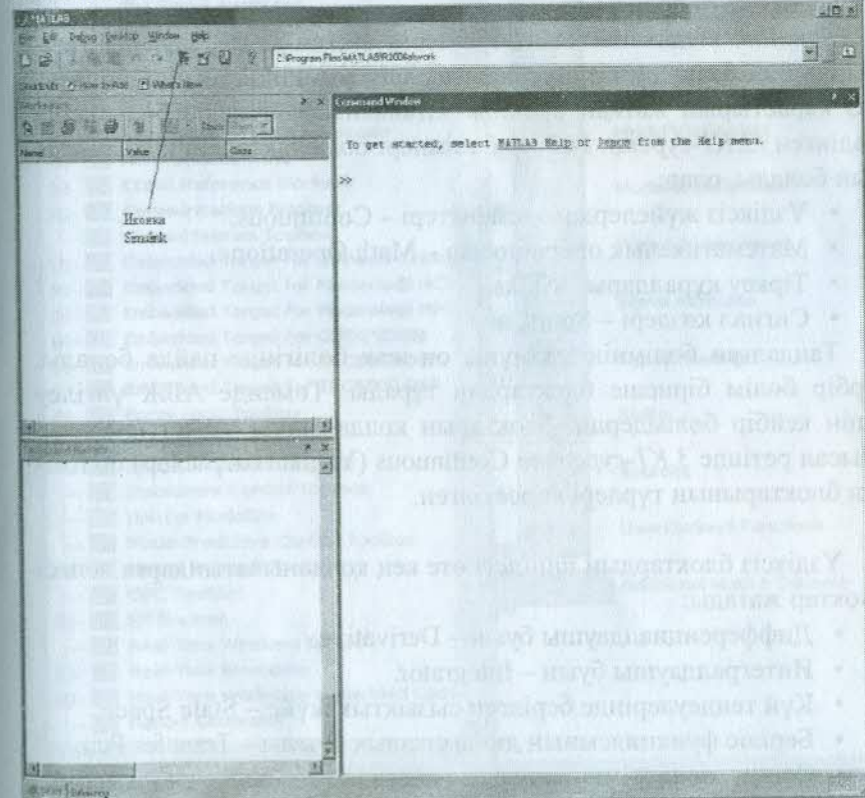
Бақылау сұрақтары:

1. Коммуникацияның анықтамасы.
2. Телемеханикалық жүйенің сұлбасын көрсетіңіз.
3. Телемеханика жүйелерінің анықтамасы.
4. Телемеханика жүйелерінің мүмкіндіктері.
5. Өткізу қабілетінің ұғымы.
6. Өткізу жолағының өлшемділігі.
7. Сигналды максималды жылдамдықпен беру кезінде К. Шеннонның формуласы қандай жағдайларды есепке алады?
8. Ашық жүйелердің қатынасының (АЖҚ) эталондық үлгісінің түсінігі.
9. Сәйкестік түсінігі.
10. Жүйенің ауысымдылығының түсінігі.
11. Коммуникация үрдісінің жеті функционалдық деңгейі.
12. АЖҚ үлгісі бойынша коммуникациялау кезіндегі қатынастың механизмі.
13. MAP хаттамасының мәні.
14. Мәліметтерді датчиктерден жинаудың және оларды өте жоғары иерархиялық қондырғыларға және басқару орталығына жіберудің үш негізгі әдісі.

1-қосымша

MATLAB – ғылыми және инженерлік есептеулерге арналған интерактивті орта. MATLAB құрамына негізгі бағдарламаның функционалдық мүмкіндіктерін кеңейтетін М-файлдардан тұратын қолданбалы бағдарламаның арнайы пакеттері және негізгі бағдарлама (ядро) кіреді. Осындай пакеттердің бірі *Simulink* кітапханасында ұсынылған, ол негізгі бағдарлама ретінде, басқару жүйесін синтездеу және нәтижелерін үшін MATLAB-ты қолдануға мүмкіндік береді.

Берілген әдістемелік нұсқаудың негізгі мақсаты – басқару жүйесін синтездеу және талдау міндеттерін MATLAB ортасында *Simulink* кітапханасын қолданып есептерді шешу болып табылады, студент осындай негізгі нысандардың қатарын қарастырып алғашқы дайындығын ала алады.



1.Қ1-сурет. Пакетті ашуға арналған терезе

Simulink кітапханасы (*1.Қ1-сурет*) визуалды нысандардың жиынтығынан тұрады, оларды қолдана отырып АБЖ зерттеп, үлгісін жасауға болады. *Simulink* кітапханасының барлық бөлімі көрсеткіштерді баптау мүмкіндігіне ие. Баптау көрсеткіштері берілген бөлімді баптаудың терезесінде бөлек панельмен бейнеленеді. Баптау терезесінің панеліндегі **Help** батырмасы бөлім жөніндегі және оны баптаудың көрсеткіштерінің нақты ақпараттарын ашады.

MATLAB бағдарламасы іске қосылғаннан кейін *1.Қ1-суретте* көрсетілгендей терезе ашылады.

Simulink жұмысын, (Windows ортасындағы) суретте көрсетілген *Simulink* белгісін шертіп бастауға болады, содан кейін кітапхана терезесінің **File** менюінен Model таңдаймыз. Құралған файл бірден **Untitled** деп атала бастайды. **Save** командасы арқылы сақтағаннан кезде берілген үлгіге **.mdl** кеңейтуімен жаңа атау беріп, қажетті жерде сақтауға болады.

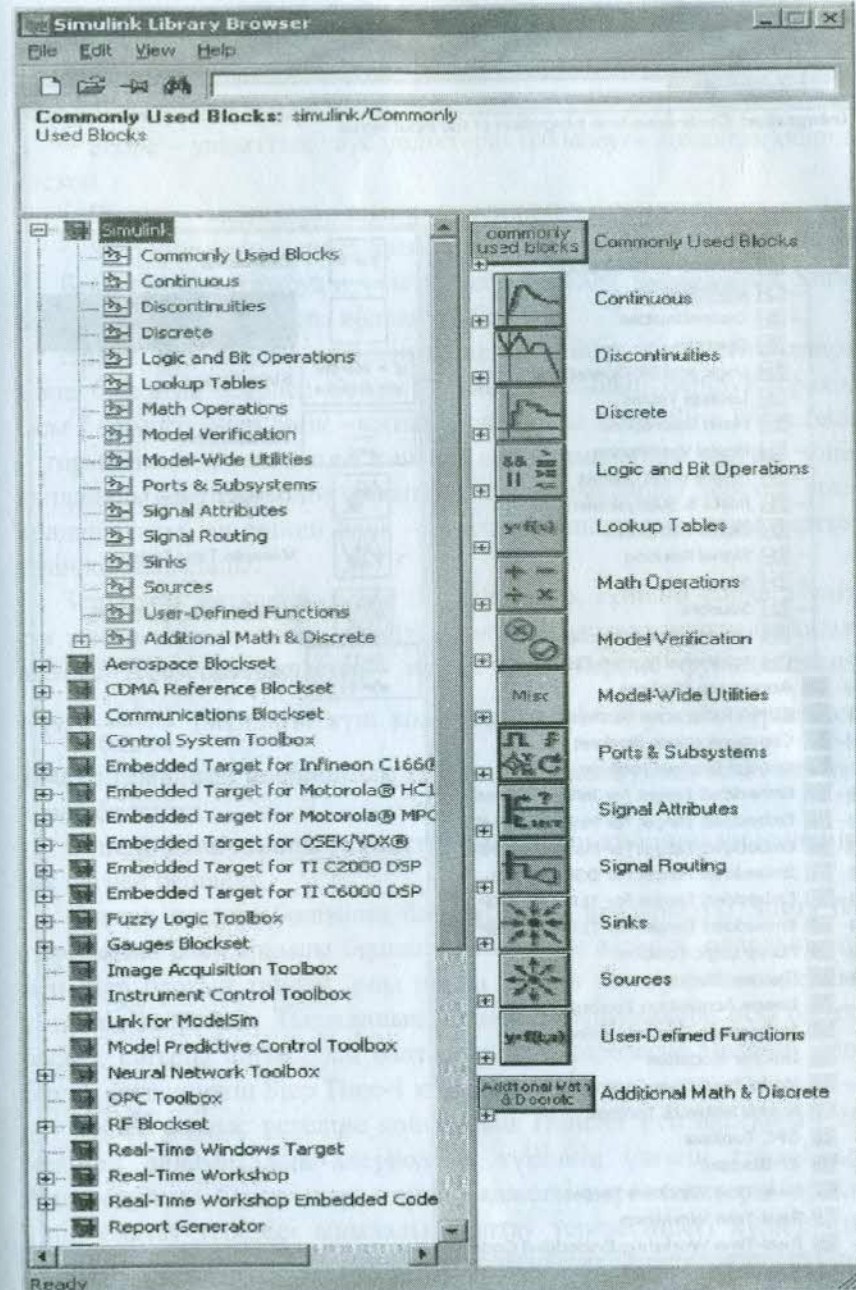
Simulink кітапханасының браузерін ашқан кезде, арнайы тағайындалған басқа да кітапханаларды ашу мүмкіндігі пайда болады. Біз қарастырып жатқан *Simulink* кітапханасы бірнеше бөлімдерге бөлінген (*2.Қ1-сурет*). Кейбір бөлімдері болашақта жиі қолданылатын болады, олар:

