Коммерциялық емес ақционерлік қоғам

ҒҰМАРБЕК ДАУКЕЕВ АТЫНДАҒЫ АЛМАТЫ ЭНЕРГЕТИКА ЖӘНЕ БАЙЛАНЫС УНИВЕРСИТЕТІ

Автоматтандыру және басқару кафедрасы

ЖЭС ОБЪЕКТІЛЕРІН АВТОМАТТАНДЫРУ

5В070200 – Автоматтандыру және басқару мамандығының студенттері үшін зертханалық жұмыстарды орындауға арналған әдістемелік нұсқаулар

Алматы 2021

ҚҰРАСТЫРУШЫ: Жусупбеков С.С. ЖЭС объектілерін автоматтандыру. 5В070200 – Автоматтандыру және басқару мамандығының студенттері үшін зертханалық жұмыстарды орындауға арналған әдістемелік нұсқаулар. – Алматы: АЭжБУ, 2021. – 90 с.

Әдістемелік нұсқаулар 8 зертханалық жұмысқа сипаттамадан тұрады және осы жұмыстарды орындауды Matlab, Simulink және MS Excel программалық жабдықтауын пайдалануды жобалайды.

Әдістемелік нұсқаулар «ЖЭС объектілерін автоматтандыру» пәні бойынша зертханалық жұмыстарды орындауда қолданылады.

Бейне 74 , әдебиет.- 13 атау.

Рецензент: Елеукулов Е.О.

«Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті» коммерциялық емес акционерлік қоғамының 2020ж. жоспары бойынша басылады.

© «Ғұмарбек Дәукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті» КЕАҚ, 2021 ж.

Кіріспе

Әдістемелік нұсқауда 8 лабораториялық жұмыс берілген. Олардың негізгі мақсаты автоматты басқару жүйесінің бөлек буындарының, басқару объектерінің және тұтас автоматты басқару жүйелерінің сипаттамаларын анықтау, өнеркәсіптік реттегіштердің параметрлерін және басқару объектердің өтпелі үрдістерінің сапа көрсеткіштерін зерттеу.

Өндірістерде инновациялық технологиялардың қарқынды дамуына байланысты келесі жетістіктерге жеткізетін жаңа шешімдер керек:

1) Шығыс өнімдерінің көлемін өсіретін;
2) Қиын техникалық тапсырмаларды аз уақытта шешетін ;
3) Шикізаттың және өнімнің шығындарын азайтатын;
4) Адам қолымен жасай алмайтын жұмыстарды атқаратын.

Қойылған талаптарды шешу инновациялық немесе автоматтандырылған жүйелер арқылы, немесе басқару және бақылау фукцияларын адамдардан техника саласына беру арқылы жүзеге асырылады.

Электр станцияларының жылуэнергетикалық қондырғыларының реттеу мен қорғаудың автоматты жүйелерінің және жылу электр станцияларын автоматтандырылған басқару жүйелерінің жұмысы басқару және бақылау функцияларын автоматты басқару техникасын қолдану арқылы реттеуіштердің параметрлерін синтездеу арқылы жүзеге асыру. Осыған байланысты «ЖЭС объектілерін автоматтандыру» пәні аясында реттеу объектілерін анализдеу мен басқару заңдарын синтездеудің әртүрлі әдістері бойынша білім мен дағдыларды алу қажеттілігі туындайды.

«ЖЭС объектілерін автоматтандыру» пәні «Автоматтандыру және басқару» мамандығының 4 курс студенттеріне базалық пәндер құрамында 5 кредит көлемінде оқытылады. Пәннің жұмыс бағдарламасы теоретикалық және практикалық материалдың көп көлемінен тұрады. Ұсынылған зертханалық жұмыстарды орындауға арналған әдістемелік нұсқаулар 7 жұмыстан тұрады. Зертханалық жұмыстардың тақырыбы объектінің уақыттық және жиіліктік сипаттамаларын, объектілерді идентификациялаудың жаңа әдістерін және объектілерді оңтайлы басқару үшін П, ПИ, ПИД реттеуіштерді синтездеуге арналған. Зертханалық жұмыстар MSExcel және Matlab, Simulink программалық жабдықтарының көмегімен орындалады.

Лабораториялық жұмыстарды орындаған студент келесі сұрақтарды игеруі қажет:

- ЖЭС технологиялық үрдістерінің автоматтандыруының жалпы мәселерін тенденциясын;
- ЖЭС типтік объектерінің негізгі сұлбаларын;
- автоматты басқару жүйелерінің құрылымын және функцияларын;
- технологиялық үрдістерді басқару объектісі ретінде талдау және автоматтандыру жүйесінің функцияналадық сызбасын құру;
- белгілі объектердің автоматты басқару есептерін шешу.

Зертханалық жұмыстар бойынша есептемелер Алматы энергетика және байланыс университетінің КЕАҚ СТ 56023-1910-04-2014 «Оқу әдістемелік және оқу жұмыстары. Оқу-әдістемелік және оқу жұмыстарының құрылуына, жазылуына, рәсімделуіне және мазмұнына қойылатын жалпы талаптар» ұйым стандартының талаптарына сай орындалған.

Зертханалық жұмыс №1

Басқару жүйесінің типтік буындардың сипаттамаларымен танысу және зерттеу

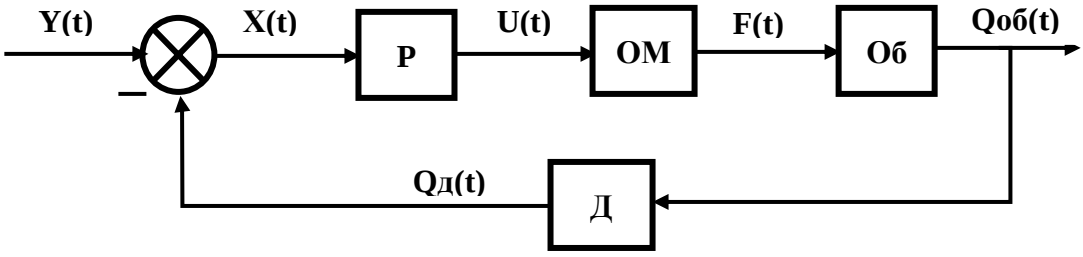
1.1 Жұмыстың мақсаты

- АБЖ негізгі, функционалды элементтерімен танысу;
- АБЖ құрамын функционалды элементтерге бөлуді үйрену;
- АБЖ функционалды сызбасын құру әдістерін үйрену;
- АБЖ беріліс функциясының параметрлерінің өзгеруінің типтік буындардың уақыттық және жиілік сипаттамаларына әсерін зерттеу.

1.2 Жүйенің құрылымдық сызбасы және беріліс функциясы

Замануй автоматты басқару жүйелері (АБЖ) бір бірімен әрекеттесетін әртүрлі физикалық шамаларды (механикалық, электрлік, гидравликалық, пнематикалық) өлшейтін күрделі техникалық құрылғылар мен элементтерден құралған кешен. Техникалық құрылғылар мен элементтердің конструкциясы мен техникалық сипаттамалары әртүрлі. АБЖ құрамына кіретін элементтердің түрлерінің көптігіне қарамай оларды функциясына, басқару жүйесіндегі әрекеттеріне және АБЖ қолдануына байланысты бірнеше белгілі түрлерге бөлінеді.

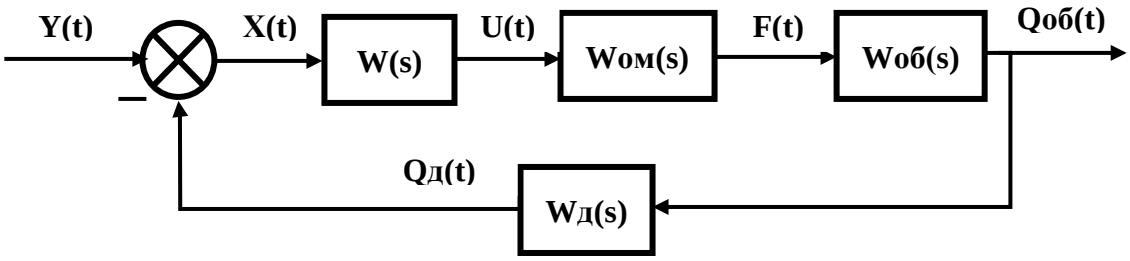
Төмендегі суреттегі автоматты басқару жүйесін қарастырайық, мұнда АБЖ құрамында келесі функционалды элементтер бар (Р – реттегіш, ОМ – орындаушы механизм, Об – басқару объекті, Д – датчик) төмендегі функционалды сызба түрінде қарастыруға болады (1.1 сурет). Сонымен қатар функционалды сызбада сигналдарды салыстыру элементінің кескіні көрсетілген (салыстыру элементі).



1.1 сурет - Жүйенің функционалды сызбасы

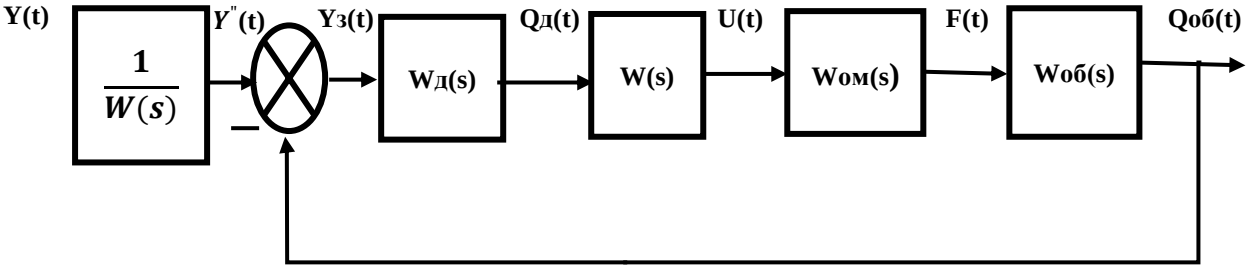
Мұнда $Y(t)$– салыстыру элементіне берілетін тапсырма (шеңбермен көрсетілген), $X(t)$ – реттегіштің (Р) кірісіндегі сигнал, $U(t)$- орындаушы механизмге (ОМ) берілетін сигнал, $F(t)$ – басқару объектке (Об) берілетін сигнал, Qоб(t)– датчиктің (Д) кірісіндегі реттелінетін объектің шығысындағы сигнал, Qд(t)- датчиктен салыстыру элементіне берілетін сигнал.

Берілген функционалды блок-сызба және элементтердің беріліс функциясын қолдана отырып 1.1-суретте көрсетілген зерттелетін жүйенің жаңа құрылымдық сызбасын элементтердің беріліс функциясы арқылы сипаттаймыз. Берілген құрылымдық сызба арқылы (1.2 сурет) ашық және тұйық жүйенің беріліс функцияларын анықтаймыз.



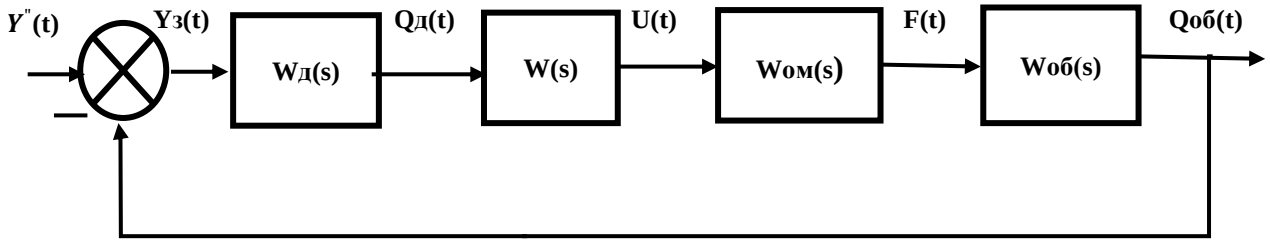
1.2 сурет - Жүйенің құрылымдық сызбасы

Тұйық жүйенің беріліс функциясын алу үшін жүйенің құрылымдық сұлбасын бірлік кері байланысы бар тұйық жүйеге айналдырамыз. Мұны істеу үшін біз салыстыру элементін датчиктің шығысынан кірісіне ауыстырамыз, тапсыру әрекеті мен салыстыру элементі арасына беріліс функциясы бастапқы буынға кері байланыста болатын жалған элемент қосу керек (1.3 сурет).



1.3 сурет - Жүйенің түрлендірілген құрылымдық сызбасы

Біз жалған буынды салыстырмалы элементтің алдына қойғандықтан, бұл жүйенің динамикалық қасиеттеріне әсер етпейді, сондықтан болашақта жүйені сипаттағанда, жалған буынды ескермеуге болады (1.4 сурет).



1.4 сурет - Жасанды буынсыз жүйенің түрлендірілген құрылымдық сызбасы

Алынған құрылымдық сызбаға сәйкес (1.4 сурет), сондай-ақ байланыстырушы буындардың беріліс функциясын табу ережелеріне сәйкес ашық контурлы жүйенің беріліс функциясы [1] келесі түрде сипатталады:

$$W_p(s) = W_{\text{д}}(s) \cdot W(s) \cdot W_{\text{ом}}(s) \cdot W_{\text{об}}(s) \tag{1.1}$$

немесе:

$$W_{\text{р}}(s) = \frac{k_{\partial} \cdot k_{\text{им}} \cdot k_{\text{об}}}{(T_{\text{об}} s + 1) \cdot s} \cdot W(s), \tag{1.2}$$

мұндағы: k_{∂} – датчиктің беріліс коэффициенті;
$k_{\text{им}}$ - атқарушы механизмнің беріліс коэффициенті;
$k_{\text{об}}$ – басқару объектің беріліс коэффициенті;
$W(s)$– реттегіштің беріліс функциясы;
$T_{\text{об}}$ – датчиктің тұрақты уақыты.

1.3 Автоматты басқару жүйесінің негізгі типтік буындары

Автоматты басқару жүйелерінде қолданылатын функционалды элементтер әртүрлі құрылым мен жұмыс істеу принциптеріне ие бола алады. Алайда, әртүрлі функционалды элементтердің кіріс және шығыс мәндерін байланыстыратын математикалық өрнектердің біртектігі оларды белгілі шектеулі типтік буындарға бөлуге мүмкіндік береді. Әрбір типтік буынның кіріс және шығыс мәндері арасындағы қатынас белгілі бір математикалық өрнекке сәйкес келеді. Егер бұл қатынас қарапайым болса, онда бұндай буындар қарапайым буын деп аталады.

Бірінші және екінші ретті қарапайым дифференциалдық теңдеулермен сипатталатын алгоритмдік буындар типтік динамикалық буындар деп аталады.

Динамикалық буын деп белгілі бір дифференциалдық теңдеумен сипатталатын кез келген табиғатта кездесетін немесе қолдан жасалынған физикалық құрылғыларды айтамыз. Бір тектес теңдеулермен әртүрлі құрылғылар (механикалық, гидравликалық, электрлік және т.б.), сонымен қатар басқа да табиғатта кездесетін әртүрлі физикалық процестер

сипатталынуы мүмкін (техникалық, экономикалық, биологиялық, саяси және басқалар).

Тиіптік динамикалық буындар басқару жүйелерінің алгоритмдік құрылымдарының негізгі компоненттері болып табылады, сондықтан олардың сипаттамаларын білу мұндай жүйелерді талдауға айтарлықтай жеңілдік береді.

Буындардың уақыт бойынша өзгерісін сипаттайтын дифференциалдық теңдеудің немесе беріліс функцияларының түрлеріне сәйкес буындар әр түрге жіктеледі.

Дифференциалдық теңдеудің түрлеріне қарап типтік буындарды жіктеу ыңғайлы.

$$a_0 \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + a_1 \frac{dy(t)}{dt} + a_2 y(t) = b_0 \frac{dx(t)}{dt} + b_1 x(t). \qquad (1.3)$$

Бұрын айтылғандай, әрбір динамикалық буын бағыттаушы буын болып табылады. Бұл дегеніміз, ондағы кейбір физикалық шамалардың түрленуі бір бағытта жүреді (мысалы, кірістен шығысқа). Динамикалық буынның кірісіне енетін түрлендірілген физикалық шама кіріс ($x_{вх}$), ал буынның шығысында алынған түрлендірілген шама шығыс шама деп аталады.

Біркелкі параметрлері бар кез келген сызықты АБЖ-ны осындай қарапайым буындарға бөлуге болады. Бұндай қарапайым буындар, әдетте, әрқайсысының реті екіншіден жоғары емес қарапайым дифференциалдық теңдеулермен сипатталады.

Автоматты реттеу жүйелерін осылайша қарастырғанда сызықтық элементтердің кездесетін барлық түрлерін бірнеше тиіптік буындармен немесе олардың комбинацияларымен сипаттауға болады.

Теңдеудің (1) коэффициенттерінің мәндері және ең көп таралған буындардың атаулары 1-ші кестеде келтірілген.

Бірқатар жалпы заңдылықтарды атап өтейік. Коэффициенттері $a2 \neq 0$ және $b1 \neq 0$ буындар статизим бар буындарға жатады немесе статикалық режимде кіріс және шығыс айнымалылар арасындағы бірмәнді байланыс бар буындар қатарына кіреді. Сондықтан олардың аттарына статикалық немесе позициялық деген сөз қосылады.

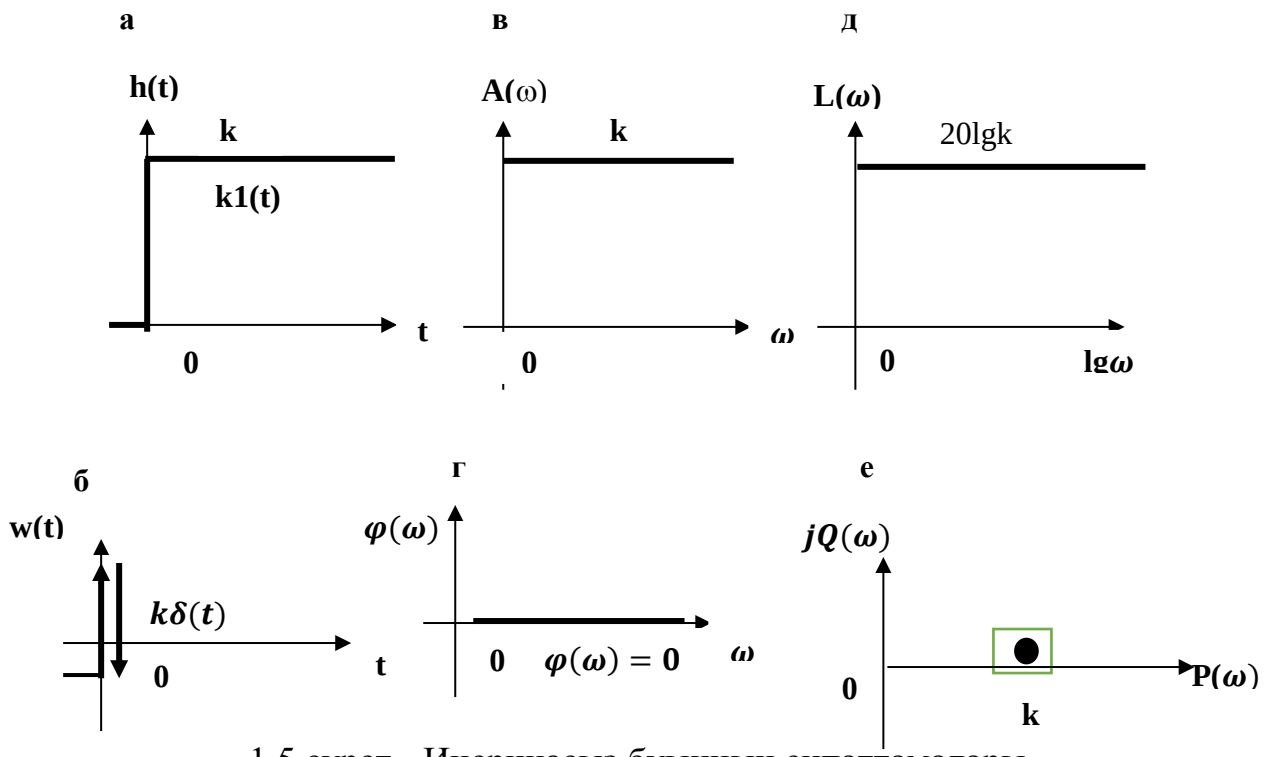
Коэффициенттері $a2 \neq 0$, $a1 \neq 0$ және $a0 \neq 0$ буындар инерциалық (тежелу) қасиеті бар буындар қатарына жатады. Оларға кестедегі № 2, 3, 4, 6, 8, 11, 12 буындарды жатқызуға болады.

Кестедегі № 1, 5 және 7 буындар үшін екі коэффициент нөлге тең емес. Олар қарапайым буындар деп аталады. Басқа буындарды қарапайым буындардың белгілі бір байланысы арқылы құруға болады.