- Үздіксіз жүйелердің элементтері – Continuous.
- Математикалық операциялар – Math Operations.
- Тіркеу құралдары – Sinks.
- Сигнал көздері – Sources.

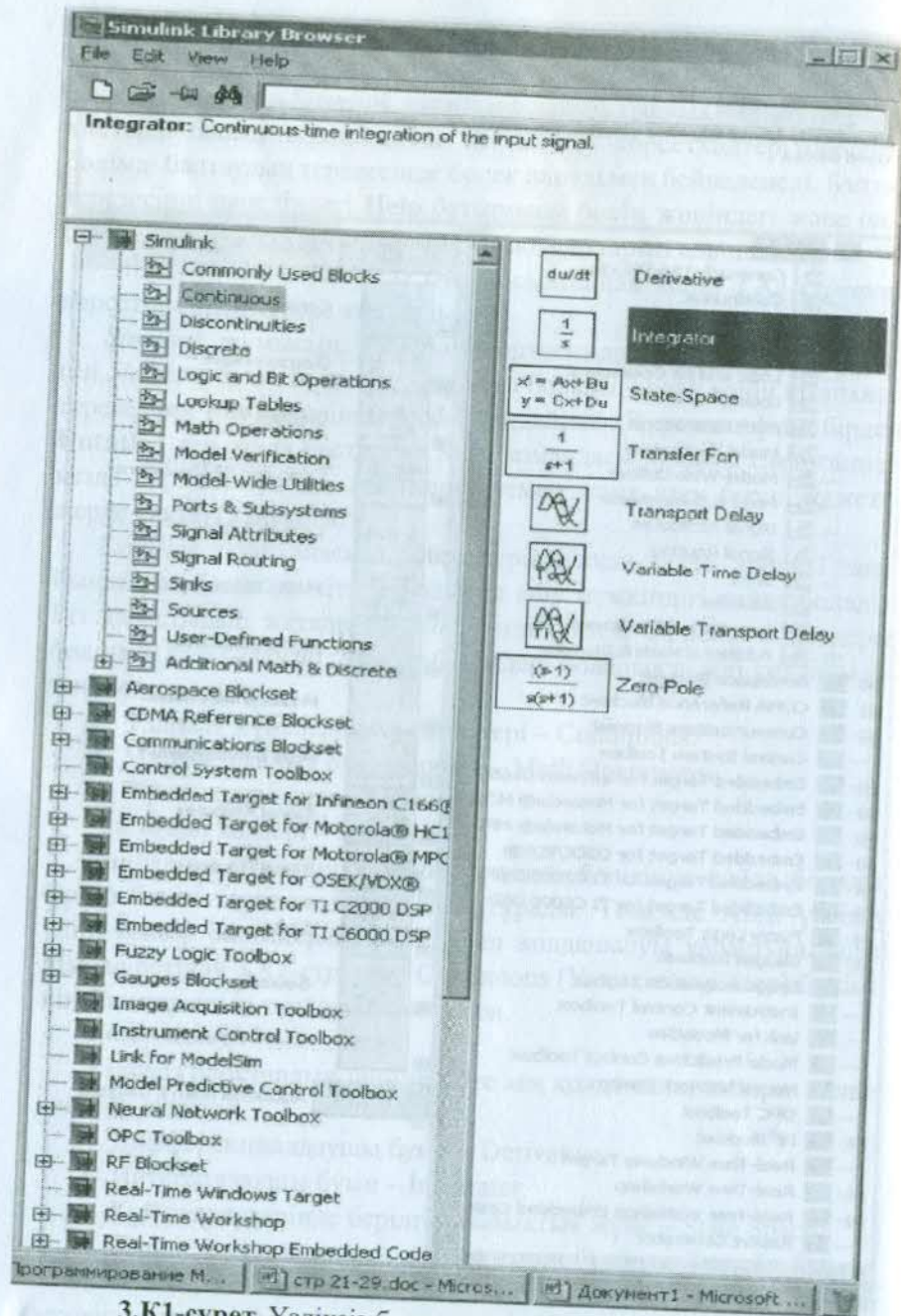
Таңдалған бөлімнің мазмұны оң жақ бөлігінде пайда болады. Әрбір бөлім бірнеше блоктардан тұрады. Төменде АБЖ үлгілеу үшін кейбір бөлімдердің блоктарын қолданылуы қарастырылады. Мысал ретінде *3.Қ1-суретте* Continuous (Үздіксіз жүйелер) бөлімінің блоктарының түрлері көрсетілген.

Үздіксіз блоктардың ішіндегі өте кең қолданылатындарға келесі блоктар жатады:

- Дифференциалдаушы буын – Derivative.
- Интегралдаушы буын – Integrator.
- Күй теңдеулерінде берілген сызықтық жүйе – State Space.
- Беріліс функциясының динамикалық буыны – Transfer Fcn.
- Өзінің нөлдерімен және полюстарымен берілген сызықты аналогты жүйе – Zero-Pole.



2.Қ1-сурет. Simulink кітапханасының бөлімдері



3.К1-сурет. Үздіксіз блоктардағы бөлімнің құрамы

Үлгілеудің нәтижелерін MATLAB-ға моделдеуді бейнелеу үшін Simulink кітапханасының Sinks бөлімі қолданылады. Sinks бөлімі келесі блоктардан тұрады:

- Scope – уақыттық тәуелділіктерді бақылауға арналған осцилоскоп.
- Display – мониторға шығаруға арналған құрылғы.
- Stop Simulink – симуляцияны тоқтату.

Бақылау мен тіркеудің осы немесе басқада құралдарын Sinks батырмасын басу арқылы қолдануға болады.

Әрине кез келген жүйенің кірісіне кейбір кіріс сигналдары және басқа да әсерлер Sours бөлімінен алынып берілуі мүмкін. Осы бөлімдегі Step блок – сатылы сигналды және Sine Wave блок – гармоникалық сигналды сапалы сипаттамаларды зерттеу үшін қолданады. Бірінші блок уақыттық сипаттамаларды зерттеу үшін қолданылады, ал екінші блок – жиіліктік сипаттамаларды зерттеу үшін қолданылады.

Зерттеліп жатқан жүйенің (құрылымдық сұлбаға сәйкес) үлгісін жасап шығару үшін қажетті блоктарды кітапханадан файлдың жұмыс терезесіне ауыстыру керек. Бізге беріліс функциясымен

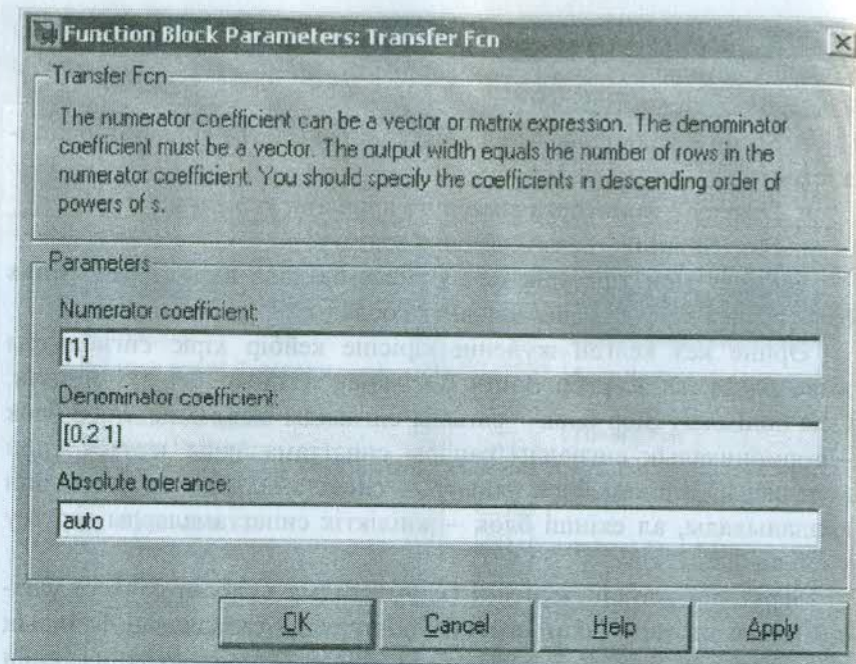
$$W(s) = \frac{1}{0.2s + 1} \quad (\text{мұндағы күш коэффициенті } k=1, \text{ уақыт тұрақтысы } T=0.2\text{c.})$$

берілген апериодтық түйіннің өтпелі функциясын зерттеу керек болсын.

Өтпелі сипаттаманы (уақыттық) алу үшін түйіннің кірісіне бірлік сигнал беріледі.

Сигнал көздері бөлімінің блоктарының шақырылуы Sours батырмасына басу арқылы бірнеше блоктарды аламыз, олардың ішінен Step блогын таңдап, оны пайда болған бағдарламаны жұмыс үстеліне апарамыз. Тышқанның оң жақ батырмасымен осы блокка басып, сатылы сигналдың баптамасының терезесін ашамыз және бірлік сигнал үшін Step Time-1 қоямыз.

Сосын жұмыс үстеліне қойылатын Transfer Fcn блогының көмегімен динамикалық апериодтық түйіннің үлгісін таңдаймыз. Алдымыздағы блокта қаралғандай қажетті көрсеткіштерді орнату үшін баптау терезесі ашылады. Баптау терезесіндегі күшейтудің коэффициенті Numerator жолына енгізіледі, ал Denominator жолына [0.21] (4.К1-сурет) түрінде болатын бөлгіштің коэффициенті енгізіледі.



4.Қ1-сурет. Transfer Fcn блогын баптау терезесі

Зерттелетін үрдісті, яғни өтпелі функцияның графигін бақылау үшін аспап қажет. Аспап ретінде Scope блогын (осцилоскоп) таңдаймыз және бұл блокты тышқанның көмегімен жұмыс үстеліне апарамыз.

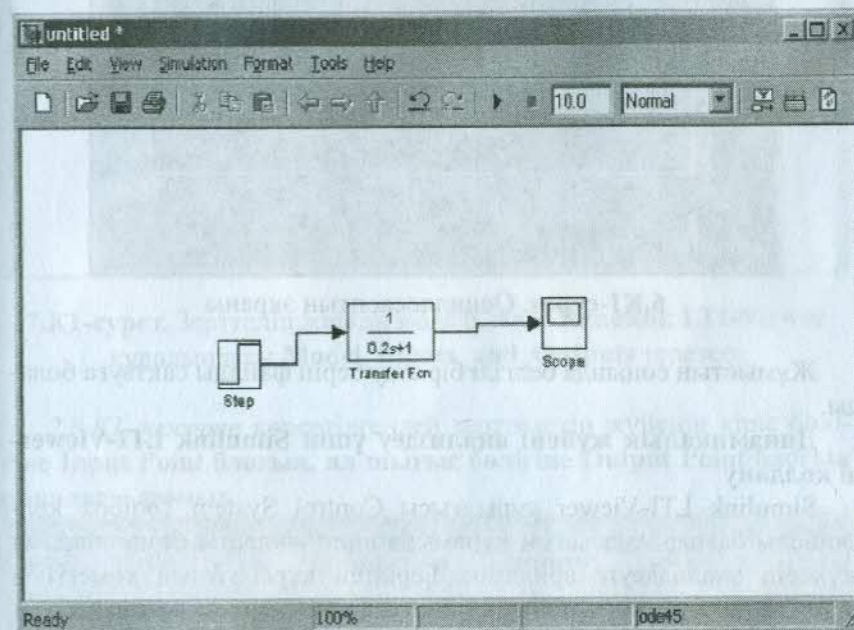
Ендігі тапсырма, таңдалған блоктарды өзара байланыстыру болып табылады.

Бұрыштық жақша (>) Step блогының оң жақ бұрышынан пайда болады, ол блоктың шығыс порты. Transfer Fcn блогының сол жақ бұрышында кіріс порт деп аталатын, блокқа бағытталған аналогты бұрыштық жақша бар. Оң жақтағы блок шығыс портқа, яғни блоктан бағытталған бұрыштық жақшаға ие. Scope блогының кіріс порты бар.

Үлгі, алдыңғы блоктың шығыс портын келесі блоктың кіріс портымен байланыстыру жолымен құрылады. Мысалы, Step блогының шығысын Transfer Fcn блогының кірісіне байланыстыру үшін тышқан курсорын шығыс портқа апарамыз; Кейін тышқанның

сол жақ батырмасын басып ұстап тұрып (курсор «x» пішініне ие болғанға дейін) курсорды Transfer Fcn блогының кіріс портына апарамыз және тышқан курсоры қалың X-пішініне келгенше ұстап тұрамыз; Осыдан кейін тышқанның батырмасы жіберіледі. Осы кезде бағытталған байланыстырғыш сызығы құрылады. Осы түрде Transfer Fcn блогының шығыс портын Scope блогының кірісімен байланыстырамыз.

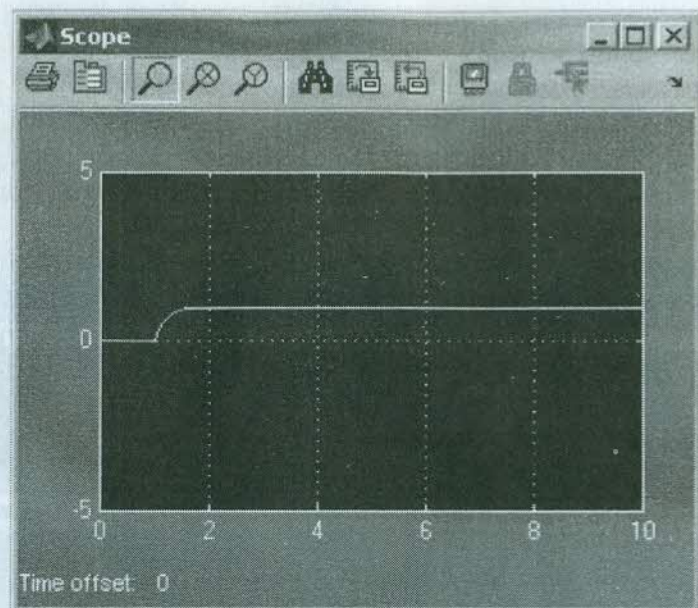
Нәтижесінде аperiodтық буынның уақыттық сипаттамаларын зерттеуге арналған үлгі құрылады (5.Қ1-сурет).