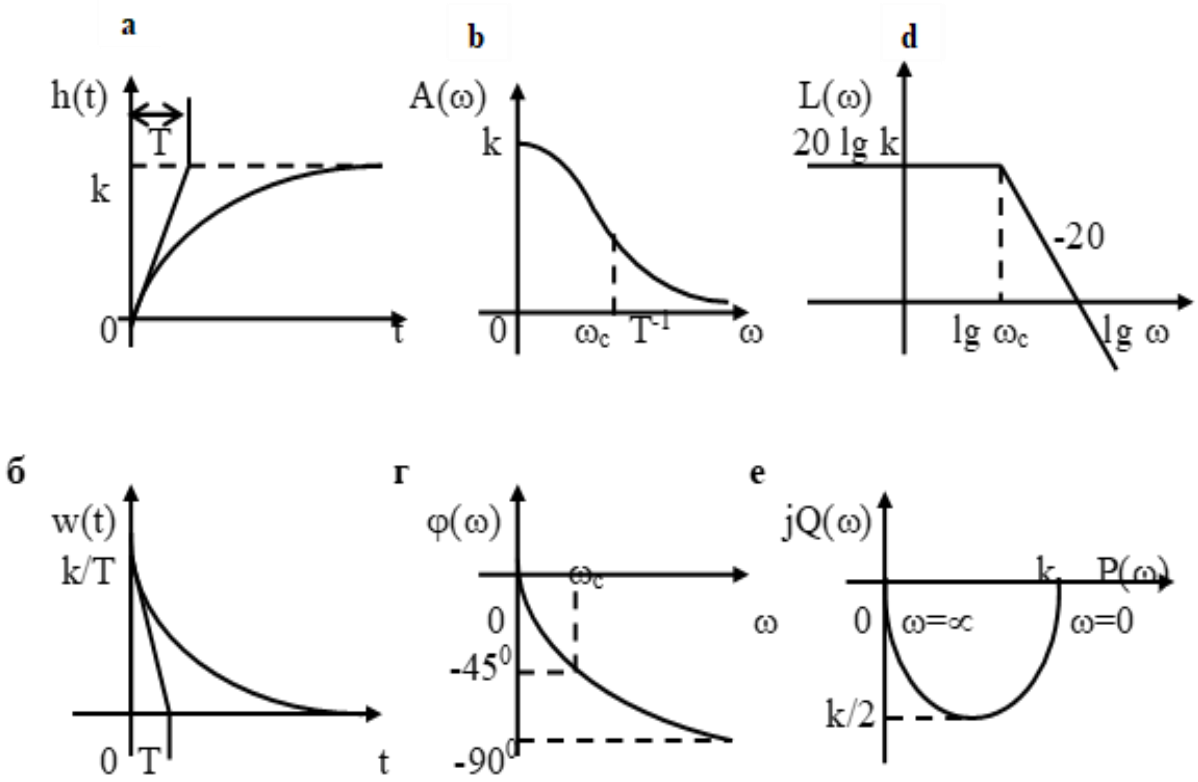
Кестеде көрсетілген 1-8 негізгі типтік динамикалық буындардың өтпелі функциясы, импульстік өтпелі функциясы, амплитудалық жиілік сипаттамасы, фазалық жиілік сипаттамасы, логарифмдік амплитудалық жиілік сипаттамасы, амплитудалық-фазалық сипаттамалары 1.5-1.10-суретте көрсетілген.

1.1 кесте

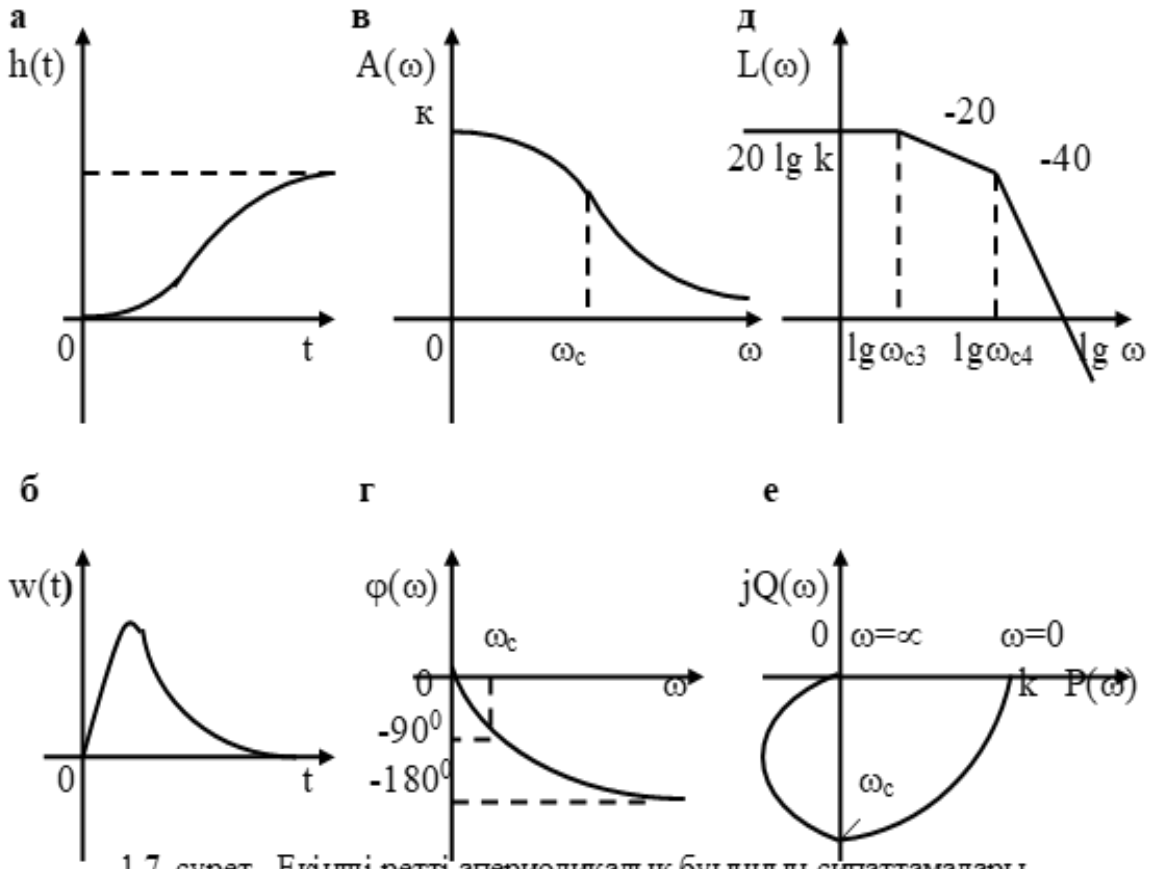
Буын атауы	a_0	a_1	a_2	b_0	b_1	Ескертпе
Инерциасыз (пропорционалды)	0	0	1	0	k	
Инерциялық 1-ші ретті (апериодикалық)	0	T	1	0	k	
Инерциялық 2-ші ретті (апериодикалық)	T_2^2	1	1	0	k	$T_1 \geq 2T_2$
Инерциялық 2-ші ретті (тербелмелі)	T_2^2	1	1	0	k	$T_1 < 2T_2$
Идеалды интегралдаушы	0	1	0	0	k	
Нақты интегралдаушы	T	1	0	0	k	
Идеалды дифференциалдаушы	0	0	1	k	0	
Нақты д дифференциалдаушы	0	T	1	k	0	
Изодромдық (пропорцио-нально- интегриралдаушы)	0	1	0	k_1	k	
Мәжбүрлеу (пропорционально - дифференциалдаушы)	0	0	1	k_1	k	
Интегро-дифференциалдаушы интегралдаушы қасиеттерді басымдау	0	T	1	k_1	k	$k_1/k < T$
Интегро-дифференциалдаушы дифференциалдау қасиеттері басымдау	0	T	1	k_1	k	$k_1/k > T$



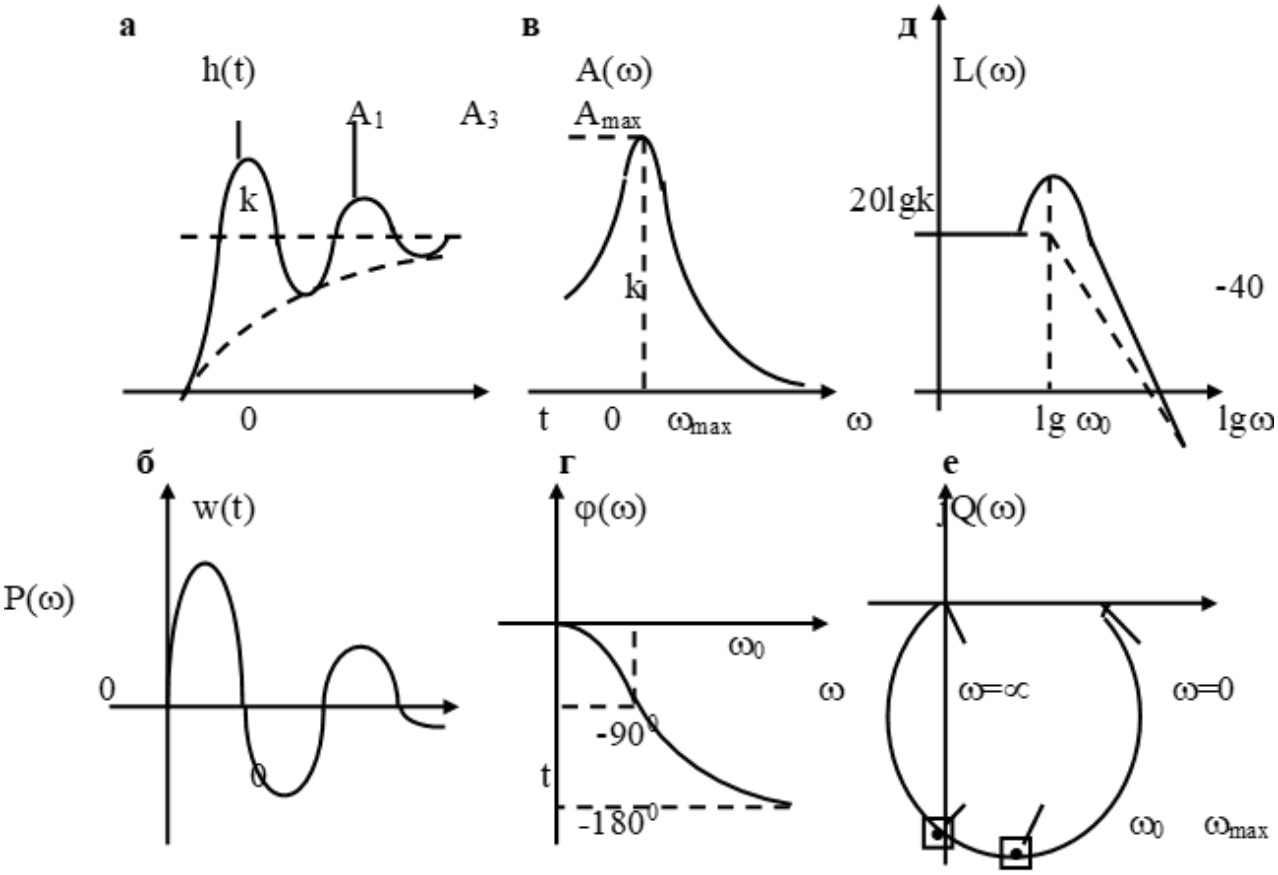
1.5 сурет - Инерциасыз буынның сипаттамалары



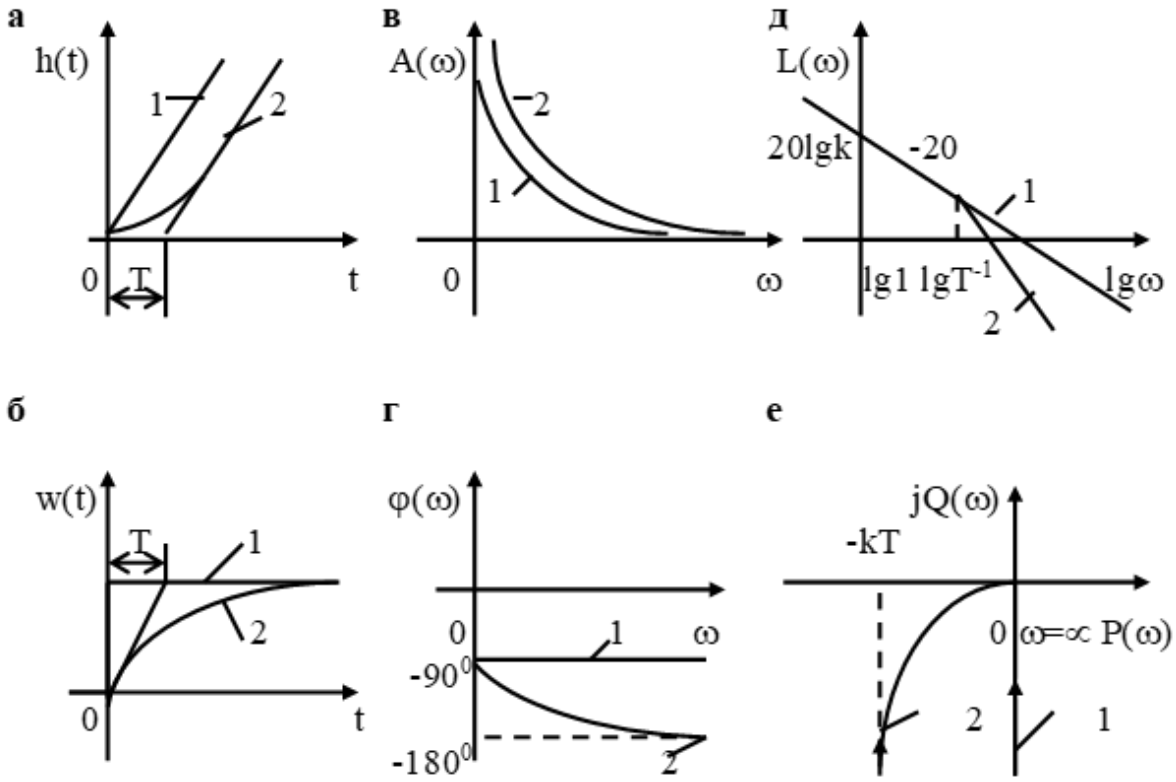
1.6 сурет - Бірінші ретті инерциалық буынның сипаттамалары



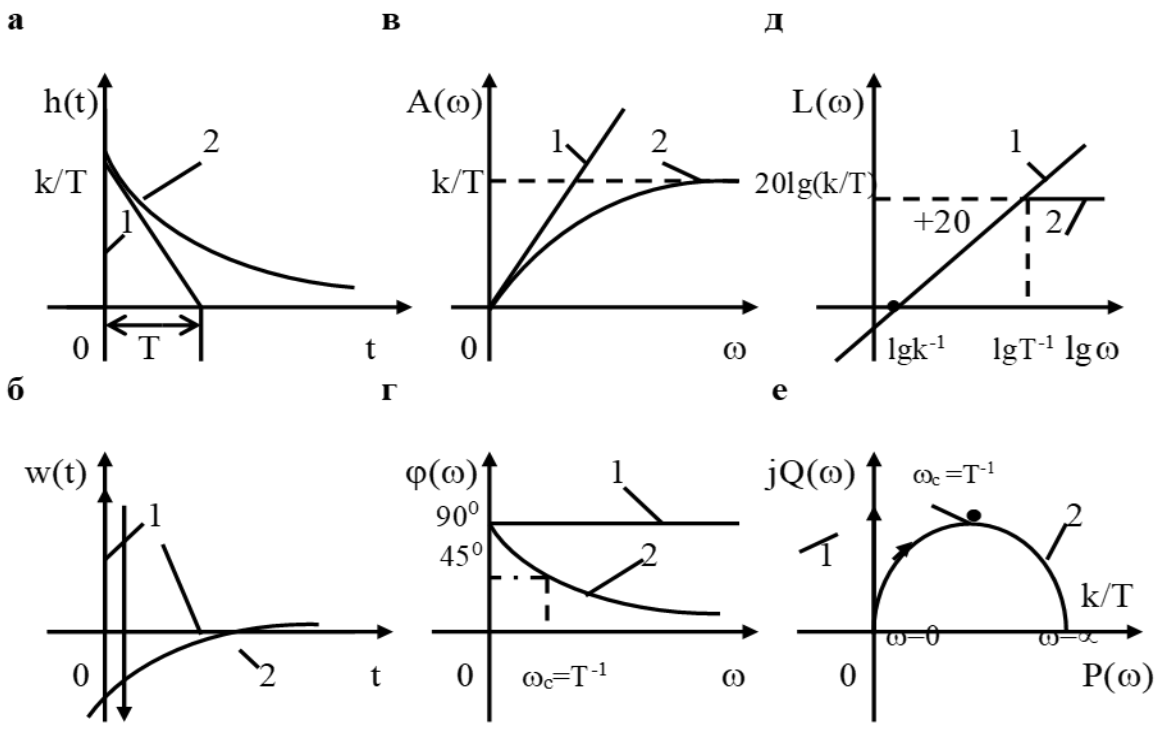
1.7 сурет - Екінші ретті апериодикалық буынның сипаттамалары



1.8 сурет. Екінші ретті термелмелі буынның сипаттамалары



1. 9 сурет - Идеалды (1) және нақты (2) интегралдаушы буынның сипаттамалары



1.10 сурет - Идеалды (1) және нақты (2) дифференциалаушы буынның сипаттамалары

Суреттерде келесі сипаттамалар көрсетілген:
а – өтпелі функция;
б - импульстік өтпелі функция;
в- амплитудалық жиілік сипаттама;
г - фазалық жиілік сипаттама;
d - логарифмдік амплитудалық жиілік сипаттама;
е - амплитудалық-фазалық сипаттама.

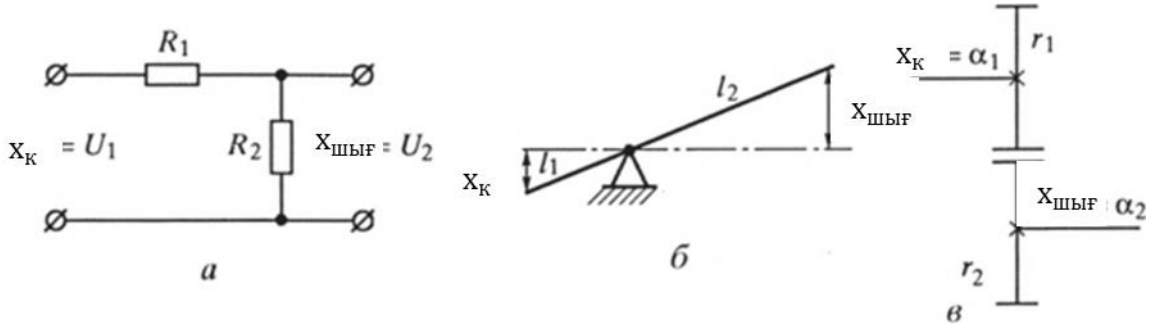
1.4 Типтік буындарға мысалдар

Жүйе буынының элементі деп аталады, егер элементтің белгілі динамикалық қасиеттері бар болса. Басқару жүйелерінің буындары әртүрлі физикалық қасиеттеріне қарамай (электрлік, пневматикалық, механикалық және т.б. буындар), белгілі бір топқа жатады. Бір топқа жататын буындардың кіріс және шығыс сигналдарының арақатынасы бір текті беріліс функцияларымен сипатталады.

Қарапайым типтік буындар:
Күшейту (инерциясыздық);
- интегралдаушы;
- дифференциалдаушы;
- апериодты;
- термелбелі;
- кешіктірілуші.

Күшейту (инерциясыздық) буыны

Буын кіріс сигналын К рет күшейтеді. Буынның теңдеуі $y = kx$, беріліс функциясы $W(s) = k$. Күшейту коэффициенті деп k параметрін айтамыз. Бұндай буындарда шығыс сигналы кіріс сигналын k рет қайталайды немесе k рет күшейтеді.



1.11 сурет - Инерциясыз буындарға мысал: *а* - кернеу бөлгіш, б- рычаг, *в* -редуктор

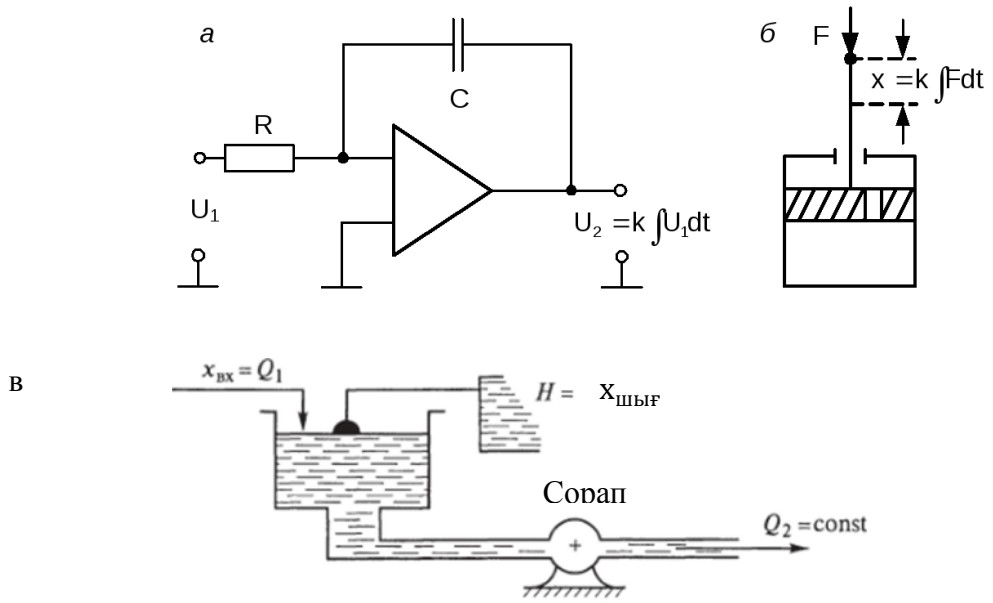
Әртүрлі физикалық сипаттағы байланыстарды күшейту буындарына мысалдар ретінде электр кернеуін бөлгішті (1.11, а сурет), рычагты (1.11, б сурет) және механикалық редукторды (1.11, в сурет) келтіруге болады.

Мысалы, күшейткіш буындарына кернеу мен қуатты транзисторлық күшейту қондырғылары жатады. Сонымен қатар инерциясыз буындар қатарына механикалық берілістер, қысым датчиктері, ауа шығынын өлшейтін датчиктер, сызықтық орын ауыстыру датчиктері, инерциалды емес күшейткіштер және т.б., яғни көптеген сигнал датчиктері, мысалы, потенциометриялық датчиктер, индуктивті датчиктер, айналмалы трансформаторлар және т.б. жатады.

Интегралдаушы буын

Идеалды интегралдаушы. Идеалды интегралдаушы буынның шығыс шамасы кіріс шамасының мәніне пропорционалды $y = k\int_0^t x(t)dt$, беріліс функциясы $W(s) = \frac{k}{s}$. Бұл астатикалық буын, былайша айтқанда тұрақты күйге ие емес.