5.Қ1-сурет. Аperiodтық буынды зерттеуге арналған үлгі

Үлгілеуді бастамас бұрын тышқанның көмегімен Scope блогын екі рет шертіп осцилоскоп терезесін ашамыз. Simulation мәзірінен Start опциясын таңдаймыз. Осы уақытта үлгілеу үрдісі басталады және экранда өтпелі функцияның графигінің суреті пайда болады (6.Қ1-сурет).

Буынның көрсеткіштерін, яғни күшейту уақыты мен тұрақты уақыттың өзгертіп қисық жүріс сипатының өзгерістерін бақылауға болады.



6.Қ1-сурет. Осциллоскоптың экраны

Жұмыстың соңында белгілі бір атау беріп файлды сақтауға болады.

Динамикалық жүйені анализдеу үшін Simulink LTI-Viewer-ді қолдану

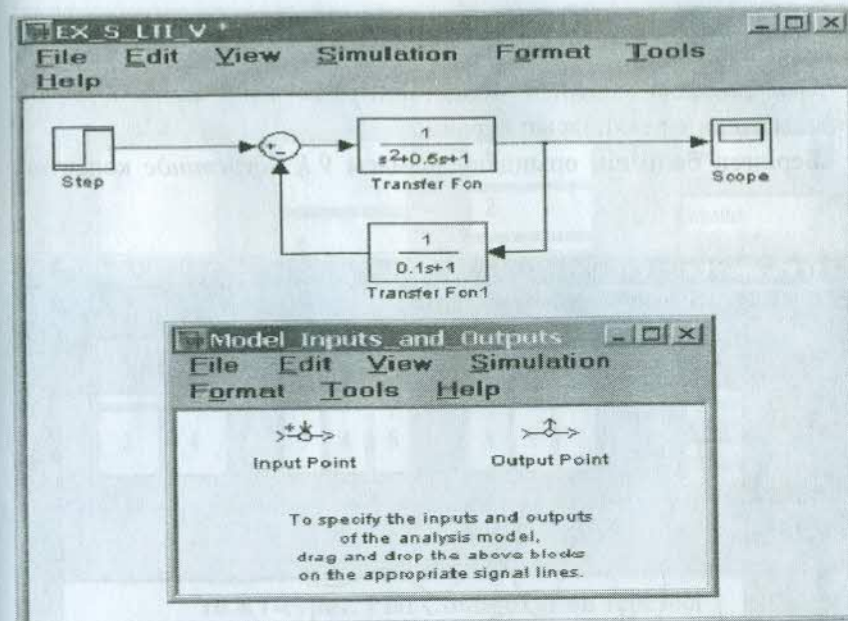
Simulink LTI-Viewer құрылғысы Control System Toolbox қолданбалы бағдарламасының құрамына кіріп жолақты стационарлық жүйесін анализдеуге арналған. Берілген құрылғының көмегімен зерттелетін жүйенің жиіліктік сипаттамасын құрастыру оңай болады және бірлік сатылы және импульсті әсері кезіндегі бағасын алуға болады, жүйенің нөлі мен полюсін және тағы басқаларды табуға болады.

Simulink LTI-Viewer жұмысының қысқа алгоритмі төменде көрсетілген.

Simulink LTI-Viewer-мен жұмыс істеу

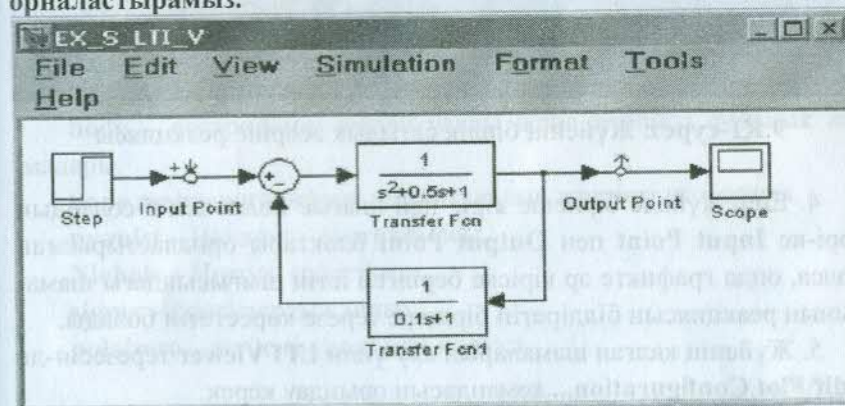
1. Simulink-моделінің Tools\Linear Analysis... командасын орындау.

Осы команданы орындау нәтижесінде 7.Қ1-суретте көрсетілгендей Model Inputs and Outputs терезесі ашылады және сонымен қатар, Simulink LTI-Viewer бос терезесі де ашылады.



7.Қ1-сурет. Зерттеліп жатқан модель және Simulink LTI-Viewer құралындағы Model Inputs and Outputs терезесі

2.8.Қ1-суретте көрсетілгендей зерттелетін жүйенің кіріс бөлігіне Input Point блогын, ал шығыс бөлігіне Output Point блогын орналастырамыз.

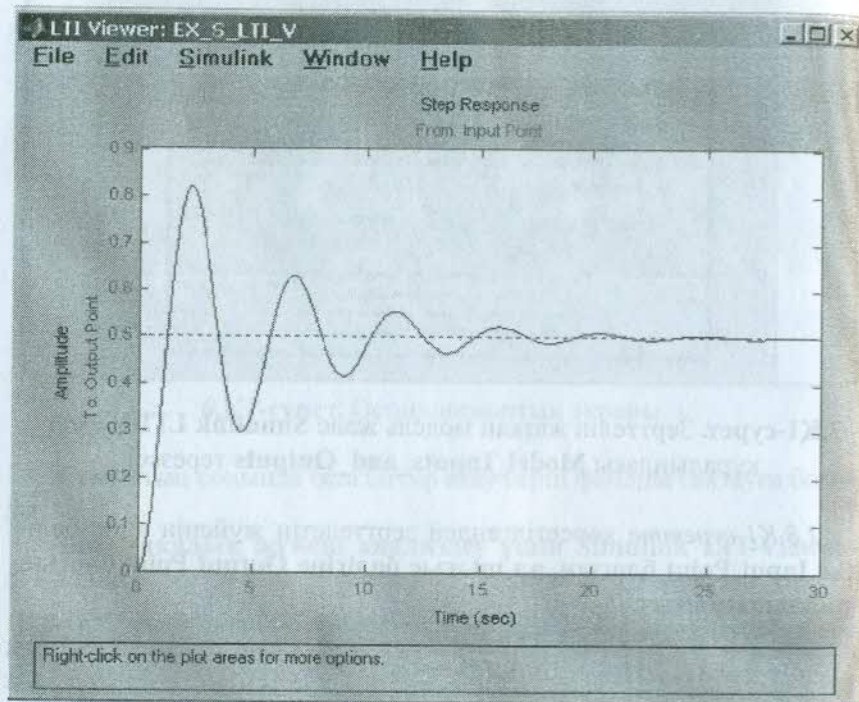


8.Қ1-сурет. Input Point және Output Point блоктары орналастырылған зерттелетін модель

3. LTI Viewer терезесінде Simulink\Get Linearized Model командасын орындау.

Осы команда модельді жолақтандырады және жүйенің бірлік сатылы әсеріне реакциясын құрайды.

Берілген бөлімнің орындалу шамасы 9.Қ1-суретінде көрсетілген.

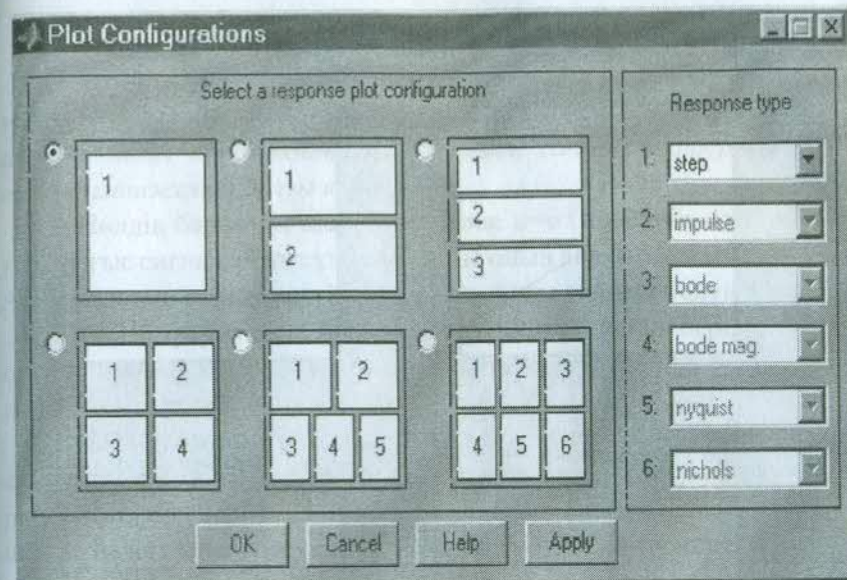


9.Қ1-сурет. Жүйенің бірлік сатылық әсеріне реакциясы

4. Егер жүйеде бірнеше кіріс пен шығыс болса және солардың бәрі-не **Input Point** пен **Output Point** блоктары орналастырылған болса, онда графикте әр кіріске берілген істің шығысындағы шамасының реакциясын білдіретін бірнеше терезе көрсететін болады.

5. Жүйенің қалған шамаларын алу үшін LTI Viewer терезесінде **Edit\Plot Configuration...** командасын орындау керек.

Осы команданы орындау барысында 10.Қ1-суретте көрсетілгендей команда терезесі ашылады.



10.Қ1-сурет. Plot Configuration терезесі

Ашылған терезеде көрсетілген графиктің санын таңдауға болады (**Select a response plot configuration** панелі) және көрсетілген графиктің (**Response type** панелі) көрінісін таңдауға болады.

Құрастыру үшін келесі графиктерді (диаграммалар) алуға болады:

Step – бірлік сатылы әсерге реакциясы

impulse – бірлік импульсті әсеріне реакциясы

bode – логарифмді амплитудалы және жиілікті фазалық шамалары.

bode mag – логарифмді амплитудалық жиілікті шамалары.

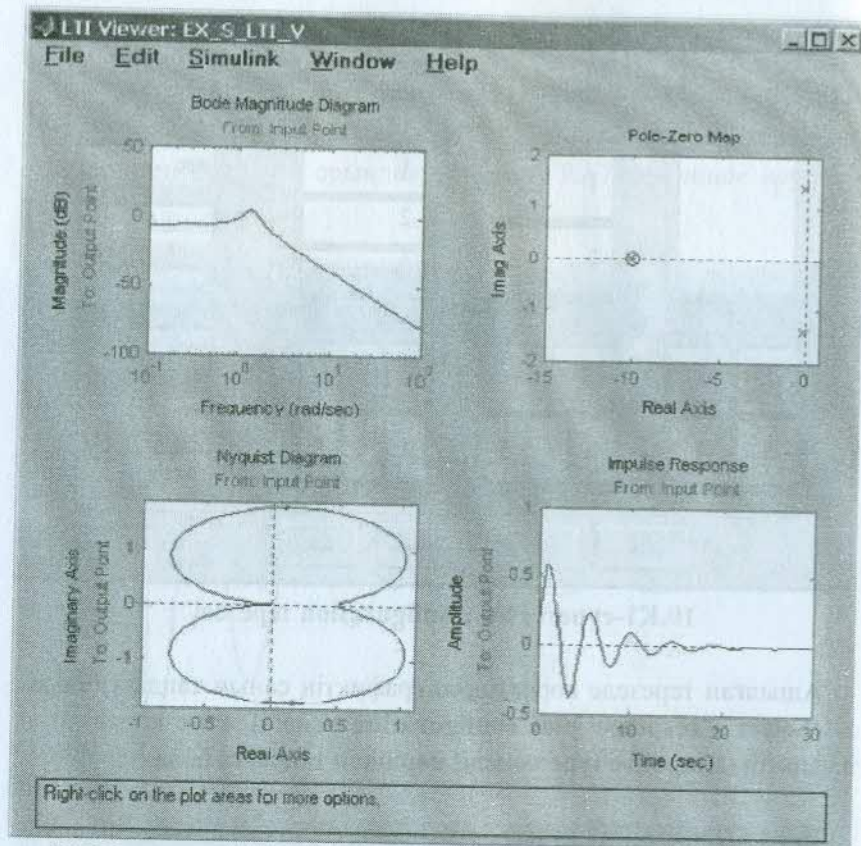
nyquist – Найквист диаграммасы.

Nichols – Николс годографы.

sigma – сингулярлы сандар.

pole/zero – жүйенің нөлі мен полюсі.

11.Қ1-суретте Simulink LTI-Viewer терезесінде зерттелетін жүйенің бірнеше әртүрлі сипаттамаларына мысал көрсетілген.



11.Қ1-сурет. Бірнеше графигі бар Simulink LTI-Viewer терезесі

Графиктің сыртқы көрінісін **Edit\Line Styles...** командасының көмгімен баптауға болады.

2-қосымша

Студенттің өзіндік жұмысы (СӨЖ)

1. Жұмыстың мақсаты және СӨЖ мазмұны

АБЖ динамигін зерттеу (4.26-сурет) құрылымдық сұлбада, $W_1(s)$, $W_2(s)$ және k , T_1 , T_2 шамаларын вариант бойынша кестеде берілген.

Жұмыс бойынша есептеудің келесідей нәтижелері болуы керек:

1. $W_1(s)$, $W_2(s)$ модельдеуімен бастапқы сұлбаны және (4.32) теңдеуі түрінде алынған эквивалентті буынның $W(s)$ беріліс функциясын және көрсеткіштердің берілген сандық мәндерін көрсететін нәтижелері болуы керек.

2. Нөлдік бастапқы шарттарда және $u=e^{-t}$ кіріс сигналы кезінде $y(t)$ шығыс сигналының сұлбасын және оның аналитикалық шешімін АБЖ жазатын екінші ретті дифференциалды теңдеуі болуы керек.

3. (4.35) формуласы бойынша алынған жүйенің беріліс функциясындағы АБЖ (4.34) күй кеңістігіне жазу. АБЖ басқарылуын және бақылануын анықтау.

4. SIMULINK-ке жататын осциллографтар мен генераторлар сигналдардың кірісіне кіретін ($u = e^{-t}$ тың сигналын шығару (генерировать) үшін кері байланыс интеграторын пайдаланады) бақылаушы жүйедегі модельдеудің сұлбалары. MATLAB-та модельденетін сандық және нышандық бағдарламалар.

2. СӨЖ орындалу реті

1. 4.26-суретке сәйкес SIMULINK пакеті арқылы модельдеу сұлбасын құрастыру. Шығу сигналының графикасын алу (ауыспалы функция, $u = e^{-t}$ реакциясын және өтпелі функциясын). Олардың есеппен сәйкестігін тексеру.

2. АБЖ сұлбасы модельдеуімен параллельді түрде $W(s)$ АБЖ беріліс функциясының үлгісін жинау және олардың уақыттық сипаттамаларын салыстыру.

3. Әртүрлі жүйенің сипаттамаларын қолдана отырып, MATLAB пакетінде модельдеуді орындау. MATLAB және SIMULINK-те модельдеудің нәтижелерін салыстыру.

4. (x_1, x_2) жазықтықтағы фазалық траекториялардың графикасын құрастыру, (Ол үшін SIMULINK-ке XY-graph блогы керек болады).

3. Тапсырма:

Тапсырма 1: $W_1(s) = \frac{k}{(T_2s+1)}$, $W_2(s) = \frac{1}{T_1s}$;

Тапсырма 2: $W_1(s) = \frac{k}{(T_1s-1)}$, $W_2(s) = \frac{1}{T_2s}$;

Тапсырма 3: $W_1(s) = \frac{k}{(T_1s-1)}$, $W_2(s) = ks$;

Тапсырма 4: $W_1(s) = \frac{k}{(T_1s-1)}$, $W_2(s) = \frac{k}{T_2s}$;

Тапсырма 5: $W_1(s) = \frac{k}{(T_2s+1)}$, $W_2(s) = \frac{k}{(T_1s-1)}$.