Нақты интегралдаушы. Бұл буынның беріліс функциясы: $W(s) = \frac{k}{s(Ts+1)}$.



1.12 сурет - Интегралдаушы буынға мысалдар:

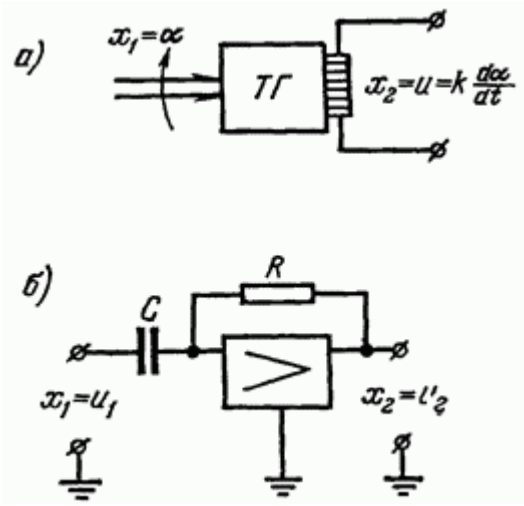
а - интеграциялық режимдегі жұмыс күшейткіші, б - гидравликалық демпфер, в - дренаждағы сорғысы бар гидравликалық жүйе

Интегралдаушы буынға мысал ретінде интеграциялық режимдегі жұмыс күшейткіші(1.12, а сурет), қарапайым гидравликалық демпфер (1.12, б сурет) және дренаждағы сорғысы бар гидравликалық жүйені (1.12, в сурет) қарастыруға болады.

Интегралдаушы буындардың қатарына, мысалы, тәуелсіз қоздырумен жұмыс атқаратын тұрақты ток қозғалтқышы кіреді егер кіріс әрекеті ретінде статордың кернеуін, ал шығыс әрекеті ретінде ротордың айналу бұрышын қабылдаса. Сонымен қатар, мысал ретінде гидравликалық сервомоторды, қара денені және дренажда сорғысы бар гидравликалық жүйені қарастыруға болады. Интегралдаушы байланыстың қарапайым түріне мысал ретінде - су тартылатын ваннаны қарастыруға болады. Кіріс сигналы - бұл кран арқылы су ағыны, жүйенің шығыс сигналы - ваннадағы су деңгейі. Су ағып жатқанда деңгей көтеріледі, жүйе кіріс сигналын «жинайды» (біріктіреді).

Дифференциалдаушы буын

Идеалды дифференциалдаушы. Шығыс сигналының шамасы уақыт бойынша кіріс сигналының туындысына пропорционалды өзгереді $y = k\frac{dx}{dt}$, беріліс функциясы $W(s) = k \cdot s$



1.13 сурет - Идеалды дифференциалдаушы буынға мысалдар

Идеалды дифференциалдаушы буындарға мысал ретінде 1.13 суреттегі құрылғыларды қарастыруға болады. Жалғыз идеалды дифференциалаушы буынға $y = k\frac{dx}{dt}$, теңдеуімен өрнектелінетін тұрақты токты тахогенератор жатады (1.13, а сурет), егер кіріс шамасы ретінде ротордың бұрышының айналуын а шығыс сигналы ретінде якордың э.қ.к қарастырсақ. Тұрақты токты тахогенераторда тұрақты ағын қозумен пайда болатын электр қозғау күші якордың айналу жылдамдығына тура пропорционалды.

Идеалды дифференциалдаушы буынға жақын құрылығы ретінде дифференциалды режимдегі жұмыс күшейткішін қарастыруға болады (1.13, б сурет).

Нақты дифференциалдаушы буын.

Дифференциалдаушы буын қатарына жататын көптеген объектер нақты дифференциалдаушы буындар болып табылады.

Дифференциалдаушы буын кіріс мәнінің өзгеруіне емес, оның туындысының өзгеруіне, яғни оқиғалардың даму тенденциясына әсер етеді. Сондықтан, олар дифференциалдаушы буыны белсенді, болжамды әрекетке ие бола алады және оның көмегімен жүйенің жауабын жылдамдатуға болады.

Инерциалды дифференциалдаушы буын келесі теңдеумен сипатталады:

$$T\frac{dy}{dt} + y = k\frac{dx}{dt}, \tag{1.4}$$

және оның беріліс функциясы:

$$W(s) = \frac{ks}{Ts+1}. \tag{1.5}$$

Шындығында бұл идеалды дифференциалды және апериодтық байланыстардың тізбектей қосылуы. Апериодты буын жүйеге төменгі жиілікті

сүзгінің қасиетіне сәйкес инерцияны қосады, ол жоғары жиіліктегі күшейтуді шектейді.

Апериодикалық (инерциалды) буын

Өте жиі кездесетін буындар - апериодикалық буындар. Олар келесі дифференциалды теңдеумен сипатталады:

$$T\frac{dy}{dt} + y = kx, \tag{1.6}$$

және келесі өтпелі функциясымен өрнектелінеді

$$W(s) = \frac{k}{Ts+1} \tag{1.7}$$

Бұл жерде k – өлшемсіз коэффициент, $T > 0$ – тұрақты шама, буынның уақыт бойынша тұрақтысы деп аталады. Уақыт тұрақтысы- өлшемді шама, ол секундпен өлшеніп объектің инерциалығын сипаттайды, немесе объектің кіріс шамасының өзгерісінің объектке әсерінің жылдамдылығын өзгерісін көрсетеді.

Көптеген жылу объекттері апериодикалық буындарға жатады. Мысалы электр пешінің кірісінде кернеу шамасын өзгертсек пештің температурасы берілген заңдылық бойынша өзгереді.

Апериодикалық буындарға мысал:

а) қозғалтқыштың кез келген түрі (электрлік, гидравликалық, пневматикалық), кіріс шамасы басқарушы әрект (ЭҚ кернеу, ГЖ сұйықтардың шығыны т.б.), шығыс шамасы айналу жылдамдығы;

б) тұрақты токты электр генераторы, кіріс шамасы - қоздыру орамасына берілетін кернеу, ал шығыс мәні - якорь кернеуі;

в) газы бар резервуар, мұнда кіріс мәні - кіріс алдындағы қысым, ал шығыс - резервуардағы қысым;

г) жылыту пеші, онда кіріс мәні - уақыт бірлігіне берілетін жылу мөлшері, ал шығыс мәні - пештегі температура;

д) қысым датчигі, температура датчигі, қыздыру элементі, жылу камерасы, тиристорлық қуат түрлендіргіші..

Апериодты (инерциялық) екінші реттік буын

Екінші ретті апериодты буын келесі теңдеумен өрнектеледі

$$T_1\frac{d^2y}{dt^2} + T_2\frac{dy}{dt} + y = kx \tag{1.8}$$

Екінші ретті апериодты буынның беріліс функциясы:

$$W(s) = \frac{k}{T_1^2 s^2 + T_2 s + 1} \quad (1.9)$$

Екі тізбектей жалғасқан 1-ші ретті апериодикалық буындар жалпы күшейту коэффициенті анықталған 2-ші ретті апериодикалық буынды құрастырады.

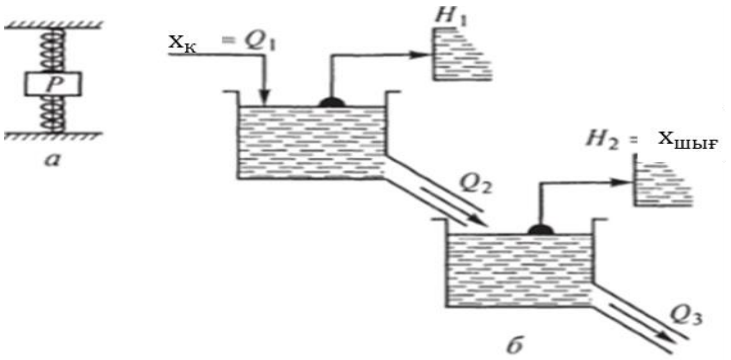
Тербелмелі буын

2-ші ретті апериодикалық буынды екі тізбектей жалғасқан 1-ші ретті апериодикалық буындар арқылы алуға болады немесе олар тербелмелі буын деп аталады егер сипаттамалық теңдеудің түбірлері нақты болса $T_2 > 2T_1$.

Тербелмелі буынның дифференциалдық теңдеуі мен беріліс функциясы келесі түрде жазылады:

$$T_1 \cdot T_2 \frac{d^2y}{dt^2} + (T_1 + T_2)\frac{dy}{dt} + y = kx; \quad (1.10)$$

$$W(s) = \frac{k}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)}. \quad (1.11)$$



1.14 сурет - 2-ші ретті апериодикалық буынға мысал

Тербелмелі немесе апериодты 2-ші реттік буындарға жататын объектер өздігінен өзі-өзін теңестіру қасиеті бар, яғни сыртқы әсердің әрекетінен тұрақты бір күйінен бұзылғаннан кейін өзін-өзі тепе-теңдік күйін қалпына келтіру мүмкіндігі бар.

Тербелмелі буынға мысал ретінде 1.14,а-суретте көрсетілген механикалық жүйені (вагонның дөңгелегі), ал 2 реттегі апериодикалық буын есебінде реттелінетін параметрі екінші тоғандағы судың H_2 денгейі $x_{шығ}$ болатын ағынды екі тоған жүйесін (1.14, б сурет) қарастыруға болады. Екінші ретті апериодты буынға мысал ретінде төмен қуатты тұрақты ток қозғалтқышын (DCM) келтіруге болады, оның беру функциясы келесі түрге ие:

$$W_{ДПТ}(s) = \frac{k_д}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)} \quad (1.12)$$

Кешігу буыны

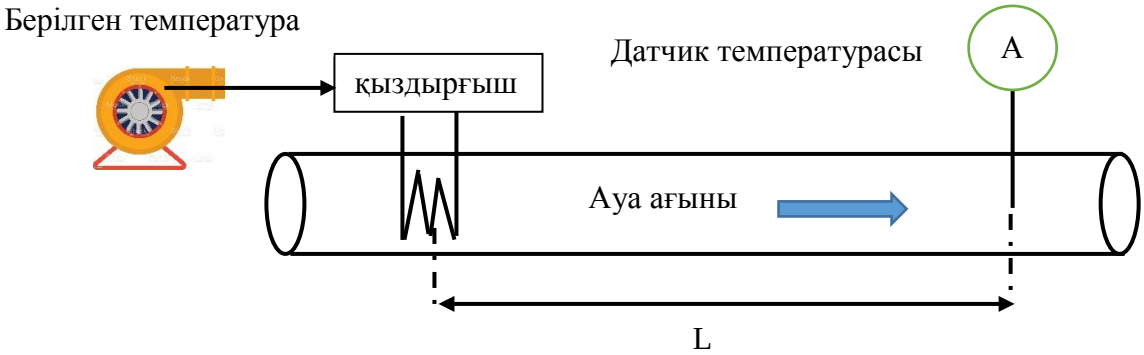
Буынның теңдеуі мен беріліс функциясы келесі түрде сипатталады:

$$y(t) = x(t - \tau) \tag{1.13}$$

$$W(s) = e^{-\tau s}$$

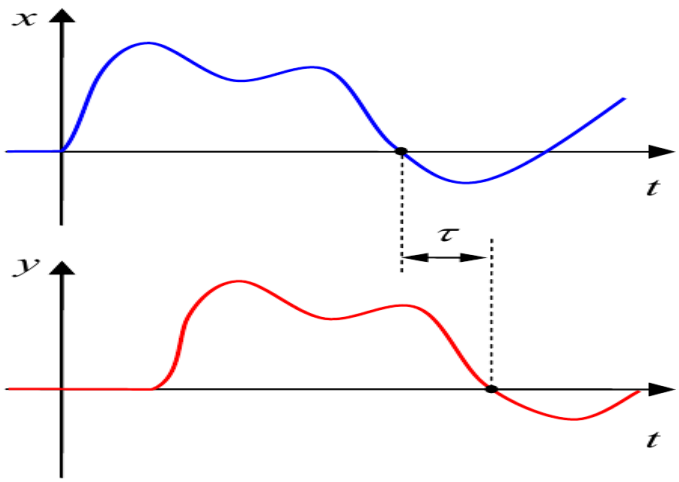
Буынның шығыс шамасы y кіріс шамасын x белгілі уақытқа τ кешігу арқылы толығымен қайталайды.

Желдеткіш ауаны соратын құбырды елестетіп көрейік. Құбырдың басында жылытқыш орнатылған, ал ауа температурасы датчикпен А нүктесінде өлшенеді.



1.15 сурет - Кешігу буынына мысал

Ауа температурасы өзгерген кезде датчик оны бірден анықтай алмайтыны анық, бірақ уақыт өткеннен кейін $\tau = \frac{L}{\vartheta}$, мұндағы L - құбырдың ұзындығы (метрмен), ал ϑ - ауа ағынының жылдамдығы (м/с). Бұл жағдайда жүйенің τ (секунд) көлемінде тасымалдаудың кідірісі (кешігуі) бар дейді.



1.16 сурет - Шамасы τ тең тасымалдау кешігуі

Кешігу буындары келесі объектер жатады:

- жүктердің конвейер бойымен қозғалуы;
- құбыр арқылы сұйықтық қозғалысы;
- байланыс желісі (t - хабарламаның транзиттік уақыты);
- белдікті тасымалдау арқылы қозғалыста затты мөлшерлеу (t - белгілі бір нүктелер арасындағы қозғалыс уақыты).

1.5 Шахтаның желдету желісін модельдеу арқылы автоматты басқару жүйесін құруға мысал

Қазіргі заманғы тау-кен кәсіпорнын мәжбүрлі желдетусіз елестету мүмкін емес. Шахтада жұмыс істейтін адамдардың өмірінің қауіпсіздігі толығымен желдету жүйесінің сенімді, ақаусыз жұмысына байланысты. Шахта жағдайында ауа қозғалысы күштерінің сенімді, қажетті қуаты мен басқарылатын көзі қажет болғандықтан желдеткіш қолданылады.

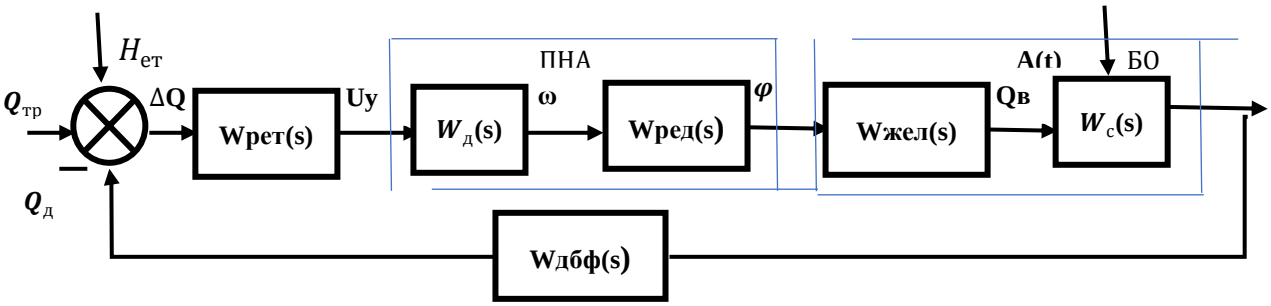
Желдеткіш қондырғы - бұл қалыпты жұмыс кезінде және кез келген төтенше жағдай кезінде ауаның жеткілікті мөлшерімен шахтаның тұрақты және сенімді жеткізілуін қамтамасыз ететін жабдықтар, құрылымдар мен құрылғылар кешені. Желдету жүйесінің негізгі міндеті - адамдар мен жабдықтардың жұмысына қолайлы ауа ортасының күйін сақтау.

Қазіргі уақытта желдеткіштің үнемді жұмысы мәні 0,6-дан төмен емес тиімділік коэффициентімен шектелген, бірақ желдеткіштердің тек 40% -ы осы талаптарға сай келеді [1]. Бұл желдеткіштің жұмысының бірқатар ерекшеліктерімен байланысты: жұмыс мерзімінің ұзақтығы, іске қосу сәттерінің төмендігі, сонымен қатар іске қосар қосылғыштардың электр жетегі үшін сирек кездесетін қондырғының ауырлығы және т.б. Осыған байланысты тиімділігі жоғары желдеткіштерді құру және оларды дұрыс пайдаланудың экономикалық маңызы зор.

Желдеткіш қондырғысының үнемді жұмысының негізгі шарты желдеткішпен дамытылған қоректену мен қысымның сәйкестігі және шахтаға артық ауаның түсуімен сипатталатын режимдерде желдеткіштің жұмыс уақытын минимизациялау болып табылады [2]. Сондықтан желдеткіш қондырғысының шығынын немесе қысымын өзгерту арқылы желдеткіштің жұмыс режимін реттеу қажет.

Зерттеудің негізгі міндеті - рационалды және үнемді режимде жұмыс істейтін орталықтан тепкіш желдеткішті автоматты басқарудың осындай жүйесін жасау.

Автоматты басқару жүйесінің құрылымдық сұлбасы 1.17 суретте көрсетілген.



1.17 сурет – Желдеткіштің өнімін АРЖ құрылымдық сұлбасы

Суретте келесі белгілеулер қолданылған:
БО – басқару объекті;
$W_C(s)$ – шахтаны желдету желісінінің беріліс функциясы;
$W_{жел}(s)$ – негізгі желдеткіштің беріліс функциясы;
A(t) – эквивалентті тор саңылауы, $м^2$;
ПНА - бағыттаушы қалақша жетегі;
$W_Д(s)$ – қозғалтқыштың беріліс функциясы;
$W_{Ред}(s)$ –редуктордың беріліс функциясы;
$W_{Рет}(s)$ – реттегіштің беріліс функциясы;
$W_{дбф}(s)$– ауа ағыны датчигінің беріліс функциясы;
Qш – шахтаға берілетін ауа мөлшері,$м^3$/с;
Qв – желдеткіш сыйымдылығы,$м^3$/с;
$Q_{Тр}$ – қажетті беретін ауа беру, мөлшері, $м^3$/с;
$Q_д$ – датчикпен өлшенетін ауа мөлшері;
Q – сигнал айырымы (қателік);
$H_{ет}(t)$ – желдету желісінің табиғи жобасы;
$U_у$ – басқару сигналы;
w – қозғалтқыш білігінің бұрыштық жылдамдығы, рад/с;
r – бағыт аппаратының жүздерінің айналу бұрышы, град.

Осы АБЖ-да басқару объектісі желдеткіш – шахтаның желдеткіш желісі $W_{жел}(s)$ - $W_C(s)$ болып табылады, ол екі буыннан тұрады: $W_C(s)$шахтасының желдету желісі және $W_{жел}(s)$ желдеткіштің өзі. Объектің шығыс параметрі - желдеткіш қондырғысының жұмысына байланысты шахтаға түсетін ауа мөлшері.

Шахтаға берілетін ауа мөлшерін өлшеу ауа ағынын өлшейтін датчик $W_{ДРВ}(s)$ арқылы жүзеге асырылады. Нысанға кедергі келтіретін әсер - бұл уақыт бойынша өзгеретін баламалы желілік саңылау A (t). Желінің эквивалентті желілік саңылау ашылуының өзгеру диапазоны 0,3 – 4,2$м^2$ аралығында өзгеруі мүмкін [3]. Кіріс әрекеті - бағыттаушы қалақша пышақтарының бұрышы бағыттаушы қалақтың жетек сақинасының (НА) қозғалуы нәтижесінде пайда болады.

Тау-кен желдету желісі жинақталған параметрлері объект ретінде қарастырылған, желідегі ауаның таралуының динамикалық процестері қарапайым дифференциалдық және алгебралық теңдеулер жүйесімен сипатталады.

Wc (s) желдету желісінің беріліс функциясы, әдетте, шахтаның білігіндегі ауа шығынын өлшеу арқылы өтпелі процестен анықталады. Желдету желісінің жеңілдетілген беріліс функциясы кешігу буыны бар апериодты буын ретінде берілген:

$$W_c(s) = \frac{K_c e^{-s\tau}}{T_c s+1}, \qquad (1.14)$$

бұнда K_c – желінің беріліс коэффициенті, және бұл коэффициент ауа шығынының нақты мәнінің оның қажет мәніне қатынасы арқылы анықталады, t – басқару каналы бойынша таза кешігу уақыты және оның мәні 10 – 15 мин (немесе 600-900с) құрайды; T_c – шахтаның желісінің уақыт тұрақтысы, оның мәні 30 мин 2 сағатқа жетуі мүмкін (немесе 1800 – 7200с). T_c мәні шахта желісінің ұзындығына байланысты анықталады [1].

Желдеткіштің $W_{жыл}(s)$ беріліс функциясы бірінші ретті апериодтық буынның беріліс функциясы арқылы сипатталады:

$$W_{жел}(s) = \frac{K_B}{T_B s+1} \qquad (1.15)$$

мұндағы $K_в$ – желдеткіштің беріліс коэффициенті, және бұл коэффициент желдеткіштің өнімділігі $Q_в$, м^3/с мен оның вал айналымының бұрыштық жылдамдығының w, об/с қатынасы арқылы анықталады. Желдеткіштің уақыт тұрақтысының мәні 10 – 15 с тең.

Жетек бөлігінің бағыттаушысы - бұл жең саусақ эластикалық ілінісуімен жалғанған және ортақ рамаға орнатылған электр қозғалтқышы мен редуктор [1]. Редуктордың жай айналатын валына айналдыру моментін роликтің тізбек пен қатты штангаларын қолданып беру үшін бағыттаушы аппараттың жетек сақинасына жұлдызша орнатылған. Қозғалтқыш АРЖ элементі ретінде апериодты буын болып табылады, оның беріліс функциясы:

$$W_д(s) = \frac{K_д}{(T_{эм}s+1)}, \qquad (1.16)$$

мұнда $K_д$ – қозғалтқыштың беріліс саны, ол номиналды жылдамдықтың қорек кернеуіне қатынасына тең. $T_{эм}$ – қозғалтқыштың үдеу уақытын сипаттайтын уақыт тұрақтысы.