4. Тапсырмаларға арналған нұсқалар

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
k	5	12	10	2	4	7	9	11	21	15
T ₁	0,1	0,4	0,12	0,3	0,21	0,09	0,15	0,17	0,7	0,6
T ₂	2	4	7	3	5	9	3	8	9	5
№	11	2	13	14	15	16	17	18	19	20
k	4	10	5	7	6	11	20	15	3	12
T ₁	0,2	0,3	0,9	0,1	0,25	0,15	0,6	0,8	0,2	0,5
T ₂	1	3	2	6	4	8	2	3	1	5
№	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
k	6	8	10	12	14	12	10	7	5	3
T ₁	0,1	0,9	0,5	0,2	0,4	0,6	0,3	0,1	0,5	0,1
T ₂	2	3	4	5	6	2	3	4	5	5

5. Қосымша тапсырмалар:

1. Бірінші ретті сызықты дифференциалды теңдеулер жүйесіне жалпы құрылымдық схемадан өтудің ортақ процедурасын сипаттау.

2. $u = t$ кіріс сигналына АБЖ өз вариантының реакциясын табу және шығу сигналының графигін құрастыру.

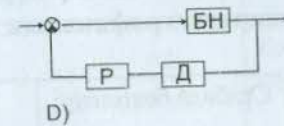
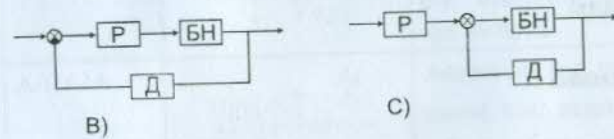
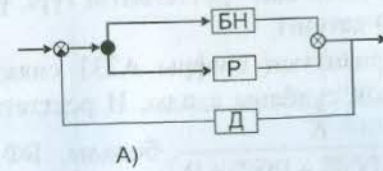
3. Егер, салыстыру құрылымы келесі формулалардың біріне сәйкес іске асырылса бақылайтын жүйенің беріліс функциясын табу:

$$e = u - \dot{y}; \quad e = u - ky; \quad \dot{e} + e = \dot{y} + u - y.$$

3-қосымша

Жүйенің орнықтылық анализі

а) Берілген құрылымдық сұлбалар



Бұл жерде: П-БФ реттегішін білдіреді, БН-БФ басқару нысанан білдіреді, Д-БФ датчигінің белгісі.

б) Нұсқаға байланысты реттеу заңдарының біреуін, келесі реттегіштердің түріне байланысты аламыз:

1. П-реттегіш;
2. И-реттегіш;
3. ПИ-реттегіш;
4. ПД-реттегіш;
5. ПИД-реттегіш.

Ескерту: Реттегіштердің параметрлерін өздігімен әдебиеттің белгілі шамаларын қабылдап таңдаймыз.

в) БО және Д үшін БФ динамикалық буындарының келесілері алынады:

1. $\frac{K}{sT_1+1}$;
2. $\frac{K}{(sT_1+1)(sT_2+1)}$;
3. $\frac{K}{(sT_1+1)(sT_2+1)(sT_3+1)}$;
4. $\frac{K}{s}$;
5. $\frac{K}{(sT_1+1)s}$;
6. $\frac{K}{s(sT_1+1)(sT_2+1)}$;
7. $\frac{K}{s^2}$;
8. $\frac{K}{s^3}$;
9. $\frac{K}{(sT_1+1)s^2}$.

Ескерту: БФ үшін өрнектердегі тұрақты шамаларды студенттер өздігімен алады.

Тапсырманың нұсқа бойынша таңдау бағыты: студенттің нұсқасы үш әріптен және үш саннан тұрады. Құрылымдық сұлбаның түрін әріп көрсетеді, екінші сан - реттегіштің түрі, үшінші сан – БФ БО, төртінші сан – БФ датчигі.

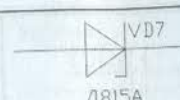
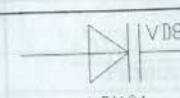


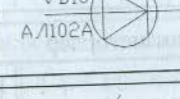
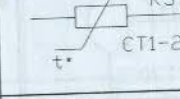
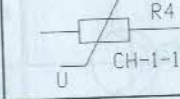


Мысалы, егер варианттың шифры А231 сияқты болса, онда студент А құрылымдық сұлбаны алады, И реттегіш, БФ басқару объектісі $W(s) = \frac{K}{(sT_1+1)(sT_2+1)(sT_3+1)}$ болады, БФ датчигі $W(s) = \frac{K}{sT_1+1}$ болады.

4-қосымша.

Электрлік сұлбалардағы кейбір құрылғылар мен элементтердің шартты графикалық белгіленулері.

1.Қ2-кесте

Аталуы	Зауыттық таңбалануы (мысал)	Сұлбада белгіленуі	Түсініктеме
Жартылай өткізгіш аспаптар			
Диод	Д226Б		Жазық кремнийлі
Түзеткіш көпір	КЦ403А		Төрт диодты
Туннельдік диод	АИ101А		Туннельдік эффект – электронның энергиясын арттыратын тосқауыл арқылы электрондардың қозғалуы

Стабилизатор	Д815А		Вольт – амперлік сипаттаманың кері тармағындағы аспаптың жұмысы
Варикап	КВ119А		Кері кернеудің өзгерісі кезіндегі аспаптың р-п өткелінің сыйымдылығының өзгерісі
Фотодиод	ФД1		Жарықтандырудың өзгерісі кезіндегі аспаптың р-п өткелінің кедергісінің өзгерісі
Жарықдиод	АЛ102А		Аспаптың р-п өткелі арқылы ток өткен кездегі сәуленің шағылысуы
Терморезистор	СТ1-21		Кобальтті – марганецті термосезімтал кедергі
Варистор	СН-1-1500		Сызықты емес кедергі, оның мөлшері келтірілген кернеуге тәуелді
Фотокедергі	ФСК-Г1		Өлшемі жарықтануға байланысты
Конденсаторлар			
Тұрақты сыйымдылық	К40П-2а 0,047 мкФ 10%, 400В		К-конденсатор, 40-фольгалы қоршауы бар қағаз, П – тұрақты ток үшін, 2а – сыйымдылықтың 10% ауытқуын құрылымды түрде орындау, 400 В – кернеу
Өтпелі			

Полярлы (электролиттік)	К50-20 20мкФ 100В		
Айнымалы сыйымдылық	КПЕ		
Өзгертпелі	КПК		Керамикалық өзгертпелі
Вариконд			Сыйымдылықтың өлшемі кернеуге тәуелді



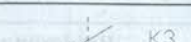

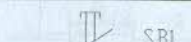



Транзисторлар

Биполярлы	ГТ308Б		р-р-р типті германилік аз қуатты
	ГТ311А		п-р-п типі
Фото-транзистор	ФТ-1		Жарықтанумен басқарылады
Өрістік	КП302А		р-п өткелі және п-типті каналы бар кремнилік
	КП304А		р-типті каналы бар
Тиристор	КУ201И		

С и м и - стор	КУ208А		Айнымалы токтың тізбектеріне арналған
Резисторлар			
Тұрақты	МЛТ-2		МЛТ типті, шашырау қуаты 2 Вт, 2,2 кОм, сұлбадағы номері 1, кедергілік ауытқуы 5%
Айнымалы	СП-3в 0,25 Вт 15 к, В		СП-3в типті, 0,25 Вт, 15 кОм, функционалдық сипаттамасы В

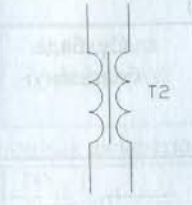
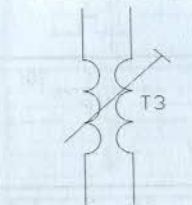
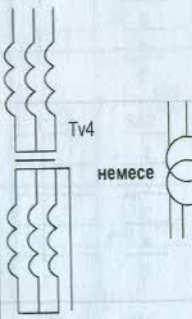
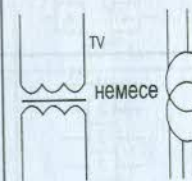
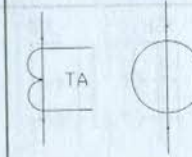
1.К2-кестенін жалғасы

Аталуы	Зауыттық таңбалауы (мысал)	Сұлбада белгіленуі	Түсініктеме
Генератор			Айнымалы токты
Қысқа тұйықталған роторы бар асинхронды электрлік қозғалтқыштар	4АХ80А4		Үшфазалық: 4А – серия, Х – алюминдік тұғыр және шойындық қалқандар, 80 – айналу осінің биіктігі, мм; А – өзекшенің ұзындығы, мм; 4 – полюстар саны
	АД180-4/71		Бірфазалық: АД – асинхронды қозғалтқыш, 180 Вт. 4 – полюстер, 71 – айналу осінің биіктігі
Тұрақты ток-т қозғалтқышы	4ПО80 1,1 кВт 1000 айн/мин		4П – серия, О – үрлетін, 80 – айналу осінің биіктігі, мм

Басқару тізбектеріндегі байланыстар			
Іске қосқыш немесе реле		K1	Тұйықталатын
		K2	Тұйықтамайтын
		K3	Басқа байланыспен механикалық байланысқан
Қайта қосқыштың байланыстары		K4	
Өзіндік қайтаруы бар кнопкалы байланыстар		SB1	Тұйықтаушы
		SB2	Ажыратушы
Өзіндік қайтаруы жоқ кнопкалы байланыстар		SB3	Кнопкаларды керумен қайтару
		SB4	Қайта басумен қайтару

Индуктивтіліктің катушкалары			
Өзекшесі жоқ		L1	
Өзекшелі немесе дроссель		L2	
Өзгермелі		L3	

Трансформаторлар			
Өзекшесі жоқ		T1	




Өзекшесі бар			
Тірегі бар			
Күштік үшфазалы	TM-100		100 кВА, жұлдыз орамдарының байланысы – нөлі бар жұлдыз
Өлшеуіш			
Кернеу өлшеуіш трансформаторы	ЗОМ-1/15		Бірфазалы майлы, бірінші орамның шығысы жерге тұйықталған
Ток трансформаторы			

1.Қ2-кестенің жалғасы

Аталуы	Зауыттық таңбалуы (мысал)	Сұлбада белгіленуі	Түсініктеме
Жылулық реленің байланысы			Кнопканы басумен кері қайтару
Түпкі (шеткі) ажыратқыш	ВПК-2112		Штокка әсер еткен кезде байланыстар механизм тетігімен тұйықталады
Төрт жағдайға арналған ауыстырып қосқыш			Нүктелері бар тік сызықтар әрбір жағдайда сол жақтағы горизонталь сызықтардың байланысын білдіреді
Тағы да			Әрбір жағдайдағы нүктелер горизонталь сызықтардың үзілістеріндегі байланыстарды білдіреді
Ажырайтын қосқыш			Б а й л а н ы с бөлшектелінген
Тағы да			Б а й л а н ы с бөлшектелінген
Үстеме (вставка) ауыстырып қосқышы			XP2 тетіктің берілген жағдайында 1 және 2, 3 және 4 сызықтары байланысады

1.Қ2-кестенің жалғасы

Аталуы	Зауыттық таңбалуы (мысал)	Сұлбада белгіленуі	Түсініктеме
Үшфазалық ажыратқыштар			
Автоматты емес	РПБ		Автоматты емес (бөлгіш) РПБ – рычақты жетегі бар рубильник
Автоматты	АЕ2013		QF – автоматты; қорғаныс: I> – максималды токты; T ⁰ > жылулық
Іске қосқыш	ПМЛ1100		
Іске қосқыштың катушқасы немесе реле			KM – іске қосқыштың катушқасы
Жылулық реленің элементі			Реле контактілеріне әсер ететін биметал пластинаны қыздыра отырып, жоғары ток кезінде қызады
Электромагниттік муфта			Қосқан кезде айналуды бір біліктен екінші білікке береді
Зарядтағыш			
Сақтандырғыш			

Жарықтандырғыш шам		EL
Сигналдық шам		HL
Қоңырау		HA

АБЖ электрлік сұлбаларында қолданылатын ең кең таралған элементтер мен қондырғылардың әріптік кодтары
2.К2-кесте

Кодтың алғашқы әріпі	Элементтер мен қондырғылардың топтары	Код	Элементтер мен қондырғылардың түрлері
A	Қондырғы	AK	Реле блогы
B	Электрлік емес шамаларды электрлікке және керісінше түрлендіретін түрлендіргіштер	BK	Жылулық датчигі
		BL	Фотозлемент
		BP	Қысым датчигі
		BQ	Пьезозлемент
		BR	Тахогенератор
BV	Жылдамдық датчигі		
C	Конденсаторлар		
D	Интегралды сұлбалар	DA	Интегралды аналогты сұлба
		DD	Интегралды сандық сұлба
E	Әртүрлі элементтер	EK	Жылытқыш элемент
		EL	Жарықтандырғыш шам
F	Сақтандырғыштар, зарядтағыштар, қорғаныс құрылғысы	FA	Тез іске қосылатын тоқ бойынша қорғаныстың дискретті элементтері
		FP	Инерциялық әсер
		FV	Зарядтағыш, кернеу бойынша қорғаныстың дискретті элементтері
		FU	Балқығыш сақтандырғыш

G	Генераторлар, қорек көздері	GP	Акумуляторлық батареялар
H	Сигналдық және индикациялық құрылғылар	HA	Дыбыстық сигнал берудің аспаптары
		HL	Жарықтық сигнал берудің аспаптары
		HG	Символдық индикаторлар
K	Реле, контакторлар, іске қосқыштар	KA	Токтық реле
		KH	Сигналдық реле
		KK	Электрлі жылулық реле
		KM	Контакторлар, магниттік іске қосқыштар
		KT	Уақыт релесі
		KV	Кернеу релесі
		KCC	Қосу командасының релесі
		KCT	Өшіру командасының релесі
KL	Аралық реле		
L	Индуктивтілі катушкалар	LL	Газ санатты шамдардың реттегіш құрылғыларының дроссельі
P	Өлшегіш аспаптар	PA	Амперметр
		PC	Импульстердің санағышы
		PF	Жиілік өлшегіш
		PK	Реактивті санағыш
		PR	Омметр
		PV	Вольтметр
		PI	Реактивті энергияның санағышы
PS	Тіркеуші құрал		
PT	Уақытты белгілейтін сағаттар және басқа да аспаптар		
		PW	Ваттметр
Q	Күштік тізбектердегі ажыратқыштар мен бөлгіштер	QF	Автоматты ажыратқыштар
		QS	Бөлгіштер, соның ішінде рубильник

R	Резистор	RK	Терморезисторлар
		RP	Потенциометрлер
		RU	Варисторлар
S	Өлшеу, сигнал беру және басқару тізбектеріндегі коммуникациялық құрылығдар	SA	Ажыратқыштар мен қайта қосқыштар
		SF	Автоматты ажыратқыштар
		SL	Денгейге байланысты іске қосылатын автоматты ажыратқыштар
		SP	Қысымға байланысты іске қосылатын автоматты ажыратқыштар
		SQ	Жағдайға байланысты іске қосылатын автоматты ажыратқыштар
		SR	Айналу жиілігіне байланысты іске қосылатын автоматты ажыратқыштар
T	Трансформаторлар, автотрансформаторлар	TA	Ток трансформаторлары
		TV	Кернеу трансформаторлары
		TS	Электромагнитті стабилизатор
V	Жартылайөткізгіш және электровакуумды аспаптар	VD	Диодтар
		VT	Транзисторлар
		VS	Тиристорлар
		VL	Электровакуумды аспаптар
X	Контактлік байланыстар	XA	Жылжымалы контактілер
		XP	Штырлар
		XS	Ұяшықтар
		XT	Бөлшектенетін байланыстар
		XN	Бөлшектенбейтін байланыстар