Жетекші жұлдызша айналдыратын моментті жетек сақинасына береді, оның көмегімен бағыттаушы аппараттың қалақтары бір уақытта айналдырылады. БА беру функциясы инерциясыз буынның беріліс функциясына тең:

$$W_{\text{на}}(s) = K_{\text{на}}, \tag{1.17}$$

мұнда $K_{\text{на}}$ – бағыттаушы аппараттың беріліс коэффициенті. Коэффициенттің мәні қозғалтқыштың айналу жылдамдығының оның пышағының айналу бұрышының қатынасына тең.

БА жетегін басқару үшін контактісіз қайтымды стартерлер қолданылады (мысалы, ПБР-3А типі) [1]. Стартер үш фазалы асинхронды электр қозғалтқышын қысқа тұйықталған ротормен іске қосуды, кері бағытта және шамадан тыс жүктемеден қорғауды қамтамасыз етеді. Стартер (реле) басқару құрылғысынан командаларды алады, ол микроконтроллерге негізделген электронды блок болып табылады. Өлшеу датчиктерінен сигналдар блоктың кірісіне қабылданады, олар салыстырылады, ауаның нақты және қажетті жеткізілімдері арасындағы сәйкессіздік сигналы пайда болады. Әрі қарай, сигнал реттегіштің көмегімен басқарушы әрекетке айналады, ол жетек стартерінің БА кірісіне беріледі.

АБЖ элементі ретіндегі датчик инерциасыз буын болып табылады. Мұндай элементтің беру функциясын датчиктің шығысындағы электр сигналының өлшенген ауа ағынының шығым мәніне қатынасына тең болатын КДРВ күшейту коэффициенті түрінде ұсынуға болады.

Сондай-ақ, нақты басқару сигналын қалыптастыру үшін желдету желісінің табиғи сызбасының әсерін де ескеру қажет. Ауаның табиғи тартуын анықтайтын негізгі фактор - ауаның әртүрлі тығыздығы. Ауа тығыздығы негізінен оның шахталардағы температурасының айырмашылығымен байланысты. Осыған байланысты табиғи ауаның тартылуы көбінесе жер бетінің температурасының маусымдық және күнделікті өзгеруіне байланысты болады (қыста және түнде көп, жазда және күндіз аз). Шахтадағы ауаның тығыздығы оның химиялық құрамына да байланысты (мысалы, жедел және кенеттен газ шығарындылары кезінде). Тау-кен жарнамалары пайдалы қазбалардың шөгінділерін ашқан кезде желдің жоғары қысымы табиғи ауаның тартылуын тудыруы мүмкін. Табиғи ауа қабатының депрессиясының шамасы бұл жағдайда желдің жоғары жылдамдығына сәйкес келеді. Табиғи ауа ағынына белгілі бір әсер оқпандағы (*тік шахтаның үстінен түбіне дейінгі жері*) діндердегі судың тамшылауымен әсер етеді; ауа берілісінде - бұл құлап жатқан судың лақтырылуы мен салқындату әсерінен шахтаға ауа ағынын жеңілдетуі мүмкін, ауа берілуінде - бұл қозғалысты қиындатады және тіпті желдеткіш ағынды қысқа мерзімге аударып тастай алады.

Алайда көп жағдайда бұл өзгеріс қысқы және жазғы кезеңдерде шамалы және қарама-қарсы сипатта болады. Сондықтан, сәл қателікпен табиғи итергіштің сипаттамасы тұрақты болады, яғни ауа ағынына тәуелді емес [4].

Автоматты ауа ағынын басқару жүйесінің сандық моделі оның буындарының беріліс функцияларымен анықталады:

$$W_c(s) = \frac{K_c e^{-s\tau}}{T_c s + 1}; \tag{1.18}$$

$$W_{\text{жел}}(s) = \frac{K_B}{T_B s + 1};$$

$$W_{\text{д}}(s) = \frac{K_{\text{д}}}{(T_{\text{эм}} s + 1)};$$

$$W_{\text{на}}(s) = K_{\text{на}};$$

$$W_{\text{дбф}}(s) = K_{\text{дрв}},$$

1.6 Жұмыстың орындалу тәртібі

1.2 кесте

Буын атауы	a_0	a_1	a_2	b_0	b_1	Ескертпе
Инерциясыз (пропорционалды)	0	0	1	0	10	
Инерциялды 1- ретті (апериодикалық)	0	T=0,1	1	0	10	
Инерциялды 2-ретті (апериодикалық)	$T_2^2 = 1{,}6.10^{-3}$	T_1=0,1	1	0	10	$T_1 \geq 2T_2$
(Инерциялды 2-ретті тербелмелі)	$T_2^2 = 0{,}04$	T_1 =0,1	1	0	10	$T_1 < 2T_2$
Идеалды интегралдаушы	0	1	0	0	10	
Нақты интегралдаушы	T =0,1	1	0	0	10	
Идеалды дифференциалдаушы	0	0	1	10	0	
Нақты дифференциалдаушы	0	T =0,1	1	10	0	

Белгілі типтік буын үшін 1 – 8 (1 кесте) оның параметрлерін қолданып (2 кесте) буынның беріліс функциясын анықтаңыздар.

1. Әрбір буын үшін оның беріліс функциясына сәйкес оператор теңдеуін жазыңыз.
2. Буын моделін өңдеңіз және уақыт пен жиіліктің сипаттамаларына талдау жасаңыз. Әр буынның өтпелі функциясының айрықша ерекшелігіне назар аударыңыз.
3. Логарифмдік жиілік сипаттамаларын қолдана отырып, инерциялық буындар үшін байланыс және кесу жиіліктерін анықтаңыз.
4. Өтпелі функциялардың полюстері мен нөлдерінің мәндерін анықтап, олардың өтпелі процестің табиғатына әсерін бағалаңыз.
5. *к* параметрінің өтпелі процеске әсерін параметр мәнін екі есе арттыру арқылы бағалаңыз.

1.7 Есептің мазмұны

Есепте жұмыс бағдарламасын орындау нәтижелерін ұсыну, нәтижелер мен қорытындыларды талдау. 2-ші ретті инерциялық сілтемелер үшін (апериодты және тербелмелі) өтпелі процестің а.ф.с., л.а.ж.с. и л.ф.ж.с. графиктерін келтіріңіз

1.8 Сұрақтар

1 Элементтің беріліс функциясы дегеніміз не?

2. АБЖ типтік динамикалық буындарын қандай мақсатта және қалай ерекшеленеді?

3. Инерциалды емес байланыс синусоидалы кіріс сигналының амплитудасы мен фазасына қалай әсер етеді?

4. Қандай буындар апериодтық деп аталады?

5. Төмен және жоғары жиіліктегі гармоникалық сигналдар бірінші реттік инерциялық буын арқылы қалай өтеді?

6. Қандай буындар тербелмелі деп аталады?

7. Қандай жағдайда T_1 и T_2 уақыт тұрақтылары арасындағы арақатынаста екінші ретті инерциялық буын апериодтық өтпелі процесті құрайды, ал қандай жағдайда тербелмелі болады?

8. Қандай буындарды интегралдаушы (дифференциалдаушы) деп атайды?

9. Идеал дифференциалдаушы және интегралдаушы буындар нақты буындардан несімен ерекшеленеді?

10. Неліктен дифференциаторлар баяу өзгеретін кіріс сигналдарын нашар өткізеді?

Зертханалық жұмыс №2. Объектің кеңейтілген жиіліктік сипаттамаларын зерттеу

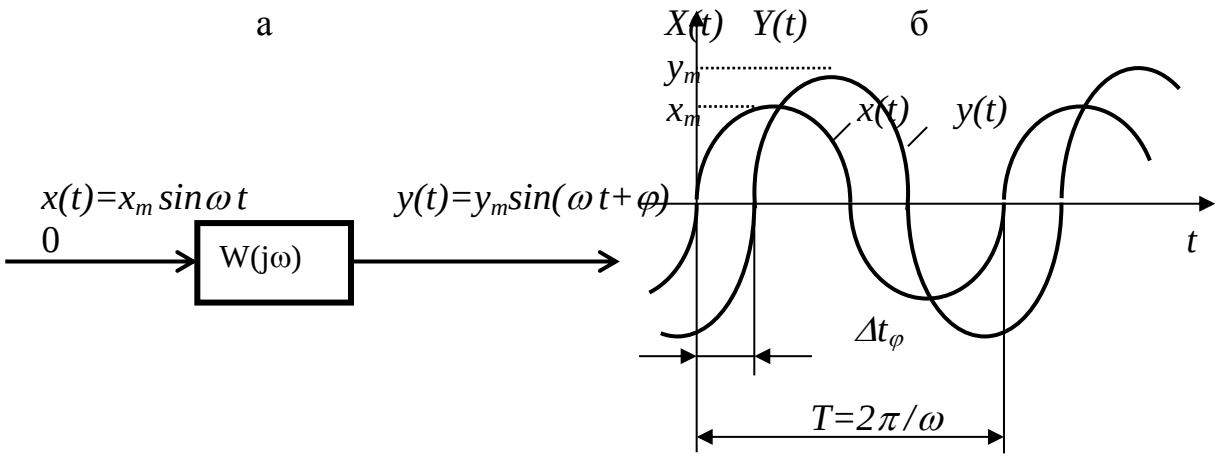
2.1 Жұмыстың мақсаты - объектінің беру функциялары бойынша объектінің кеңейтілген жиіліктік сипаттамаларын алуды зерттеу.

2.2 Теориялық ақпарат

Жиіліктік сипаттамалар элементтер мен жүйелердің беріліс қасиеттерін сыртқы гармоникалық әсерден туындаған тұрақты гармоникалық тербелістер режимінде сипаттайды. Автоматты басқару теориясы мен практикасында жиіліктік сипаттамалар кеңінен қолданылады, өйткені автоматты жүйелерде жұмыс істейтін нақты бұзылыстар гармоникалық сигналдардың қосындысы ретінде ұсынылуы мүмкін.

$$x(t) = x_m \sin \omega t. \qquad (1)$$

Жиілік сипаттамаларының мәні мен түрлерін қарастырайық. Сызықтық элементтің кірісіне t=0 уақытында (2.1, а сурет) белгілі бір жиіліктегі ω гармоникалық әрекет қолданылсын.



2.1 сурет - Жиілік әдісі ұғымдарының анықтамасына

Біраз уақыттан кейін өтпелі процестің өтуіне қажет уақытта элемент:

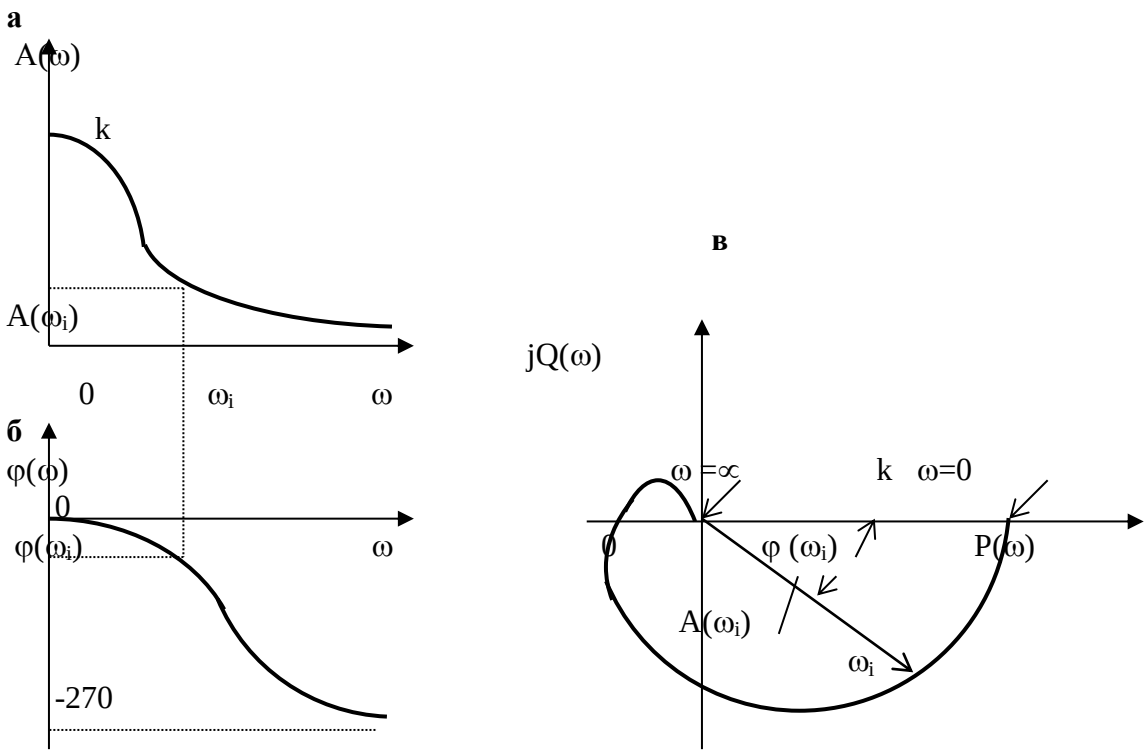
$$y(t) = y_m \sin(\omega t + \varphi), \qquad (2)$$

тұрақты мәжбүрлі тербеліс режиміне өтеді, ал элементтің шығыс мәні $y(t)$ горманикалық заңдылықпен кіріс сигналымен бірдей жиілікпен ω үйлесімді түрде өзгеріп тек амплитудасы y_m басқа және уақыт Δt_φ осі бойымен ығысады (2.1, б сурет), мұндағы $\varphi = (\Delta t_\varphi /T)360$ - кіріс пен шығыс сигналдардың фазалық (градуспен) жылжуы.

Тұрақты x_m мәнініде сигнал жиілігін ω өзгерте отырып (0 ден ∝ дейін) элементтің шығыс сигналының амплитудасы мен фазалық ығысуы кіріс сигналының жиілігіне байланысты болатындығын анықтауға болады. Сондықтан y_m амплитудасының және φ ығысудың ω жиіліктің мәндеріне тәуелділігі элементтердің динамикалық қасиеттерінің сипаттамалары бола алады.

Шығыс сигналының амплитудасы кіріс сигналының амплитудасына да байланысты болғандықтан, элементтердің қасиеттерін сипаттағанда y_m /x_m амплитудасының қатынасын қарастырған жөн.

Шығыс және кіру сигналдарының амплитудасының арақатынасының жиілікке тәуелділігі амплитудалық жиілік сипаттамасы (АЖС) деп аталады және $A(\omega)$арқылы белгіленеді (2.2, а сурет).



а – амплитудалық; б – фазалық; в – амплитудалық-фазалық

2.2 сурет - Жиілік сипаттамалар

Кіріс және шығыс сигналдары арасындағы фазалық ығысудың жиілікке тәуелділігі фазалық жиіліктік сипаттама деп аталады (ф.ж.с.) $\varphi(\omega)$ (2.2, б - сурет). $A(\omega)$және $\varphi(\omega)$ аналитикалық өрнектер амплитуда және фазалық жиілік функциялары деп аталады.

А.ж.с. элементтің әртүрлі жиіліктегі сигналдарды қалай өткізетінін көрсетеді. Өткізу амплитудасының қатынасы y_m/x_m бойынша бағаланады.

А.ж.с. шығыс мөлшерінің кірістің өлшеміне қатынасына тең өлшемі бар. Ф.ж.с. элементтің әртүрлі жиіліктерде шығыс сигналының фаза бойынша артта қалуы немесе алға жылжуын көрсетеді.

Амплитудалық және фазалық жиіліктік сипаттамаларды біріктіріп амплитудалық-фазалық жиіліктік сипаттамалар дейді (а.ф.ж.с. немесе а.ф.с.). $W(j\omega)$ амплитудалық-фазалық жиіліктік сипаттама - бұл модулі $A(\omega)$, аргументі $\varphi(\omega)$ тең кешенді айнымалы функция.

Белгілі ω_i жиілігінің әрбір тіркелген мәні $W(j\omega_i)$ комплекс санына сәйкес келеді, оны күрделі жазықтықта ұзындығы $A(\omega_i)$ және бұрышы $\varphi(\omega_i)$ бар вектормен көрсетуге болады (2.2, в сурет,). Шығыс сигналының кіріс сигналынан кешігуіне сәйкес келетін теріс мәндері $\varphi(\omega)$ әдетте, оң нақты осьтен сағат тілімен саналады.

Жиілік мәндері нөлден шексіздікке өзгергенде, $W(j\omega)$ векторы координатаның басын орап айналады. Сонда вектордың ұзындығы вектордың айналуына байланысты өседі немесе азаяды. Вектордың соңын сипаттайтын

қисық (годограф) – а.ф.с.. Сипаттаманың әрбір нүктесі белгілі бір жиілік мәніне сәйкес келеді.

W(jω) векторының нақты және жорамал осьтерге проекцияларын нақты және жорамал жиілік сипаттамалары деп аталады және оларды *P(ω), Q(ω)*деп белгілейді. Нақты жиілік сипаттама әрқашан жиіліктің жұп функциясы болып табылады, ал жорамал сипаттама әрдайым тақ функция болып табылады.

Берілген элементтің а.ф.с. аналитикалық өрнегін оның беріс функциясынан $s=j\omega$ ауыстыру арқылы алуға болады:

$$W(j\omega)=W(s)_{s=j\omega}\,. \qquad (2.3)$$

А.ф.ж. *W(jω)* кез келген комплексті шамалар сияқты дәрежелі түрде:

$$W(j\omega) = A(\omega)e^{j\varphi(\omega)}, \qquad (2.4)$$

алгебралық түрде және

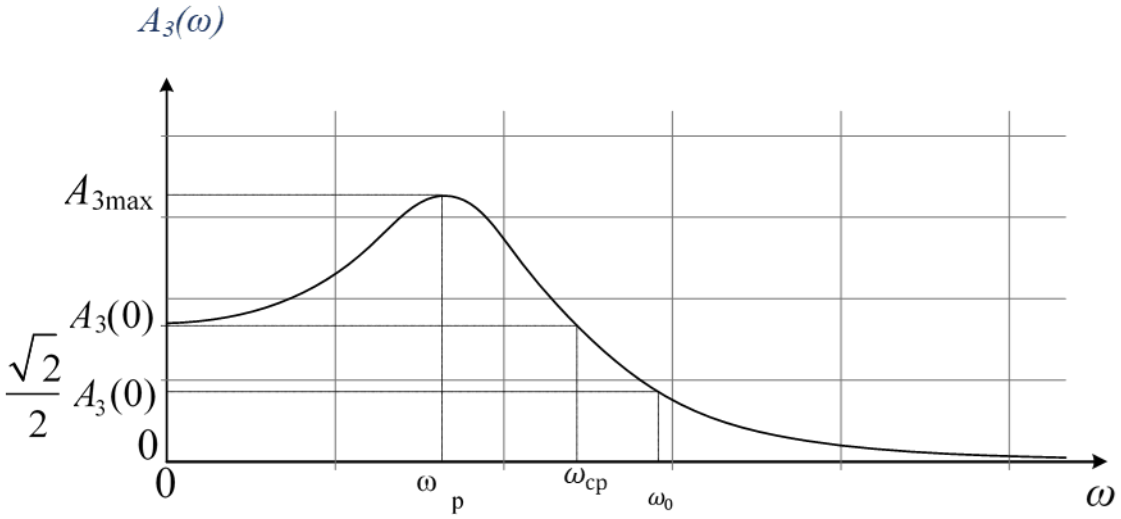
$$W(j\omega) = P(\omega) + jQ(\omega) \qquad (2.5)$$

немесе тригонометрикалық түрде өрнектелінеді.

$$W(j\omega) = A(\omega)\cos\varphi(\omega) + jA(\omega)\sin\varphi(\omega). \qquad (2.6)$$

Басқару сапасын тұйық автоматты басқару жүйесінің амплитудалықжиілік сипаттамасы арқылы бағалауға болады.

Тұйық АБЖ а.ж.с. бойынша бақылау сапасын бағалау үшін келесі көрсеткіштер қолданылады:



–ω_p – резонанстық жиілік ; ω_0- жүйенің өткізу қабілеттілігі; $\omega_{ср}$ кесу жиілігі.

2.3 сурет - АБЖ-нің амплитудалық-жиіліктік сипаттамасы

1. М тербелмелік көрсеткіші - тұйықталған жүйенің A_3max амплитудасы-жиіліктік сипаттамасының максималды мәнінің A_{3max}оның $\omega = 0$ $[A_3(0)]$ мәніне қатынасы:

$$M = \frac{A_{3max}}{A_3(0)} \tag{2.7}$$

Жиі салыстырмалы (келтірілген) а.ж.с. қолданады:

$$\overline{A_3}\,(\omega) = \frac{A_3(\omega)}{A_3(0)} \tag{2.8}$$

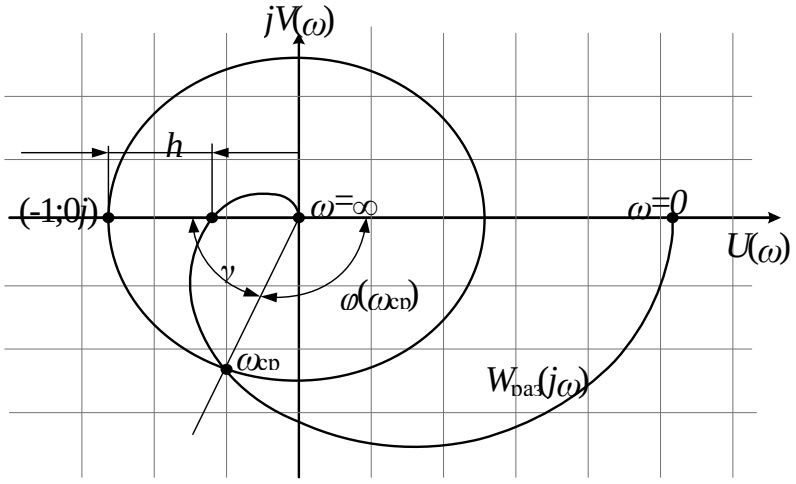
Егер $\bar{A}_3(0) = 1$ онда термелік көрсеткіші $M = \bar{A}_{3max}$ тең болады. Тербеліс көрсеткіші жүйенің тербеліске бейімділігін сипаттайды: М неғұрлым жоғары болса, жүйенің сапасы соғұрлым төмен болады, егер жүйенің басқа көрсеткіштері бірдей болса. Егер $1{,}1 \le M \le 1{,}5$ болса, онда жүйе қолайлы болып саналады.

2. Кесу жиілігі $\omega_{\text{ср}}$- жүйенің амплитудалық-жиілік сипаттамасы $A_3(0)$ мәніне тең болатын жиілік, яғни $A_3\left(\omega_{\text{ср}}\right) = A_3(0)$. Бұл жиілік өтпелі процестің ұзақтығын жанама түрде сипаттайды. Реттеу уақыты кесу жиілігіне кері пропорционалды:

$$t_p \cong (1 \div 2)\frac{2\pi}{\omega_{\text{ср}}}. \tag{2.9}$$

Ашық контурлы АБЖ-нің амплитудалық-фазалық жиілік сипаттамасы (АФЖС) арқылы басқару сапасын бағалау.

Жүйенің тербеліс тенденциясы сонымен қатар оның ашық контурлы жүйенің АФЖС диаграммасынан енгізілген оның тұрақтылық шектерінің модуль мен фазадағы мәндерімен сипатталады (2.4 сурет).

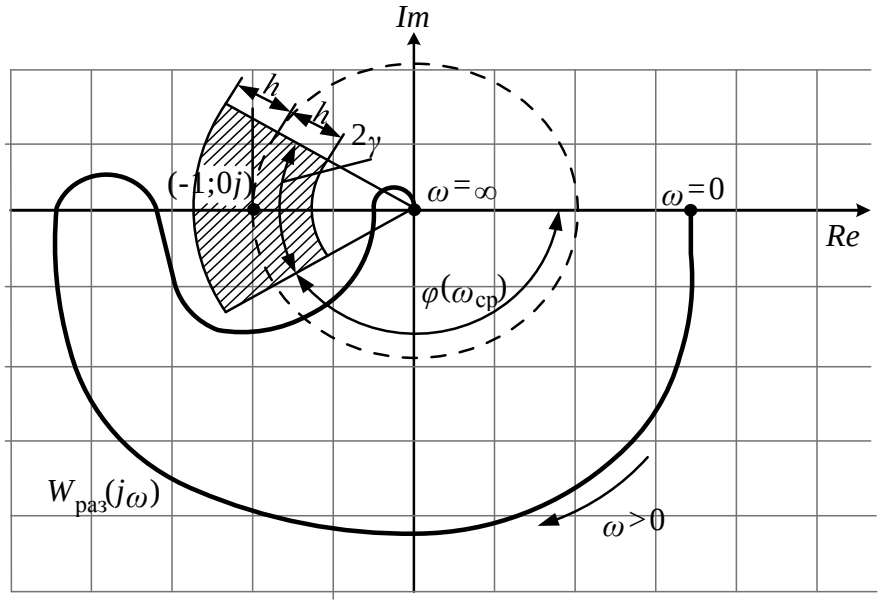


2.4 сурет - АБЖ фаза мен модульдегі тұрақтылық қорын иллюстрациялау

Фаза бойынша тұрақтылық қоры $\gamma = \pi - |\varphi(\omega_{\text{ср}})|$ бұрышының мәні ретінде $\omega_{\text{ср}}$ жиілігі үшін $|W_{\text{раз}}(j\omega_{\text{ср}})| = 1$ мәнінде анықталады.

Амплитудалық (модульдік) тұрақтылық қоры - h абсцисса осі сегментінің мәні, немесе *(-1; j0)* критикалық нүкте мен ашық АБЖ-нің амплитудалық-фазалық сипаттамасы арасындағы кесіндінің мәніне тең.. Жақсы демпферленген жүйелерде амплитудалық тұрақтылық қоры 6-дан 20 дБ-ға дейін, ал фаза шегі 30-дан 60°-ге дейін болады.

Жүйеде берілген h және γ мәндері үшін қажетті тұрақтылық қоры болуы үшін, сыни нүктенің *(-1; j0)* жанында $\pm h$ және ± γ мәндерімен шектелген сектор түрінде белгілі бір тыйым салынған аймақ салынады, оған ашық контурлы жүйенің амплитуда-фазалық жиілік сипаттамасы $W_{\text{раз}}(j\omega)$ енгізілмеуі керек (2.5 сурет).



2.5 сурет - Фаза мен модульдегі АБЖ-нің қажетті тұрақтылық қорын қамтамасыз ету шарты

2.3 Жиілік сипаттамаларын құруға мысалдар

Дифференциалдық теңдеуден беріліс функциясына өту $\frac{d}{dt} \to s$ ауыстыру арқылы жүзеге асырылады. Объектің беріліс функциясы - бұл объектінің шығыс кескінінің кіріс кескініне оның бастапқы нөлдік мәндеріндегі қатынасы $W(s) = \frac{Y(s)}{X(s)}$.

Мысал:

$$\frac{d^2y(t)}{dt^2}+2\frac{dy(t)}{dt}+2=2x(t)$$

$$\frac{d}{dt}\to s$$

$$s^2Y(s)+2sY(s)+2=2X(s)$$

$$\frac{Y(s)}{X(s)}=\frac{2}{s^2+2s+2}$$

$$W_{oy}(s)=\frac{2}{s^2+2s+2}$$

Кеңейтілген жиілік сипаттамаларға ауысу $s\to(-mw+iw)$ ауыстыру арқылы жүзеге асырылады, мұнда m - тербелмелік көрсеткіші.

Ескерту: $w=0:0.001:2$

$$W_{oy}(m,w)=\frac{2}{(-mw+iw)^2+2(-mw+iw)+2}$$

Ауыстырудан кейін беріліс функциясын нақты $P_{oy}(m,w)$ және жорамал $Q_{oy}(m,w)$ бөліктерге бөлу қажет.

Ескерту: егер басқару объектісінің беріліс функциясы 2 немесе одан жоғары ретті болса, нақты $P_{oy}(m,w)$ және жорамал $Q_{oy}(m,w)$ бөліктерге бөлу кезең-кезеңмен жүргізілген дұрыс: біріншіден, алымы мен бөлімін бөлектеу қажет.

$$W_{oy}(s)=\frac{num}{den}=\frac{a_{oy}+ib_{oy}}{c_{oy}+id_{oy}}$$

Мысал:

$$W_{oy}(m,w)=\frac{2}{m^2w^2-2imw^2-w^2-2mw+2iw+2}=\frac{2+i0}{(m^2w^2-w^2-2mw+2)+i(-2mw^2+2w)}$$

$$a=2$$

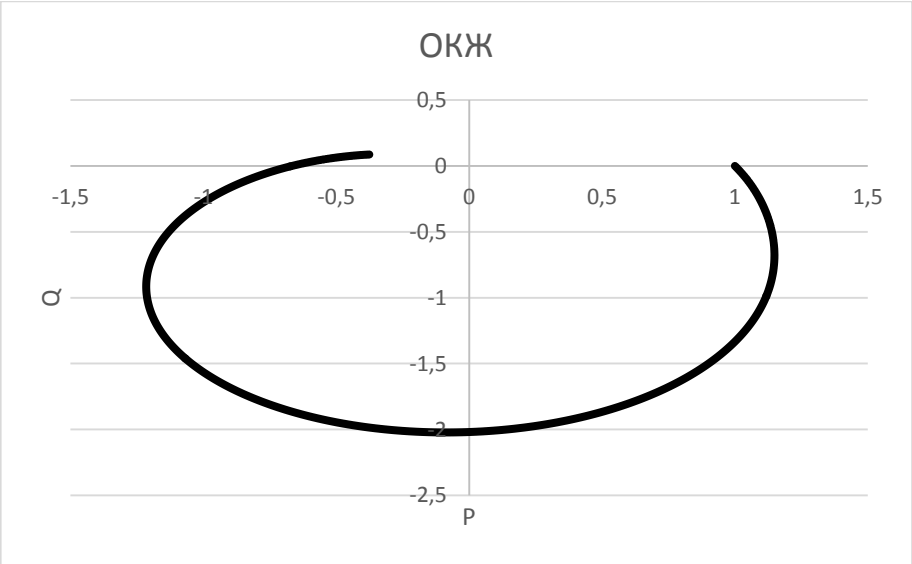
$$b=0$$

$$c=(m^2w^2-w^2-2mw+2)$$

$$d=(-2mw^2+2w)$$

Сосын келесі формула бойынша $P_{oy}(m,w)$ и $Q_{oy}(m,w)$ анықтау қажет:

$$P_{oy}(m,w)=\frac{ac+bd}{c^2+d^2}$$
$$Q_{oy}(m,w)=\frac{bc-ad}{c^2+d^2} \qquad (2.10)$$



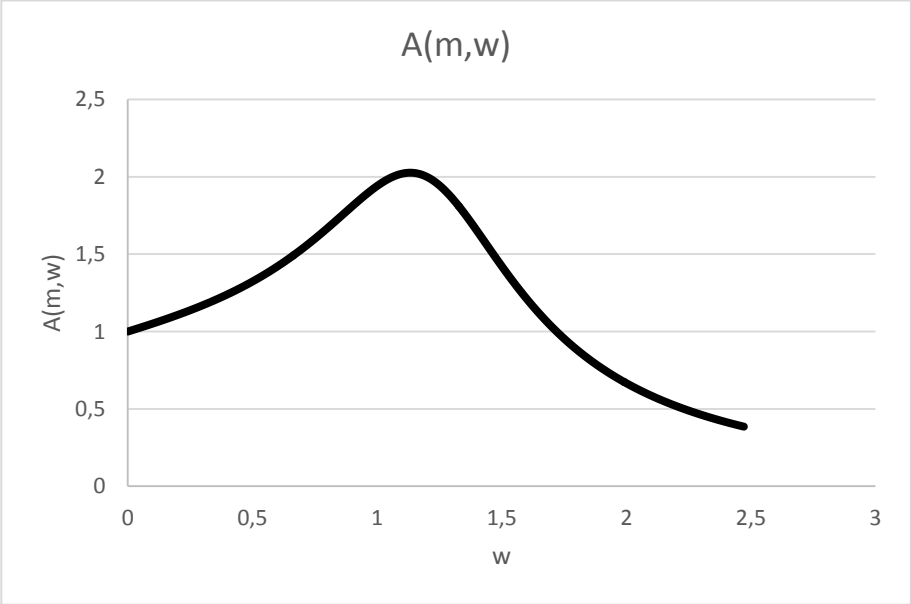
2.6 сурет - Объектің кеңейтілген жиілігі

Объектің АЖС және ФЖС салу келесі формулалар арқылы жүзеге асылады:

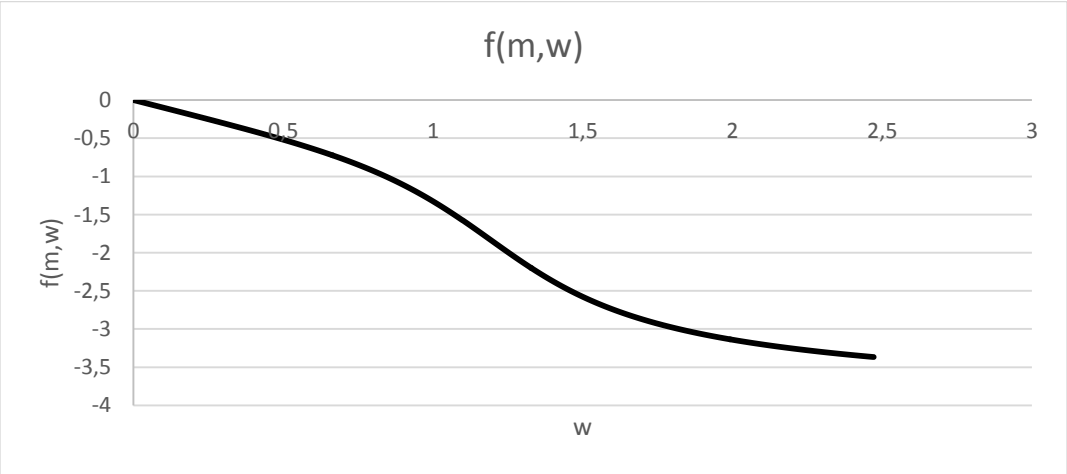
$$A(m,w) = \sqrt{P^2(m,w) + Q^2(m,w)}$$

$$\varphi(m,w) = arctg\,\frac{Q(m,w)}{P(m,w)}$$

Ескерту: $\varphi(m,w)$ мән оң мәндерді қабылдағанда, одан π алып тастау керек $\varphi(m,w) = \varphi(m,w) - \pi$



2.7 сурет - Басқару объектің АЖС



2.8 сурет - Басқару объектісінің фазалық-жиіліктік сипаттамасы

2.8 Жұмыстың орындалу тәртібі

1. Объектің кеңейтілген жиілік сипаттамаларына өту.
2. Объектің нақты және жорамал бөлігін табыңыз, КЖС құрастырыңыз.
3. Басқару объектің АЖС мен ФЖС табыңыз.
4. Жиілік сипаттамалар бойынша:
4.1. Тербелмелік көрсеткішін M= A(ω_p)/A(0).
4.2. Резонанстық жиілік ω_p.
4.3. Үздіксіз тербеліс жиілігі ω_0
4.4. Өткізу жиілігі $\omega_п$.
5. Ашық контурлы жүйенің жиіліктік сипаттамаларын қолдана отырып, модульдегі және фазадағы тұрақтылық шектерін анықтаңыз.
6. Ашық контурлы жүйенің жиіліктік сипаттамаларын бірлесіп қарастырудан $\omega_{ср}$ кесу жиілігін анықтаңыз.
7. Ашық контурлы жүйенің жиіліктік сипаттамаларына сәйкес, модульдегі және фазадағы тұрақтылық қорларын анықтаңыз.
8. Ашық контурлы жүйенің жиіліктік сипаттамаларын бірлесіп қарастырудан $\omega_{ср}$ кесу жиілігін анықтаңыз.

Wp (s) реттеуіштің беру функциясының коэффициенттерінің мәндерінің нұсқалары 2.1-кестеде келтірілген.

2.1 кесте

№	Тапсырма	№	Тапсырма
1	$W_{oy} = \frac{2}{(s+1)(0.5s+1)}$	11	$W_{oy} = \frac{2.15}{(0.45s+1)(0.55s+1)}$
2	$W_{oy} = \frac{2}{(0.1s+1)(0.5s+1)}$	12	$W_{oy} = \frac{2.05}{(0.38s+1)(0.75s+1)}$
3	$W_{oy} = \frac{1.5}{(s+1)(0.4s+1)}$	13	$W_{oy} = \frac{1.5}{(0.45s+1)(0.75s+1)}$

2.1 кестенің жалғасы

№	Тапсырма	№	Тапсырма
4	$W_{oy} = \frac{1.6}{(0.6s+1)(0.5s+1)}$	14	$W_{oy} = \frac{1.25}{(0.45s+1)(0.65s+1)}$
5	$W_{oy} = \frac{1.8}{(0.2s+1)(0.4s+1)}$	15	$W_{oy} = \frac{1.35}{(0.24s+1)(0.5s+1)}$
6	$W_{oy} = \frac{1.7}{(0.2s+1)(0.6s+1)}$	16	$W_{oy} = \frac{1.65}{(0.65s+1)(0.5s+1)}$
7	$W_{oy} = \frac{2.01}{(0.3s+1)(0.4s+1)}$	17	$W_{oy} = \frac{1.78}{(0.68s+1)(0.5s+1)}$
8	$W_{oy} = \frac{2.05}{(0.25s+1)(0.35s+1)}$	18	$W_{oy} = \frac{1.84}{(0.63s+1)(0.5s+1)}$
9	$W_{oy} = \frac{2.4}{(0.32s+1)(s+1)}$	19	$W_{oy} = \frac{1.9}{(0.65s+1)(0.45s+1)}$
10	$W_{oy} = \frac{2.25}{(0.45s+1)(0.5s+1)}$	20	$W_{oy} = \frac{2.16}{(0.63s+1)(0.26s+1)}$

2.9 Есеп мазмұны

Есепте жұмыстың нәтижелерін мақсатты көрсете отырып, сонымен қатар MS Excel және Matlab-тағы тапсырмаларға сәйкес есептеулер мен графиктерді және алынған графиктер бойынша тұжырымдарды келтіріңіз: тұрақтылық, резонанстық жиілікті табу, кесу жиілігі және тарату жиілігі туралы

2.10 Сұрақтар

1. Жиіліктік сипаттамалардың физикалық мәні неде?
2. Жиіліктік сипаттамалар аппараты АБЖ зерттеу үшін не береді?
3. Жиілік сипаттамалар қай функцияларды байланыстырады? Олар қалай жазылады және қандай координаттарда салынады?
4. Кіріс сигналының гармоникалық сипатымен кіріс сигналына қатысты шығу сигналының фазалық кешігуі қалай түсіндіріледі?
5. Кіріс сигналының жиілігі артқан сайын статикалық жүйелердің шығыс сигналының фазалық ығысуының жоғарлауының себебі неде?
6. Амплитудалық жиілік реакциясының модулі кіріс шегі жиілігінің шексіз ұлғаюымен қандай шекке бейім?
7. Объектінің дифференциалдық теңдеуін біле отырып, оны беру функциясына қалай анықтауға болады?
8. Объектің кеңейтілген жиіліктік сипаттамаларына қалай анықтауға болады?
9. АЖС, ФЖС және КЖС анықтау формулалары.
10. Резонанс жиілігін, кесу жиілігін және өту жиілігін қалай табуға болады?

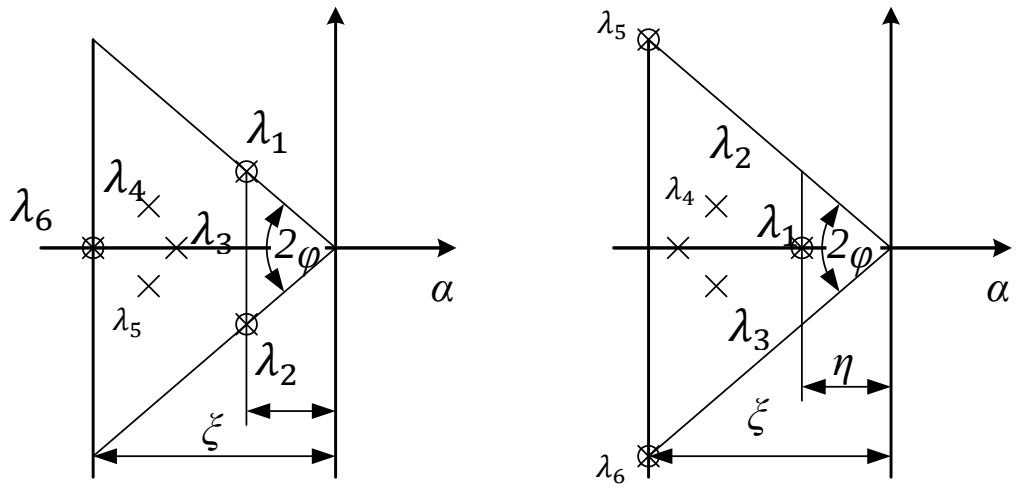
Зертханалық жұмыс №3. Кеңейтілген жиілік сипаттамалар әдісін қолдана отырып реттеушінің параметрлерін анықтау

3.1 Жұмыстың мақсаты - автоматты басқару жүйелеріндегі реттегіштің тиімді параметрлерін кеңейтілген жиіліктік сипаттамалар әдісімен есептеу.

3.2 Теориялық ақпарат

Нақты объектілердің қасиеттеріне негізделген технологиялық процестерді автоматты басқару жүйелеріне қойылатын практикалық талап - автоматты басқару жүйесінде белгілі бір тұрақтылық қоры болуы керек. Тұрақтылық қоры жүйенің жұмыс қабілеттілігіне оның параметрлерінің белгілі бір шектерінде ауытқулар және оның сипаттамалары уақыт бойынша немесе жұмыс режимі өзгерген кезде өзгерген жағдайда кепілдік береді. Тұрақтылық қорына қойылатын талап тұйық жүйенің сипаттамалық теңдеуінің түбірлерінің орналасу аймағын шектеу енгізеді.

Сызықтық АБЖ-нің тұрақтылық шарты келесідей тұжырымдалады: жүйенің тұрақты болуы үшін оның сипаттамалық теңдеуінің барлық түбірлері солақай болуы қажет (яғни, сол жақ жарты жазықтықта болу керек). Егер кем дегенде бір түбір оң болса, онда жүйе тұрақсыз. Егер түбірлердің біреуі нөлге тең болса, қалғаны сол жағында болса, онда жүйе апериодтық тұрақтылық шекарасында болады. Егер бір немесе бірнеше жұп күрделі байланысты түбірлердің нақты бөліктері нөлге тең болса, онда жүйе тербелмелі тұрақтылық шекарасында болады (3.1 сурет).



a - күрделі байланысты; b - нақты.

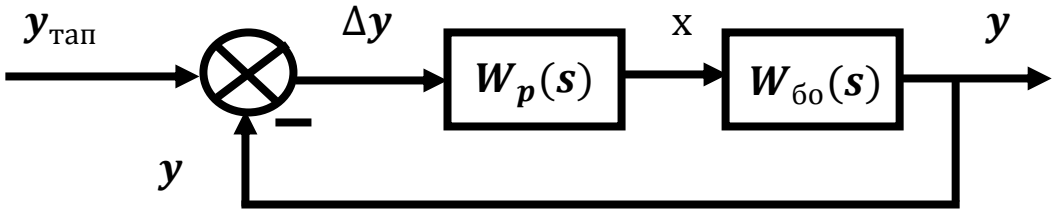
3.1 сурет - Сипаттамалық теңдеудің түбірлерінің жорамал осіне жақын орналасуы

Автоматты басқару жүйелерінің барлық буындары тұрақты және тұрақсыз болып бөлінеді. Сонымен, қарапайым буындар, жоғарыда атап өткендей, тұрақты, тек қана бейтарап буындар тобына кіретін интегралдаушы буын бұлардың қатарына кірмейді. Жүйелердің тұрақтылығына басқарылатын

объектінің параметрлері әсер етеді. Жүйе тұрақты болуы үшін қажетті тұрақтылық қорымен жүйені қамтамасыз ету қажет. Егер жүйенің параметрлері жуық анықталса немесе жүйенің жұмыс істеу кезінде параметрлері өзгеретін болса, онда тұрақтылық қоры жүйенің параметрлері анықталған және өзгермейтін жағдайға қарағанда үлкен болуы керек.