Y	Электромагнитті жетегі бар механикалық құрылығдар	YA	Электромагнит
		YB	Электромагнитті жетегі бар тежегіш
		YC	Электромагнитті жетегі бар муфта

Әдебиеттер тізімі

Негізгі әдебиет:

1. В. А. Бесекерский «Теория автоматического управления» / В. А. Бесекерский, Е. П. Попов. М.: «Профессия», 2007.
2. К. П. Власов «Теория автоматического управления. Учебное пособие.» Х.: Изд-во Гуманитарный центр, 2007.
3. К. С. Шоланов «Основы автоматики: учебное пособие для вузов» – Алматы: КазНТУ, 2011.
4. К. Дорф Ричард, К. Бишоп Роберт «Современные системы управления / Пер. с англ.-М.: Лаборатория базовых знаний. 2004.
5. В. И. Загинайлов, Л. Н. Шеповалова «Основы автоматики.» М.: Колос, 2001.
6. В. Ю. Шишмарев «Типовые элементы систем автоматического управления.» – М.: Изд. Центр «Академия», 2004.
7. В. С. Подлипенский, Ю. А. Сабинин, Л. Ю. Юрчук «Элементы и устройства автоматики» / Под ред. Ю. А. Сабинина. СПб.: Политехника, 1995.
8. Кишнёв В. В., Иванов В. А., Г. М. Тохтабаев, А. А. Афанасьев «Технические средства автоматики.» М., «Металлургия», 1981.
9. В. А. Бесекерский «Сборник задач по теории автоматического регулирования и управления.» М.: Наука, 1978.
10. А. Бекбаев, Д. С. Сулеев, Б. Хисаров «Автоматты реттеу теориясы.» Оқулық. Алматы, 2005ж.
11. А. Бекбаев, Д. С. Сулеев, Б. Хисаров «Сызықты және бейсызықты жүйелердің автоматты реттеу теориясы.» Оқулық. 2005ж.

Қосымша әдебиет:

12. А. В. Шавров, А. П. Коломнец «Автоматика.» М.: Колос, 1999.
13. Б. В. Шандров, А. Д. Чудаков Технические средства автоматики. М. Изд.ц. Академия, 2010.
14. А. Ф. Зимодро, Г. Л. Скибенский «Основы автоматики.» Л.: Энергоатомиздат, 1984.
15. Теория автоматического управления: Учеб. для вузов по спец. «Автоматика и телемеханика». В 2-х ч. Ч.1. Теория линейных систем автоматического управления / Под. Ред. А. А. Воронова. М.: Высшая школа, 1986.

16. Основы теории электрических аппаратов: Учеб. для вузов по спец. «Электрические аппараты»/ И. С. Таев, Б. К. Буль, А. Г. Годжелло и др.; Под ред. И. С. Таева. М.: Высшая школа, 1987.

17. В. П. Миловзоров «Электромагнитные устройства автоматики: Учебник для вузов.» М.: Высшая школа, 1983.

18. О. Т. Шанаев «Система моделирования Electronics Workbench. (Electronics Workbench моделдеу жүйесі): Учебное пособие (на казахском и русском языках).» Алматы, 2003, 250 с.

МАЗМУНЫ

Алғы сөз.....	3
Кіріспе.....	5
I бөлім. Сызықты автоматты басқа рутеориясының негіздері.....	8
1-тарау. Автоматиканың негізгі түсініктері және автоматты басқару теориясына кіріспе.....	8
1.1. Автоматиканың негізгі түсініктемелері.....	8
1.2. Басқару мен реттеудің негізгі принциптері.....	13
1.3. Басқару жүйесін жіктеу.....	18
2-тарау. Автоматты басқарудың сызықты теориясының математикалық аппараты.....	22
2.1. АБЖ математикалық моделі.....	22
2.2. Бейсызықты динамикалық моделдері.....	28
2.3. АБЖ нысандарының теңдеулерін сызықтандыру.....	35
2.4. Лаплас түрлендіруі, беріліс функциясы.....	37
2.5. Күй айнымалылары арқылы жүйені сипаттау.....	42
2.6. Басқарылыну және бақылану.....	45
3-тарау. АБЖ жұмыс жасауын бағалау.....	47
3.1. Статикалық қасиеттерді бағалау.....	47
3.2. Жүйенің динамикалық қасиетін бағалау.....	49
3.3. АБЖ сапалық сипаттамалары.....	51
3.3.1. Уақыттық сипаттамалар.....	51
3.3.2. Жиілік сипаттамалары.....	54
4-тарау. Типтік динамикалық буындар және АБЖ құрылымдық сұлбалар.....	61
4.1. Күшейткіш буыны.....	61
4.2. Бірінші ретті аперидотты буын.....	63
4.3. Тербелмелі буын.....	68
4.4. Интегралдаушы буын.....	75
4.5. Дифференциалдаушы буын.....	78
4.6. Кешігуші буын.....	81

4.7. АБЖ құрылымдық сұлбалары.....	82
4.7.1. Буындарды тізбектей қосу.....	84
4.7.2. Буындарды параллель қосу.....	84
4.7.3. Буындардың қарсы параллельді қосылысы.....	85
5-тарау. АБЖ орнықтылығы.....	96
5.1. Орнықтылықты математикалық бағалау.....	96
5.2. Гурвиц орнықтылығының алгебралық критерийі.....	99
5.3. Орнықтылықтың жиілік критерийлері.....	100
5.3.1. Михайловтың орнықтылық критерийі.....	100
5.3.2. Найквист орнықтылығының өлшемі.....	102
5.3.3. Боде (ЛАЖС) диаграммасын тұрғызу жолымен орнықтылықты анықтау.....	104
6-тарау. АБЖ синтездеу әдістері.....	107
6.1. Сызықты үздіксіз АБЖ реттеу заңдары.....	107
6.2. Бірнеше ТДБ жиынымен күрделі басқару, объектілерді аппроксимациялау.....	113
6.3. Сызықты АБЖ корректирлеу.....	115
II бөлім. Автоматиканың қондырғылары және элементтері.....	118
7-тарау. Автоматика элементтері және олардың сипаттамалары.....	118
7.1. Автоматика элементтерінің жіктелуі.....	118
7.2. Беруші құрылғылар.....	121
7.3. Салыстыру құрылғысы.....	122
7.4. Күшейткіштер.....	123
7.5. Автоматика жүйесінің орындаушы жетектері.....	127
7.5.1. Негізгі түсініктер мен ережелер.....	127
7.5.2. Гидро және пневматикалық ОЖ.....	128
7.5.3. Электромеханикалық орындаушы жетек (ЭМОЖ).....	131
7.6. Датчиктер.....	133
8-тарау. Электромагнитті құрылғылар.....	138
8.1 Құрылғылар және оларды қолдану.....	138
8.2. Электромагниттік құрылғыны есептеу реті.....	142
8.3. ЭҚ сипаттамалары.....	144

9-тарау. АБЖ коммуникациялары.....	147
9.1. Мәліметтің шарасы.....	147
9.2. Телемеханикадағы коммуникация үрдісінің үлгісі.....	148
9.3. Коммуникациялық жүйенің есептік сипаттамалары.....	149
9.4. Ашық жүйелердің әрекеттесу (АЖӘ) үлгісі.....	150
9.5. Өндірісті автоматтандырудың хаттамасы.....	152
9.6. АБЖ көрсеткіштерінің жиынтығы.....	153

Автоматтық жүйелері

1.1 Автоматика және құрамындағы құрылымдар
1.2 Автоматика негіздері
1.3 Автоматика негіздері
1.4 Автоматика негіздері
1.5 Автоматика негіздері
1.6 Автоматика негіздері

Қ. С. Шоланов

Автоматика негіздері

ОҚУЛЫҚ 13

Басуға 19.04.2013 ж. қол қойылды. Формат 60x90/16.
Қағазы офсеттік. Қаріп түрі «Times New Roman». Көлемі 11,75 б.т.
Таралымы 1300 дана. Тапсырыс № 43
ЖШС «MV Print»