Тұрақтылыққа реттеу жүйесінің тиісті элементтерін таңдау арқылы қол жеткізуге болады. Атап айтқанда, жүйенің тұрақтылығы үшін реттегіштердің параметрлерін таңдағанда олардың өзгерісі жүйенің күйін тұрақты күйде сақтау керек. Көбінесе, реттегіштердің параметрлері анықтағанда тұйық контурлы жүйенің сипаттамалық теңдеуінің түбірлері жорамал осінде орналасуы қажет (АЕЖ тұрақтылық шекарасында), содан кейін белгілі әдістерді қолданып сипаттамалары белгілі тұрақты АЕЖ құрылады.

Әдеттегі технологиялық процестерді автоматтандыруда сызықты тиіптік реттеу заңдары бар бір контурлы автоматты басқару жүйелері (АБЖ) кеңінен қолданылады. Мұндай АБЖ-нің блок-сызбасы 3.2-суретте көрсетілген, мұнда $W_p(s)$- реттегіштің беріліс функциясы; $W_{oy}(s)$- басқару объектінің беріліс функциясы (ОР); $\Delta y = y_{\text{тап}} - y$ - реттелетін шаманың сәйкессіздігі; x - реттеуші әсер. Мұндай жүйенің ашық тізбегінде тізбектей қосылған реттегіш *Wp(s)* және басқару объектісі W (s) болады [1]. Кеңейтілген жиілік сипаттамалар әдісінің басқа көптеген сапа көрсеткіштері интегралдық критерий болатын реттегіштердің коэффициентерін анықтайтын әдістерден айырмашылығы [2-4], реттегіш параметрлерінің жиынтығын (тең әлсіреу сызықтары) анықтап тұйық жүйенің [5] өтпелі процесінің берілген тербелісін қамтамасыз етеді.



3.2 сурет - Типтік сызықты реттеуішті автоматты реттеу жүйесінің құрылымдық сызбасы

Реттеудің бес типтік заңы бар: пропорционалды (P), интегралды (I), пропорционалды-интегралды (PI), пропорционалды-дифференциалды (PD) және пропорционалды-интегралды-дифференциалды (PID) [1].

Жоғарыда келтірілген сызықтық заңдармен АБЖ-де реттегіштердің параметрлерін есептеу үшін басқару объектінің жиіліктік сипаттамаларын қолдануға болады [2].

Кеңейтілген жиілікке сипаттамалар әдісі толығымен модификацияланған Найквист критерийін қолдануға негізделген (Э.Дудников критерийі), онда мыналар айтылады: егер ашық контурлы жүйе тұрақты болса

және оның кеңейтілген амплитудасы-фазалық сипаттамасы координаталары бар нүктеден (-1, i0) өтсе, онда тұйық жүйе тұрақты болып қана қоймайды, сонымен қатар тербеліс дәрежесімен анықталатын белгілі бір тұрақтылық шекарасына ие болады. Сонымен бірге тұйық контурлы жүйенің сипаттамалық теңдеуінің түбірлерінің комплексті жазықтығында тұрақтылық шекарасы жорамал ось болады. Тұрақтылық шегін қамтамасыз ету үшін күрделі түбірлер жорамал осьтің сол жағында орналасуы керек, ал орнықтылық қоры m = α / β тербеліс дәрежесі деп аталатын жорамал осіне жақын нақты α және жорамал β-бөліктерінің қатынасы арқылы анықталады [3].

Тұйық АБЖ-де өтпелі процестің қажетті сапасын қамтамасыз ету үшін берілген тербеліс дәрежесін қамтамасыз ету қажет. Бұл жағдайда әдеттегі жиіліктік сипаттамаларының орнына кеңейтілген жиіліктік сипаттама (КЖС) қолданылуы мүмкін. КЖС әдісінің негізгі есептік қатынастарын шығарғанда, өтпелі процестің графигінің формасы негізінен жорамал осіне жақын орналасқан күрделі түбірлер жұбымен анықталады, ал қалған түбірлерді ескермеуге болады деп жорамалдайды [3]. Есептеулер үшін ең көп қолданылатын мәндер m = 0.221-0.336.

Осылайша, КЖС сипаттамасының Найквист критерийін келесідей тұжырымдауға болады: ашық контурлы жүйенің кеңейтілген АФС годографы (1, i0) нүктесінен өтуі керек. Берілген шегі бар тұрақтылық шекарасында ашық контурлы жүйенің өрнегі:

$$W_{рс}(s) = W_{оу}(s) \cdot W_{рег}(s) = -1 \qquad (3.1)$$

Найквист критерийін ескере отырып, реттеушітің беріліс функциясы келесідей болады:

$$W_{рег}(s) = \frac{-1}{W_{оу}(s)} = \frac{-1}{\dfrac{a_{оу} + ib_{оу}}{c_{оу} + id_{оу}}} = \frac{a_{рег} + ib_{рег}}{c_{рег} + id_{рег}} = P_{рег}(m,w) + Q_{рег}(m,w)$$

\ , (3.2)

$$a_{рег} = -c_{оу}$$
$$b_{рег} = -d_{оу}$$
$$c_{рег} = a_{оу}$$
$$d_{рег} = b_{оу}$$

Реттеуіштің нақты және жорамал бөліктерінің мәні (1) формуламен анықталады.

Жалпы жағдайда реттеуіштің коэффициенттерін табу үшін басқару жүйесінде ПИД реттеуішін қарастырыңыз. Оның кеңейтілген жиілік сипаттамасы келесідей болады:

$$W_{рег}(-mw+jw)=K_1+\frac{K_0}{(j-m)\cdot w}+K_2\cdot(j-m)\cdot w$$

И- бөліміндегі бөлшектің бөлімінде тұрған кешендіктен арылып, реттегіштің кеңейтілген жиілік сипаттамасы келесі түрде аламыз:

$$W_{рег}(m,w)=K_1-\frac{mK_0}{(m^2+1)\cdot w}-m\cdot K_2\cdot w-\frac{jK_0}{(m^2+1)\cdot w}+jK_2w$$

$$\begin{cases} P_{рег}(m,w)=K_1-\dfrac{mK_0}{(m^2+1)\cdot w}-m\cdot K_2\cdot w \\ Q_{рег}(m,w)=-\dfrac{K_0}{(m^2+1)\cdot w}+K_2w \end{cases} \qquad (3.3)$$

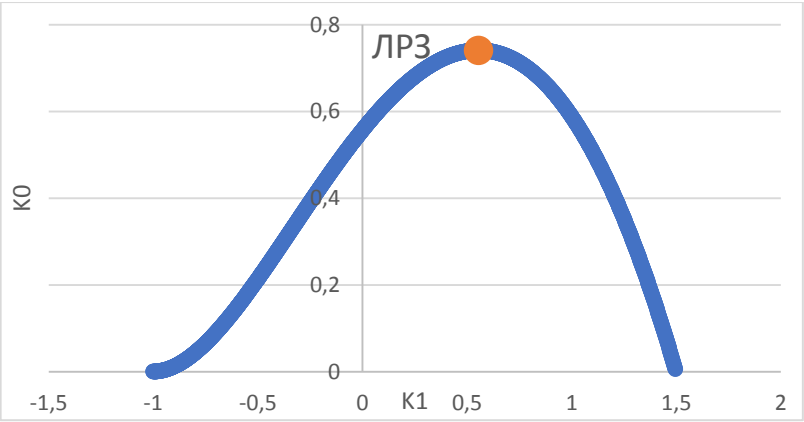
Реттегіштің параметрлеріне қатысты теңдеулер жүйесін (3) шеше отырып, олардың жиілікке параметрлік тәуелділіктерін келесі түрде алуға болады:

$$\begin{aligned} K_1 &= P_{рег}(m,w)-mQ_{рег}(m,w)+2K_2mw \\ K_0 &= -Q_{рег}(m,w)\cdot(m^2+1)\cdot w-K_2(m^2+1)\cdot w \end{aligned} \qquad (3.4)$$

Параметрлік түрде реттеуштің пропорционалды ($K1$) және интегралды ($K0$) компоненттерінің арасындағы тәуелділік теңдеудің өшіру сызығы деп аталады, ал оған жататын нүктелер (реттеуіштің параметрлері) тұйық жүйенің өтпелі процесін берілген m тербеліс дәрежесімен қамтамасыз етеді. ПИ реттеуіші үшін дифференциалды бөлік K 2=0, сондықтан:

$$\begin{cases} K_1=P_{рег}(m,w)-mQ_{рег}(m,w) \\ K_0=-Q_{рег}(m,w)\cdot(m^2+1)\cdot w \end{cases} \qquad (3.5)$$

Мысал:



3.3 сурет - Реттегіштің бірдей өшіру сызығы

3.3 суретте реттеуіштің бірыңғай өшу сызығы және ПИ реттеуіші үшін оптималды параметрлерінің мәндері көрсетілген:

$$K_1 = 0{,}51125,\ K_0 = 0{,}73937.$$

ПИ регуляторының беріліс функциясы:

$$W_{рег}(s) = K_1 + \frac{K_0}{s} = 0.51125 + \frac{0.73937}{s} = \frac{0.51125s + 0.73937}{s}$$

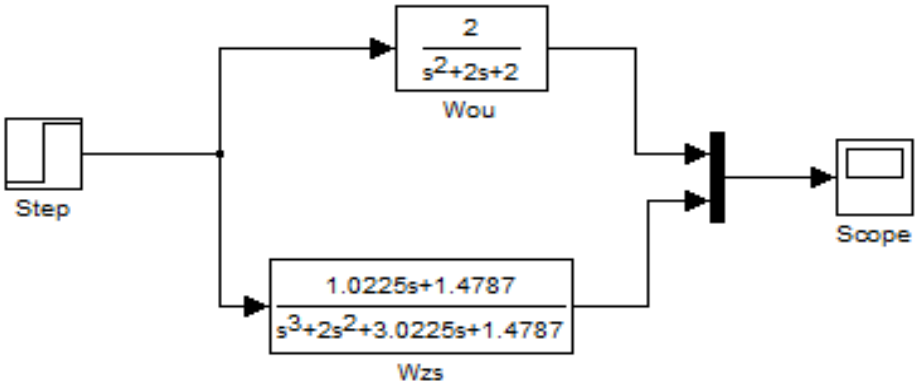
ПИ реттеуішінің параметрлерін тексеру үшін объектің өтпелі функциясы мен табылған реттеуіш кіретін тұйықталған жүйені өтпелі функцияларын салыстырыңыз.

3.3 Объект пен жүйенің өтпелі сипаттамаларын құруға мысал

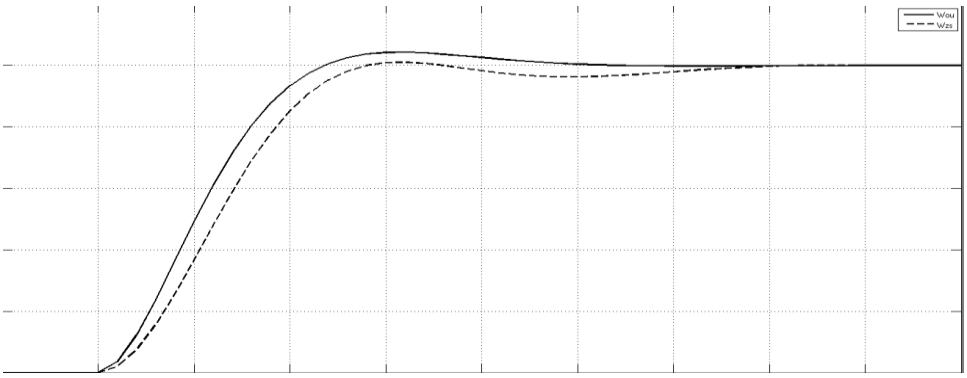
Объектің беріліс функциясы: $W_{оу}(s) = \dfrac{2}{s^2 + 2s + 2}$

Тұйық жүйенің беріліс функциясы:

$$W_{зам}(s) = \frac{W_{рег}(s) \cdot W_{оу}(s)}{1 + W_{рег}(s) \cdot W_{оу}(s)} = \frac{1{,}0225s + 1.4787}{s^3 + 2s^2 + 3.0255s + 1.4787}$$



3.4 сурет - Жүйені тексеру



3.5 сурет - Тұйықталған жүйенің және объектінің өтпелі процестерінің графиктері

3.4 Жұмысты орындау тәртібі

1. 2 зертханалық жұмыс бойынша тапсырма нұсқалары;
2. Найквист критерийін ескере отырып, реттеуші функциясын табыңыз;
3. Реттеуіштің нақты $P_p(m,w)$ және жорамал $Q_p(m,w)$ бөліктерінің мәндерін есептеңіз;
4. П және И реттеуіштердің коэффициенттерінің мәндерін анықтаңыз;
5. Реттеуіштің оптималды мәнін тауып, Simulink-ті тексеріңіз.

3.5 Есептің мазмұны

Берілген зертхана бойынша есептің құрамына зерхананы орындау мақсаты, сондай-ақ нұсқаға арналған есеп, MS Excel және Matlab-тағы тапсырмаға сәйкес есептеулер мен графиктер, сондай-ақ өтпелі сипаттамалар бойынша асып түсу, өтпелі уақытты анықтау қажет.

3.6 Сұрақтар

1) Өзгертілген Никвист критерийін анықтау (Е. Дудников критерийі).
2) ПИД контроллерінің беріліс функцияларын анықтау.
3) Бірқалыпты өшу сызығы қалай анықталады?
4) П және И реттеуіштердің коэффициенттерінің оптималды мәндерін қалай табуға болады?

Зертханалық жұмыс №4. Өтпелі процестің графигіне сәйкес объектінің математикалық моделін анықтау

4.1 Жұмыстың мақсаты – өтпелі процестің графигнің сипаттамалары арқылы объектінің беріліс функциясын анықтау.

4.2 Теориялық анықтама

Басқару объектілерінің классификациясы. Технологиялық процестер ағынының табиғаты бойынша басқару объектілері циклді, үздіксіз-циклді және үздіксіз болып бөлінеді. Жергілікті жүйелер соңғы екі типтегі объектілерді басқару үшін кеңінен қолданылады. Объектің шығу мәнінің тұрақты күйінің сипатына сәйкес, оның кірісіне баспалдақты сигналы әсер еткенде, өзін-өзі түзелетін немесе түзелтпейтін объектілер болып бөлінеді.

Кіріс және шығыс шамаларының саны мен олардың өзара байланысы бойынша объектілер бірөлшемді (бір кіріс және бір шығу) және көпөлшемді болып бөлінеді. Көпөлшемді көп байланысты болады, егер реттеу параметрлерінің бір-біріне өзара әсері зор болған кезде немесе байланыссыз болады, егер параметрлер арасындағы байланыс аз болса.

Статикалық сипаттамалардың типі бойынша объектер сызықтық және бейсызықты болып бөлінеді. Соңғысында статикалық сипаттама берілген нүктеге жақын жерде тегіс, сызықтық сипатта болуы мүмкін немесе кез келген нүктеде бейсызықты болады. Басқару жүйелерінің көпшілігі оның жұмыс нүктесіне қатысты объектінің жұмыс режимін автоматты түрде тұрақтандыруға арналған жүйелер класына жатады. Бұл жағдайда айнымалылардың жұмыс нүктесіне қатысты ауытқулары аз болады, бұл басқару объектісінің сызықтық модельдерін қолдануға мүмкіндік береді. Автоматты тұрақтандыру жүйесі үшін объектінің толық статикалық сипаттамаларын анықтау қажет емес - тек жұмыс нүктесінің маңында динамикалық күшейту коэффициентін білу жеткілікті.

Нақты объектер кеңістіктегі белгілі бір көлемді алады, сондықтан реттелінетін шама уақытқа ғана емес, өлшеу нүктесінің ағымдағы координаттарына да байланысты болады. Сондықтан басқару объектісінің позициясы дербес дифференциалдық теңдеулер жүйесімен сипатталады. Бір датчикпен нүктелік өлшеу әдісін қолданған кезде, дербес дифференциалдық теңдеулер жүйесі қарапайым туындылары бар теңдеулер жүйесіне айналады. Бұл объектінің беріліс функциясын анықтағанда оның математикалық моделін құруды едәуір жеңілдетеді. Алайда, бірнеше датчиктер және атқарушы элементтер қолданғанда бірнеше басқару сигналдарын қолдану қажет болуы мүмкін (үлестірілген басқару).

Егер объектінің жеткілікті дәл математикалық моделі болса ғана, онда осы объектіні басқарудың жоғары сапалы жүйесін жобалауға болатындығы белгілі және Эшби принципі бойынша басқару құрылғысының күрделілігі басқару объектісінің күрделілігінен кем болмауы керек. Сондықтан басқару объектісінің математикалық моделін құрудың басты мақсаты объектінің

құрылымын, оның статикалық және динамикалық сипаттамаларын анықтау болып табылады. Көпөлшемді және көпбайланысты объектердің құрылымын анықтау өте маңызды. Сонымен бірге жергілікті басқару объектер үшін олардың құрылымын анықтау объекті сипаттайтын дифференциалдық теңдеудің дәрежесін анықтауға әкеледі. Сонымен қатар, объектке әсер ететін кіріс сигналдары мен әсерлер (олардың статистикалық сипаттамалары, қолдану нүктелері, максималды амплитудалары) бағаланады. Бұл сипаттамалардың мәні реттеуіштің құрылымын таңдауға және оны реттеу параметрлерін есептеуге және осы жүйенің жұмыс сапасының критерийін жақсартуға мүмкіндік береді.

Математикалық сипаттаманы алу әдістері. Басқару объектілерінің математикалық сипаттамасын алудың аналитикалық, эксперименталды және аралас әдістері қолданылады.

Аналитикалық әдістер зерттелетін басқару объектісінде болатын физико-химиялық және энергетикалық процестерді сипаттайтын теңдеулер құруға негізделген. Қазіргі кезде басқару объектілерінің көптеген кластары үшін олардың математикалық модельдері алынды. Мұндай сипаттамаларды алған кезде әдетте дербес дифференциалдық теңдеулермен жұмыс істейді.

Эксперименттік әдістер нақты басқару объектісінде бірқатар тәжірибелер жүргізуді қамтиды. Тәжірибелер нәтижелері бойынша объектінің берілген құрылымына байланысты динамикалық моделінің параметрлері бағаланады.

Объектің математикалық моделін құрудың аралас әдістерін қолдану объектің аналитикалық түрде белгілі құрылымын қолданғанда және оның параметрлері тәжірибе барысында анықталғанда кезде тиімді болады.

Аналитикалық әдістер. Аналитикалық әдістердің артықшылығы:

- басқару жүйесін жобалау кезеңінде математикалық сипаттаманы анықтауға мүмкіндік беру;
- басқару объектісі динамикасының ерекшеліктерін немесе сызықтық емес, тұрақсыздық, үлестірілген параметрлерлі және т.б болуы сияқты барлық негізгі ерекшеліктерін ескеруге мүмкіндік беру;
- ұқсас басқару объектілерінің кең класына сәйкес келетін әмбебап математикалық сипаттаманы ұсыну.

Кемшіліктері:

- нақты объектінің барлық ерекшеліктерін ескеретін жеткілікті дәл математикалық модель алудың қиындығы;
- модель мен нақты процестің сәйкестігін тексеру, әдетте, кең ауқымды эксперименттерді қажет етеді;
- көптеген математикалық модельдерде сандық тұрғыдан бағалау қиын болатын бірқатар параметрлер бар.

Басқару объектерінің динамикалық сипаттамаларын эксперименттік анықтау әдістері. Қазіргі уақытта жергілікті жүйелердің реттеуіштерінің параметрлерін есептеу кезінде өнеркәсіптік басқару объектілерінің жеткілікті қарапайым динамикалық модельдері кеңінен қолданылады. Мысалы,

реттеуіштердің параметрлерін есептеу үшін кідіріспен бірінші немесе екінші ретті инерциялық буындардың модельдерін пайдалану көп жағдайда нақты басқару жүйесінің сапалы жұмысын қамтамасыз етеді. Осыған байланысты өндірістік басқару объектілерінің динамикалық модельдерінің параметрлерінің сандық мәндерін анықтау проблемасы туындайды. Тәжірибе көрсеткендей, бұл параметрлерді нақты басқару объектерінде эксперименттік жолмен анықтау әлдеқайда оңай. Бұл тәсіл автоматты тұрақтандыру жүйесімен бірге жұмыс істейтін бірөлшемді басқару объектілері үшін негізделген.

Өтпелі сипаттаманың түріне байланысты (үдеу қисығы) оларды басқару объектісінің беріліс функциясының үш түрінің бірі белгілейді:

Бірінші ретті инерциялық буынның беріліс функциясы түрінде:

$$W_o(s) = \frac{Ke^{-\tau s}}{Ts + 1} \tag{4.1}$$

K, T, τ - объектің анықталған номиналды жұмыс режиміне жақын аймақта анықталған күшейту коэффициенті, уақыт тұрақтысы және кешігк уақыты.

Объектінің динамикасы екінші ретті кешігу модельмен дәл сипатталады:

$$W_o(s) = \frac{Ke^{-\tau s}}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)} \tag{4.2}$$

Өздігінен түзелмейтін басқару объектісі үшін оның беріліс функциясының келесі формула арқылы сипатталады:

$$W_o(s) = \frac{Ke^{-\tau s}}{Ts} \tag{4.3}$$

Объектердің динамикалық сипаттамаларын анықтаудың эксперименттік әдістері екі класқа бөлінеді:

- басқару объектісінің уақыт сипаттамаларын анықтау әдістері;
- басқару объектісінің жиіліктік сипаттамаларын анықтау әдістері.

Динамикалық сипаттамаларды анықтаудың уақытша әдістері өз кезегінде белсенді және пассивті болып бөлінеді.

Белсенді әдістер объект кірісіне тестілік сигналдарды жіберуді көздейді, олар:

- уақыттың тұрақты функциялары (баспалдақ айырмасы немесе тік бұрышты импульс, гармоникалық сигнал, периодты екілік сигнал);
- кездейсоқ сипаттағы сигналдар (ақ шу, жалған кездейсоқ екілік сигнал).

Сынақ сигналының түріне байланысты басқару объектісінің шығыс сигналын өңдеудің сәйкес әдістері таңдалады. Сонымен, мысалы, қадам айырмасы қолданылған кезде объектінің үдеу қисығы, ал тік бұрышты импульс қолданылған кезде жауап қисығы алынады (объект сигналына қадам сигналдарын беруге мүмкіндік бермейтін объектілер үшін қолданылады).

Белсенді әдістердің артықшылықтары:

- математикалық сипаттаманы алудың жеткілікті жоғары дәлдігі;
- эксперименттің салыстырмалы түрде қысқа уақыты.

Белсенді әдістер белгілі бір жағдайларда процестің қалыпты жүрісін бұзуға әкелетінін есте ұстаған жөн.

Пассивті әдістерде сынақ сигналдары объект кірісіне берілмейді, бірақ оның қалыпты жұмыс істеу процесінде объектінің жұмыс сипаттамасы ғана жазылады. Кіріс және шығыс сигналдарының мәліметтер массивтерін алынған іске асыру статистикалық әдістермен өңделеді. Өңдеу нәтижелері бойынша объектінің беріліс функциясының параметрлері алынады. Алайда, мұндай әдістердің бірнеше кемшіліктері бар:

- алынған математикалық сипаттаманың төмен дәлдігі (қалыпты жұмыс режимінен ауытқулар аз болғандықтан);
- дәлдікті жақсарту мақсатында үлкен көлемде мәліметтер жинақтау қажеттілігі;
- егер тәжірибе басқару жүйесімен қамтылған объектіде жүргізілсе, онда объектің кіріс және шығыс сигналдары арасында корреляциялық әсер болады, бұл математикалық сипаттаманың дәлдігін төмендетеді.

Басқару объектісінің оның үдеу қисығы бойынша динамикалық сипаттамаларын анықтау.

Оьъектің динамикалық сипаттамаларын оның үдеу қисығы бойынша анықтағанда кіріске баспалдақты сигнал немесе тік бұрышты импульс беріледі. Екінші жағдайда, жауап қисығы тиісті үдеу қисығына дейін созылуы керек.

Үдеу қисығын анықтағанда бірқатар шарттар орындалуы керек:

1. Егер тұрақтандыру жүйесі жасалып жатқан болса, онда үдеу қисығы процестің жұмыс нүктесінің маңында қабылдануы керек.

2. Үдеу қисықтары басқару сигналының оң және теріс секірулерімен жазылуы керек. Қисықтардың нысаны бойынша объектінің асимметрия дәрежесін бағалауға болады. Кішкентай асимметрия жағдайында реттегіштің параметрлерін беру функциясы параметрлерінің орташаланған мәндерін қолданып есептеу ұсынылады, ал сызықтық асимметрия көбінесе термиялық бақылау объектілерінде көрінеді.

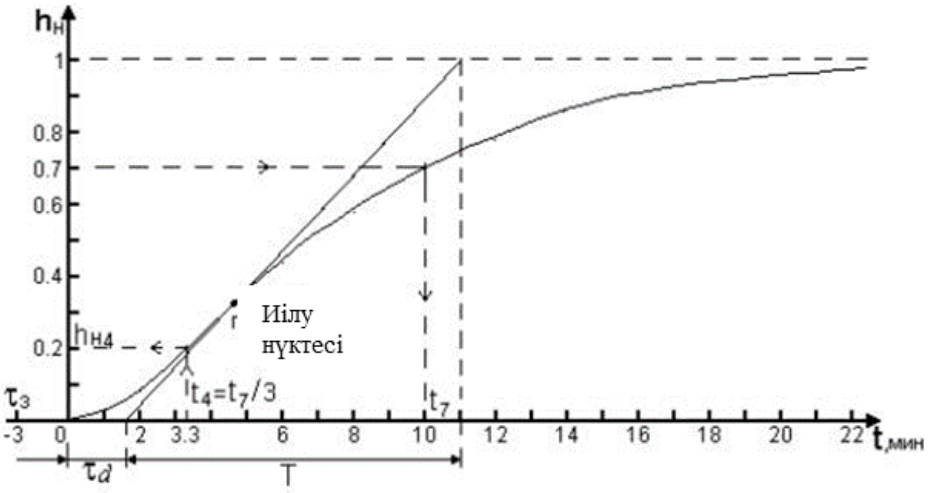
3. Шулы шығыс болған кезде бірнеше үдеу қисықтарын олардың кейіннен суперпозицияларымен бір-біріне қойып, орташаланған қисықты алған жөн.

4. Үдеу қисығын қабылдағанда кездейсоқ сыртқы бұзылулардың әрекеті екіталай болған кезде процестің ең тұрақты режимдерін таңдау керек.

5. Үдеу қисығын анықтаңанда, сынақ сигналының амплитудасы, бір жағынан, үдеу қисығын фондық шуылға қарсы айқын ажырататындай үлкен болуы керек, ал екінші жағынан, ол объектінің қалыпты жұмысын бұзбайтындай мөлшерде болуы керек.

Басқару объектің өтпелі процесінің графигін және объектің сипатамаларын бағалай отырып (өзін-өзі түзелтіретін немесе түзелтірмейтін) беріліс функциясының параметрлерін анықтауға болады. Мысалы, (1) форманың беріліс функциясы тұрақты уақыты басымды басқару объектері үшін қолданылуға ұсынылады (бір сыйымдылықты объект). Өңдеуді бастамас бұрын үдеу қисығын қалыпқа келтірген жөн (нормаланған қисықтың өзгеру диапазоны 0 –1 құрайды) және оның бастапқы бөлімінен таза кешігу уақытының мәнін анықтаймыз.

Объектің нормаланған үдеу қисығын таза кешігу уақыты $\tau_з = 3$ мин тең деп алып. 4.1 кестеде келтірілген мәндерге сәйкес үдеу қисығының графигін (4.1 сурет) құрайық.



4.1 сурет - Үдеу қисығының графигі

4.1кесте

t_i, мин	0	2	4	6	8	10	12	14	18
$h_н$	0	0,087	0,255	0,43	0,58	0,7	0,78	0,84	0,92

Үдеу қисығы бойынша объектілердің динамикалық сипаттамаларын анықтау екі жолмен жүзеге асырылады.

1. Үдеу қисығының иілу нүктесіне жанасу әдісі. Бұл жағдайда иілу нүктесі қисықтың үдеу режимінен шығыс сигналының көтерілу жылдамдығының баяулау режиміне өтуіне сәйкес келеді. Уақыт тұрақтысы Т мен динамикалық кідіріс τ_d 4.1 суреттегі графикке сәйкес анықталады, яғни $\tau = \tau_d + \tau_з$.

2. Формула әдісі формулалар бойынша динамикалық кідірістің мәні мен уақыт константасын аналитикалық түрде есептеуге мүмкіндік береді:

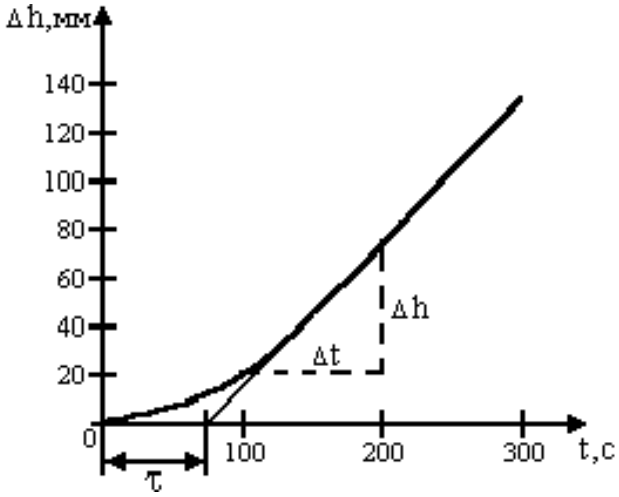
$$\tau_d = \frac{t_B \ln(1-h_A) - t_A \ln(1-h_B)}{\ln(1-h_A) - \ln(1-h_B)}\ ,\ T = -\frac{t_A - \tau_d}{\ln(1-h_A)} \qquad (4.4)$$

мұндағы h_A мәні қисықтың иілу нүктесінің маңында, ал h_Bмәні 0,8 - 0,85-ке тең алынады. t_Aжәне t_Bуақыттары да осы мәндерден анықталады.

Объектінің $W_o(s) = \frac{Ke^{-\tau s}}{Ts}$ динамикалық моделінің параметрлерін өздігінен теңестірілмейтін объектер үшін анықтау әдісін жылу агрегатының қазандығының барабанындағы деңгейдің үдеткіш қисығы мысалында қарастырамыз. Объектің кірісі су беруді 10 т/сағ =DG-ге арттырды. Сонда су деңгейі көтеріле бастады. Деңгейдің өсуі 4.2-кестеде көрсетілген.

4.2 кесте

t_i, мин	0	100	200	300
$h_н$,мм	0	20	76	135



4.2 сурет - Өздігінен теңеспейтін объектінің үдеткіш сипаттамасының графигі

4.2 суретте көрсетілген кестеге сәйкес салынған өздігінен теңеспейтін объектінің үдеткіш сипаттамасының графигі көрсетілген.

Өздігінен теңеспейтін объект үшін күшейту коэффициентң шығыс мәнінің тұрақты өзгеру жылдамдығының кіріс сигналының секіру мөлшеріне қатынасы ретінде анықталады. Біздің мысалда:

$$\Delta h = \frac{56}{100} = 0{,}56\ ^{мм}/_{сек}\ , K = {}^{\Delta h}/_{\Delta Q} = \frac{0{,}56}{10} = 0{,}056$$

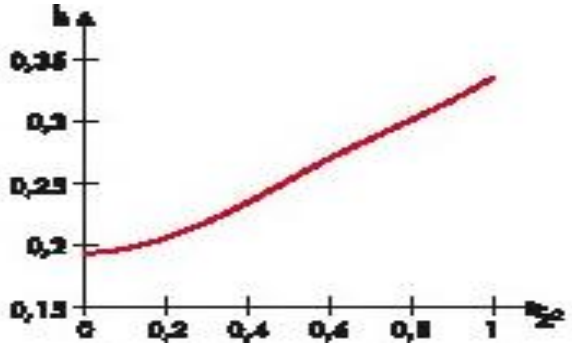
Объектің динамикалық кешігу уақыт τ мөлшері 4.2 суретте көрсетілгендей анықталады.

Орманс әдісі.

Бұл әдіс $W_o(s) = \frac{Ke^{-\tau s}}{(T_1 s+1)(T_2 s+1)}$ түріндегі модель үшін нормаланған үдеу қисығын пайдаланып, басқару объектісінің екі үстем тұрақтылығын анықтауға мүмкіндік береді. Бұл әдіс 4.3-суретте көрсетілген үдеу қисығының көмегімен түсіндіріледі. Осыған:

-нормаланған үдеу қисығынан $h_H = 0{,}7$ мәніне сәйкес уақыт анықталып, t_7 арқылы белгіленеді. $t_4 = \frac{t_7}{3}$ нүктесінен перпендикуляр үдеу қисығына көтеріліп, h_{H4} мәні анықталады. Үдеу қисығының нүктелері мен модель параметрлері арасындағы байланыс аналитикалық дәлелденген, атап айтқанда $h_{H4}\, t_7 = 1{,}2(T_1 + T_2)$.

Басқару объектің уақыт тұрақтылары T_1 и T_2 көмекші шама Z^2 көмегімен 4.3-суретте көрсетілген номограмма қолданып анықталады.



4.3 сурет - Z^n Мәнді анықтауға арналған номограмма

Т 1 және Т 2 басқару объектісінің уақыт тұрақтылары келесі формулалармен анықталады:

$$T_1 = \frac{t_1}{2{,}4}(1+z), T_2 = \frac{t_1}{2{,}4}(1-z)$$

Егер $h_{H4} < 0{,}19$, болса объектінің динамикасын анықтау үшін аудандар әдісі қолданылады.

Егер $T_1 >> T_2$, болса онда бірінші дәрежелі моделге өтуге болады.

4.3 Жұмысты орындау тәртәбі

1. Matlab-та объектің өтпелі сипаттамасын құру;
2. 2-ші ретті апериодты буынның берілу функциясын өтпелі процестің сипаттамасы арқылы анықтап оны тексеріңіз.

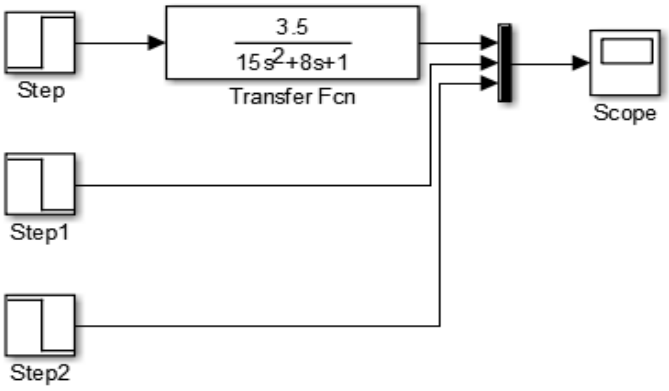
Объектің өтпелі функциясын алу үшін вариантқа сәйкес беру функциясының бөлімін ашу керек (кешіктіру буыны модельге енбеуі керек).

Мысалы:

$$W_{oy} = \frac{ke^{-\tau s}}{(T_1 s+1)(T_2 s+1)} \Rightarrow \frac{k}{T_1 T_2 s^2 + (T_1+T_2)s+1}$$

Simulink-те Transfer Fcn блогын пайдаланып модель құрыңыз, оған кіруге қадамдық сигнал беріледі, модельдің нәтижесі Scope графикасында бейнеленеді

Мысалы:



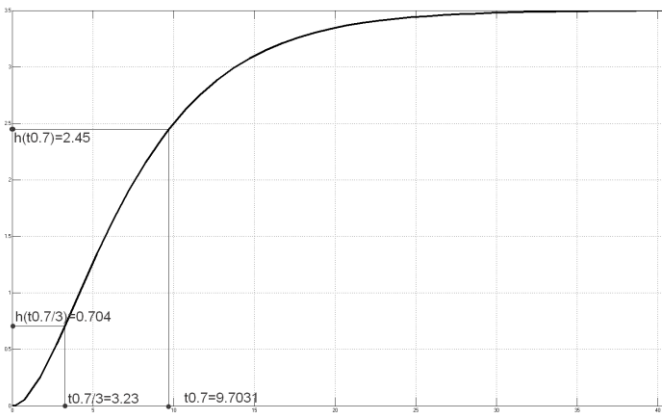
4.4 сурет - Matlab-та баспалдақты функция алу

Жеңілдетілген Орманс әдісі бойынша $W_{oy} = \frac{k}{(T_1 s+1)(T_2 s+1)}$ 2-ші ретті апериодтық буынды анықтау қажет:

- k мәнін өтпелі процестің тұрақты мәні бойынша анықтау;
- $h(t_{0.7}) = 0.7k$ шарты бойынша өтпелі функцияның сипаттамасының графигінен және $h_1 = \frac{h(\frac{t_{0.7}}{3})}{k}$ бойынша $t_{0.7}$ мәнін табыңыз;
- $T_{1/2} = t_{0.7}\frac{1 \pm 1.228\sqrt{5.13h_1 - 1}}{2.4}$ есептеңіз.

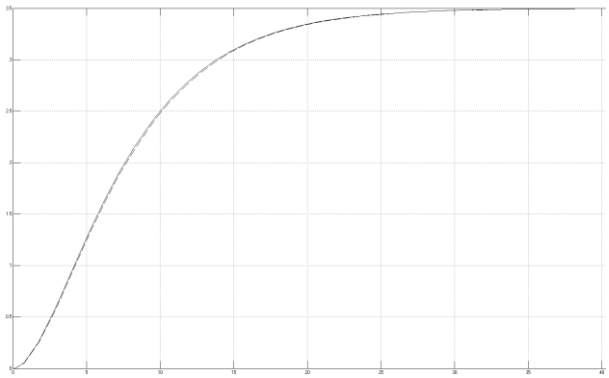
Мысалы: $k = 3.5$ - *тұрақты күй мәні;* $h(t_{0.7}) = 0.7k = 0.7 \cdot 3.5 = 2.45$ *графиктен (сурет 4.5) белгілі болды* $t_{0.7} = 9.7031$ *и* $h_1 = \frac{h(3.234367)}{3.5} = \frac{0.704}{3.5} = 0.201143$; $T_{1/2} = 9.7031\frac{1 \pm 1.228\sqrt{5.13 \cdot 0.201143 - 1}}{2.4} = \begin{bmatrix} 4.93 \\ 3.16 \end{bmatrix}$;

$$W_{oy} = \frac{3.5}{(3.16s+1)(4.93s+1)} = \frac{3.5}{15.56s^2 + 8.086s + 1}.$$



4.5 сурет - Объектінің өтпелі сипаттамасы

Алынған беріліс функциясын бастапқы объектің беріліс функциясымен салыстыру қажет (4.6 сурет).



4.6 сурет - Объектінің және алынған модельдің беріліс функциясын салыстыру

Алынған сипаттамаға кешігу буынын қосу керек $W_{oy} = \dfrac{ke^{-\tau s}}{(T_1 s+1)(T_2 s+1)}$.

3. Объектің жиілік сипаттамаларын тұрғызыңыз: АЖС, ФЖС, АФЖС.

Келесі объект үшін $W_{oy} = \dfrac{ke^{-\tau s}}{(T_1 s+1)(T_2 s+1)^n}$ АЖС, ФЖС и КЖС табу формулалары:

$$A_{oy}(w) = \frac{k}{\sqrt{(T_1 s+1)(T_2 s+1)^n}}$$

$$\varphi_{oy}(w) = -arctg(T_1 w) - arctg(T_2 w) - \tau w$$

$$P_{oy}(w) = A_{oy}(w) \cdot \cos\varphi_{oy}(w)$$

$$Q_{oy}(w) = A_{oy}(w) \cdot \sin\varphi_{oy}(w)$$

4.3 кесте

№ нұсқа	k	T_1	T_2	τ
1	2,0	1,0	0,50	0,10
2	3,0	1,5	0,45	0,15
3	4,0	1,2	0,46	0,11
4	2,5	1,3	0,47	0,12
5	3,5	1,4	0,48	0,13
6	2,7	0,9	0,49	0,14
7	3,7	0,8	0,51	0,09
8	2,2	1,2	0,52	0,08
9	3,2	1,3	0,53	0,10
10	2,8	1,4	0,50	0,15
11	3,4	1,25	0,52	0,08
12	3,2	1,35	0,48	0,05
13	3,3	1,0	0,47	0,06
14	3,6	0,9	0,35	0,12
15	3,7	0,8	0,37	0,13

4.4 Есептің мазмұны

Есепте жұмыстың нәтижелерін мақсатты көрсете отырып, сонымен қатар MS Excel мен Matlab-тағы тапсырмаға сәйкес есептеулер мен графиктерді және үдеткіш сипаттамасын, жеңілдетілген Орман әдісін қолдана отырып, Matlab-тағы 2-ші ретті апериодтық байланыстың өтпелі жауабын, сонымен қатар объектінің жиілігі, фазалық реакциясы және жиіліктік реакциясы құрылысын көрсетіңіз АЖС, ФЖС и КЖСкешігуімен.

4.5 Бақылау сұрақтары

1. Объектінің математикалық сипаттамасын алудың қандай әдістерін білесіз?
2. Объектіні математикалық сипаттауға арналған аналитикалық әдістердің артықшылықтары мен кемшіліктері.
3. Объектілердің динамикалық сипаттамаларын анықтауға арналған эксперименттік әдістерді көрсетіңіз?
4. Үдеу қисығы бойындағы объектілердің динамикалық сипаттамаларын анықтаудың қандай әдістері бар?
5. Matlab-та үдеткіш сипаттамасын құру.
6. 2-ші ретті апериодтық байланыстың өтпелі сипаттамасын құру.
7. Орманстың жеңілдетілген әдісі.
8. Кешігумен объектінің АЖС, ФЖС және КЖС табу.

Зертханалық жұмыс №5. Реттеу жүйесінің тұрақтылығын зерттеу

5.1 Жұмыс мақсаты:

- ПИД-реттегішпен реттеу жүйесінің орнықтылық аймағының шекарасын құру;

- ПИ-реттегішті баптаудың оңтайлы параметрлерін зерттеу және есептеу;

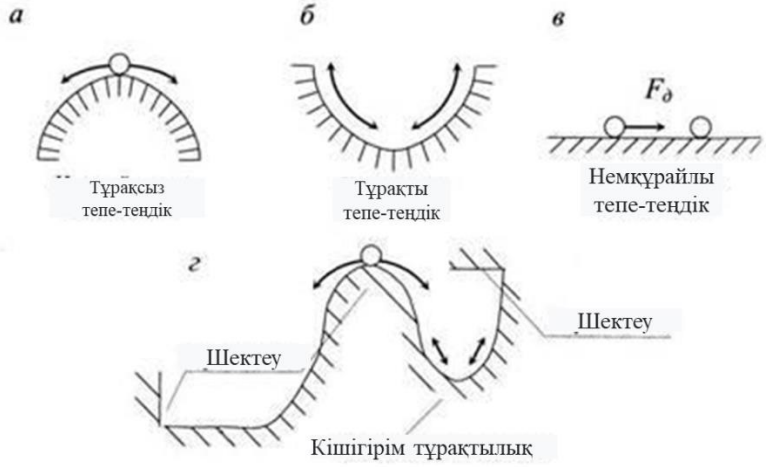
- ПИД-реттегішті баптаудың оңтайлы параметрлерін зерттеу және есептеу.

5.2 Теориялық ақпарат

Автоматты реттеу жүйесінің (АТЖ) негізгі мақсаты реттелетін параметрдің берілген тұрақты мәнін ұстап тұру немесе оны белгілі бір заң бойынша өзгерту болып табылады. Белгілі бір уақытта реттелетін параметр белгілі бір мәннен ауытқыған кезде, жүйеге кедергі келтіретін әсерлердің пайда болуы нәтижесінде немесе реттелетін мәннің берілген мәні өзгерген кезде, автоматты реттегіш жүйеге осы ауытқуды жою үшін әрекет етеді. Жүйеде оның динамикалық қасиеттерімен анықталатын өтпелі процесс пайда болады.

Егер өтпелі кезең аяқталғаннан кейін жүйе қайтадан бастапқы немесе басқа тепе-теңдік күйіне келсе, онда мұндай жүйе тұрақты деп аталады. Егер жүйеде бірдей жағдайларда амплитудасы өсіп келе жатқан тербелістер пайда болса немесе реттелетін шаманың оның берілген тепе-теңдік мәнінен ауытқуының монотонды жоғарылауы болса, онда жүйе тұрақсыз деп аталады.

Жүйенің тұрақты немесе тұрақсыз екенін анықтау үшін оның тепе-теңдік күйінен аз ауытқулары бар мінез-құлқын зерттеу қажет. Егер жүйе тепе-теңдік күйіне оралуға тырысса, онда ол тұрақты болады. Егер жүйеде жүйенің тепе-теңдік күйінен ауытқуын арттыруға тырысатын күштер пайда болса, жүйе тұрақсыз болады.



5.1 сурет - Жүйенің тұрақтылығы

Іс жүзінде есептеулерді жеңілдету үшін АТС тұрақтылығы тұрақтылық критерийлерін қолдана отырып анықталады. Тұрақтылық критерийі-бұл сипаттамалық теңдеудің түбірлерін есептемей жүйенің тұрақтылығын анықтауға мүмкіндік беретін ереже. Сипаттамалық теңдеудің коэффициенттері немесе олардың функциялары қарастырылады. Тұрақтылық критерийлері алгебралық және жиіліктік болып бөлінеді. Алгебралық критерийлерге Гурвиц, Льенар-Шипар және Раус, жиіліктік критерийлерге-Михайлов және Найквист критерийлері кіреді.

Тұрақтылықтың алгебралық өлшемдерінен Гурвиц пен Раус өлшемдері жиі қолданылады. Гурвиц критерийі жүйенің параметрлері белгілі болған кезде үшінші және төртінші ретті жүйелердің тұрақтылығы үшін ыңғайлы. Сонымен қатар, кез – келген параметрдің жүйенің тұрақтылығына әсерін зерттеу үшін аналитикалық өрнек алуға мүмкіндік береді. Егер сипаттамалық теңдеудің коэффициенттері белгілі болса, жоғары деңгейлі жүйелердің тұрақтылығын анықтау үшін Раусс критерийі кеңінен қолданылады. Бұл өлшем ЭЕМ қолдануға ыңғайлы.

Жүйенің жиілік сипаттамаларын жүйенің беріс функциясын немесе жүйенің қозғалыс теңдеулерін білу негізінде ғана анықтауға болмайды. Оларды эксперименттік жолмен де анықтауға болады, бұл үлкен практикалық мәнге ие, өйткені іс жүзінде жүйенің қозғалысын сипаттайтын беріліс функциялары мен теңдеулер әрдайым белгілі бола бермейді.

Тұрақтылықты зерттеу іс жүзінде екі жағдайды қамтиды: коэффициенттердің берілген мәндері үшін АРЖ тұрақтылығын анықтау және оның кейбір параметрлерінің (мысалы, реттеушінің баптау коэффициенттері) АРЖ тұрақтылығына әсерін зерттеу. Бір немесе екі параметрдің рұқсат етілген мәндері басқаларының өзгермейтін мәндерімен анықталады. Соңғы жағдайда тұрақтылық аймағы екі коэффициенттің жазықтығында құрылады, яғни АРЖ тұрақты болып қалатын қарастырылатын коэффициенттердің өзгеру аймағы. Тұрақтылық аймақтарын құру кез-келген тұрақтылық критерийінің көмегімен мүмкін болады.

Іс жүзінде зерттелетін жүйенің тұрақтылығын бағалау үшін әртүрлі тұрақтылық критерийлері қолданылады. Осындай критерийлердің бірі-Найквист критерийі. Автоматты басқарудың тұйық жүйесі (АБЖ) тұрақты болуы үшін мынадай шарттарды сақтау қажет:

- амплитудалық-фазалық жиілік сипаттамасы (АФЖС) ω жиілігі 0-ден ∞ - ге өзгерген кезде -1, j0 координаттары бар нүктені қамтымауы тиіс;

− тұрақсыз ашық АБЖ кезінде АФЖС өзгерген кезде ω -∞ -тен +∞-ке дейін ашық жүйенің сипаттамалық теңдеуінің қанша тамыры тамыр жазықтығының жорамал осінің оң жағында орналасқан, сонша рет *-1, j0* нүктені қамтуы керек

Автоматты басқару жүйелеріне оның тұрақтылығынан басқа да талаптар қойылады. Жүйенің жұмыс істеуі үшін автоматты реттеу процесі белгілі бір сапа көрсеткіштерін қамтамасыз ету кезінде жүзеге асырылуы қажет. Реттеу процесінің сапасына қойылатын талаптар әр жағдайда әр түрлі болуы мүмкін,

бірақ барлық сапа көрсеткіштерінің ішінен барлық дерлік автоматты реттеу жүйелерінің сапасын жеткілікті түрде анықтайтын бірнеше маңызды көрсеткіштерді ажыратуға болады. Жүйені реттеу процесінің сапасы, әдетте, өтпелі функциямен бағаланады.

Сапаның негізгі көрсеткіштері-реттеу уақыты, шамадан тыс реттеу, тербеліс. Сонымен қатар, нақты жағдайларда реттеу сапасына басқа талаптар қойылуы мүмкін, мысалы, реттелетін шаманың өзгеруінің максималды жылдамдығы, оның тербелістерінің негізгі жиілігі және т.б.

Реттеу сапасының негізгі көрсеткіштеріне мыналар жатады:

− реттеу уақыты;

− қайта реттеу;

− тербеліс.

Реттеу уақыты деп реттелетін шаманың Δh(t) ауытқу жүйесіне оның белгіленген мәнінен әсер ету сәтінен бастап берілген ε мәнінен бұрын аз болатын уақыт аталады. Осылайша, реттеу уақыты өтпелі процестің ұзақтығын (жылдамдығын) анықтайды

Қайта реттеу. Реттеу ζ-бұл реттелетін мәннің белгіленген мәннен $h_o = h(\infty)$. пайызбен көрсетілген Δh_{max} максималды ауытқуы . Абсолютті мән Δh_{max} өтпелі қисықтан анықталады: $\Delta h_{max} = h_{max} - h$.

Тиісінше қайта реттеу $\sigma = \frac{h_{max} - h(\infty)}{h(\infty)} 100\%$.

Тербеліс. Жүйенің тербелісі реттеу уақытындағы t_p реттелетін шаманың тербелістер санымен сипатталады. Егер осы уақыт ішінде жүйеде өтпелі процесс берілгеннен аз тербелістер санын жасаса, онда жүйеде тербелісті реттеудің қажетті сапасы бар деп саналады.

5.3 Әдістемелік мысал

5.3.1 ПИД-реттегішпен реттеу жүйесінің орнықтылық аймағының шекарасын құру.

Орнықтылық шекарасында реттеу жүйесін табудың қажетті шарты Найквист өлшемінен табылуы мүмкін. Бұл ретте жүйе орнықтылық шекарасында орналасқан реттеуіштің $k_p^{кр}$ беру коэффициентінің критикалық шамасы мынадай формула бойынша есептелуі мүмкін:

$$k_p^{кр} = \frac{1}{A_{pc}^0(w_{кр})} \tag{5.1}$$

мұндағы A_{pc}^0 - $k_p = 1$ тең болғандағы ашық контурдың АЖС;

$w_{кр}$ - $W_{pc}(iw)$ ашық жүйенің КЖС теріс нақты жартылай осьті қиып өтетін жиілік.

$T_д$ белгіленген мәнмен графоаналитикалық әдіспен жүзеге асыруға болады: $T_и - k_р$ PID реттегішінің параметрлері жазықтығындағы орнықтылық аймағының шекарасын құру:

- $T_и$ кейбір мәнімен КЖС құрылады годограф $W_{рс}{}^0(iw) = -W_{оу}(iw) \cdot W_{рег}{}^0(iw)$;

мұндағы $W_{рег}{}^0(iw)$ - $k_р = 1$ болғандағы КЖС реттегіші;

- $A^0_{рс}(w_{кр})$ КЖС $W_{рс}{}^0(iw)$ теріс нақты жартылай осьті қиып өтетін шама;

- (1) формула арқылы $k_р^{кр}$ анықталады;

- таңдау есептеу процесінде орнықтылық аймағының шекарасының жеткілікті өкілдік бөлігін алуды қамтамасыз ететіндей етіп жасалатын КЖС годографы басқа да $T_и$ мәндері үшін де құрылады;

- $T_д = 0$ болғанда $T_и$ бастапқы мәнін таңдау, мына формуламен анқыталады:

$$T_и = \frac{2}{w_0} \tag{5.2}$$

мұндағы w_0 - объектінің КЖС фазалық ығысуы шамамен -135^0 құрайтын жиілік.

Мысал:

$$\varphi(w_0) = \varphi(2{,}55) = -0{,}31814\,рад = -135°$$

$$T_и = \frac{2}{2{,}55} \approx 0{,}78$$

АЖС и ФЖС ПИД-реттегіші мына формулалармен анықталады:

$$\begin{aligned} A_{рег}(w) &= k_{рег}\sqrt{1 + T_д w - \frac{1}{T_и w}} \\ \varphi_{рег}(w) &= arctg(T_д w - \frac{1}{T_и w}) \end{aligned} \tag{5.3}$$

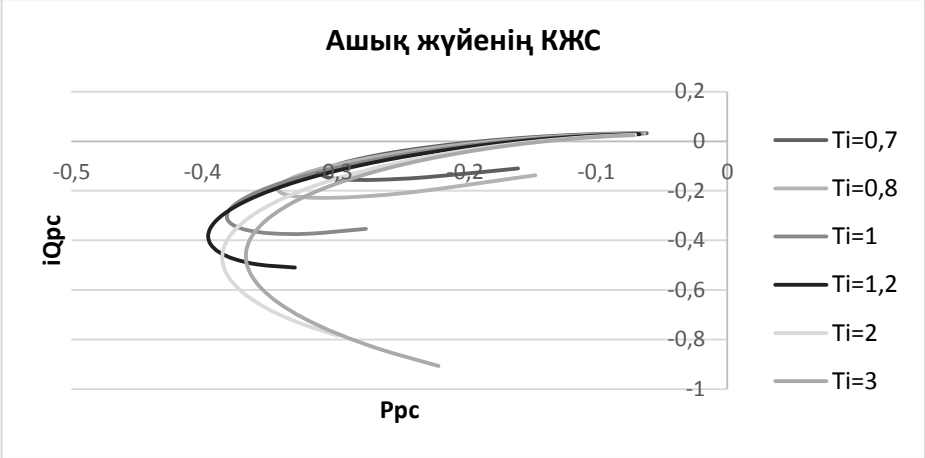
Ашық жүйенің жиілік сипаттамаларын ПИД реттегішімен және объект моделімен есептеу келесі формулалар бойынша жүзеге асырылады:

$$\begin{aligned} A_{рс}(w) &= A_{рег}(w) \cdot A_{об}(w) \\ \varphi_{рс}(w) &= \varphi_{рег}(w) + \varphi_{об}(w) + \pi \end{aligned} \tag{5.4}$$

(КЧХ) КЖС құру үшін ашық жүйенің нақты және жорамал компоненттерін есептеуді анықтау қажет

$$P_{pc}(w) = A_{pc}(w) \cdot \cos(\varphi_{pc}(w))$$
$$Q_{pc}(w) = A_{pc}(w) \cdot \sin(\varphi_{pc}(w)) \qquad (5.5)$$

(КЧХ) КЖС отбасын құру T_u=4 –ке дейін әр түрлі T_u үшін 2-4 тармақтарын қайталау қажет.



5.2 сурет - КЖС ашық жүйесі

$w_{кр}$ анықтамасын 2 жолмен жасауға болады:

- ашық жүйенің СКХ теріс нақты жартылай осьті қиып өтетін жиілік:;

$P_{pc}(w_{кр}) \prec 0$

$Q_{pc}(w_{кр}) = 0$

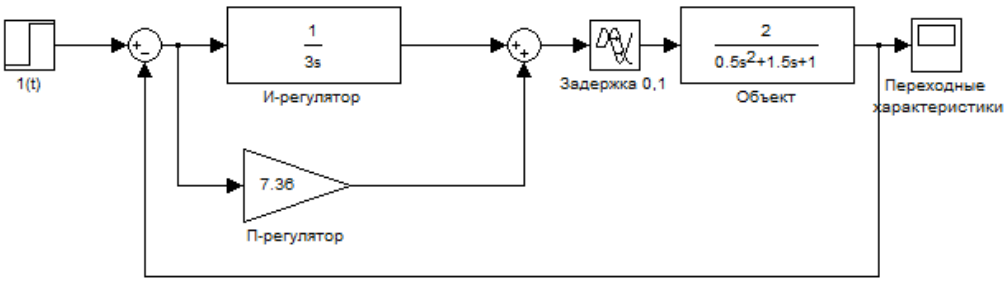
- ашық жүйенің ФЖС жиілігі 0 тең

$\varphi_{pc}(w_{кр}) = \varphi_{рег}(w_{кр}) + \varphi_{об}(w_{кр}) + \pi = 0$;

Жүйе орнықтылық шекарасында орналасқан реттеуіштің $k_p^{кр}$ беру коэффициентінің шамасы (1) формула бойынша айқындалады. Жабық реттеу жүйесінің орнықтылық аймағы-бұл $k_p^{кр}$ ның T_u ға тәуелділік графигі.

5.3 сурет - Тұйық жүйенің орнықтылық аймағы

Тұйық жүйенің орнықтылық аймағын табудың дұрыстығын тексеру үшін әр нүкте үшін объектінің өтпелі сипаттамаларын (өздігінен тербелу) алу қажет.



5.4 сурет - ПИ реттегіші және кідірісі бар тұйық жүйе

5.5 сурет - Өтпелі сипаттама (автотербеліс)

5.3.2 ПИ-реттегішті баптаудың оңтайлы параметрлерін зерттеу және есептеу

Пи реттегішінің оңтайлы параметрлерін анықтау орнықтылықтың қажетті қорын табуды талап етеді. Бұл ретте орнықтылық қоры саласында реттеу жүйесінің жұмыс істеу сапасының қабылданған критерийі қанағаттандырылатын нүктені айқындайды. Әдетте, Пи реттегіштерін орнату кезінде осы критерий максималды қатынасты таңдайды

$$\frac{k_p}{T_u} \to \max \text{, где } M \le M_{доп} \qquad (5.6)$$

Бұл сызықтық интегралдық өлшемнің минимумына немесе төмен жиілікті бұзылулардағы стандартты реттеу қатесінің минимумына сәйкес келеді.

(5) өлшемі бойынша баптау, егер көмекші функцияны есептесек, орнықтылықтың талап етілетін қоры аумағының шекарасын алдын ала құрусыз да алынуы мүмкін:

$$F(w) = -\frac{w}{A_{об}(w)} \cdot \frac{M_{доп}}{M_{доп}^2 - 1}\left[M_{доп} \sin \varphi_{об}(w) + 1\right] \qquad (5.7)$$

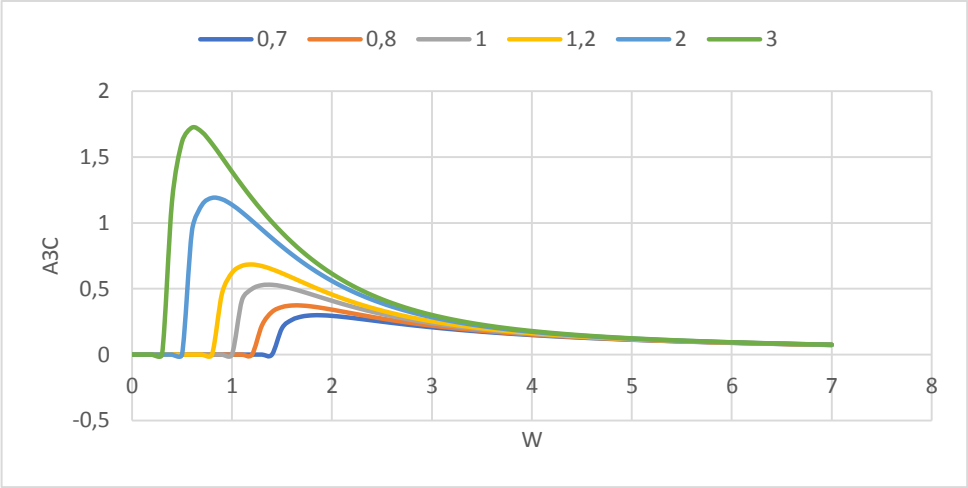
Бұл функцияның максимумы оңтайлы реттелген жүйенің резонанстық жиілігінде орын алады және максималды қатынасқа тең болады.

Табылған мән бойынша берілу коэффициентінің оңтайлы мәнін және тұрақты интеграцияны анықтауға болады:

$$k_p^{опт} = -\frac{M_{доп}^2 \cdot \cos\varphi_{об}(w_{рез})}{\left(M_{доп}^2 - 1\right) \cdot A_{об}(w_{рез})} \quad (7) \qquad T_u^{опт} = \frac{k_p^{опт}}{F_{\max}} \quad (5.8)$$

Көмекші функцияның анықтамасын (6) формулаға сәйкес жүргізу қажет. М тербеліс көрсеткіші-жабық жүйенің амплитудалық-жиіліктік сипаттамасының максималды ординатының бастапқы ординатқа қатынасы:

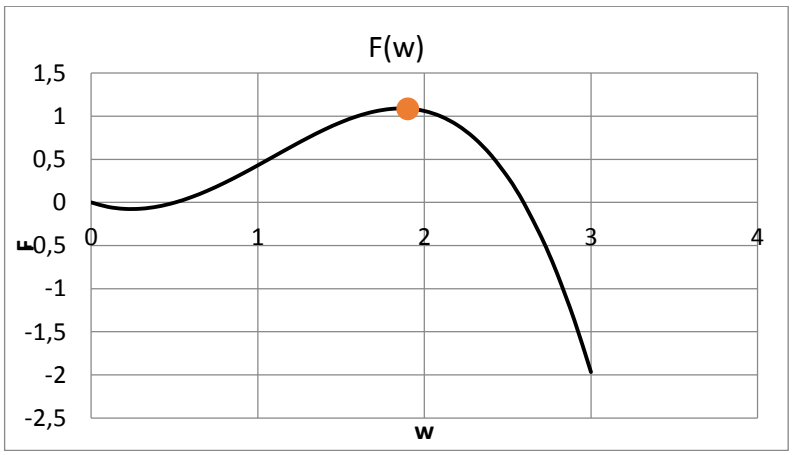
$$M = \frac{A_{зс}^{\max}}{A_{зс}^0}, \text{ мұнда} \qquad A_{зс}(w) = \frac{|W_{рс}(jw)|}{|1 - W_{рс}(jw)|} = \sqrt{\frac{P_{рс}^2(w) + Q_{рс}^2(w)}{\left[1 - P_{рс}(w)\right]^2 + Q_{рс}^2(w)}} \quad (5.9)$$



5.6 сурет - Әртүрлі Ти үшін жабық жүйенің АЖС

М тербеліс көрсеткішін барлық T_u үшін табылып, орташа мәні шығарылуы керек:

$M = 1.4442$. Әрі қарай көмекші функция $F(w)$ анықталады



0.7 сурет - Көмекші функция $F(w)$

Бұл функцияның максимумы $F_{\max} = 1{,}087809$ оңтайлы реттелген жүйенің резонанстық жиілігінде $w_{рез} = 1.9$ орын алады. Резонанстық жиіліктегі объектінің амплитудасы мен фазасы формулаға сәйкес анықталады:

$$A_{оу}(w) = \frac{k}{\sqrt{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)^n}}$$

$$\varphi_{оу}(w) = -arctg(T_1 w) - arctg(T_2 w) - \tau w$$

$$P_{оу}(w) = A_{оу}(w) \cdot \cos\varphi_{оу}(w)$$

$$Q_{оу}(w) = A_{оу}(w) \cdot \sin\varphi_{оу}(w)$$

Оңтайлы мәндер беру және тұрақты интеграция коэффициентінің мәні (5.7) және (5.8) формулалар бойынша анықталады):

$$k_p^{опт} = -\frac{1{,}4442^2 \cdot \cos(-2{,}03608)}{\left(1{,}4442^2 - 1\right) \cdot 0{,}6753} = 1{,}2763$$

$$T_и^{опт} = \frac{1{,}2763}{1{,}087809} = 1{,}1733$$

Тұйықталған жүйенің АЖС құру үшін ((9) формула бойынша есептеледі), АЖс, Пи-реттегіштің ФЖС есептеу қажет:

$$A_{рег}(w) = k_{рег}\sqrt{1 + T_д w - \frac{1}{T_и w}}$$

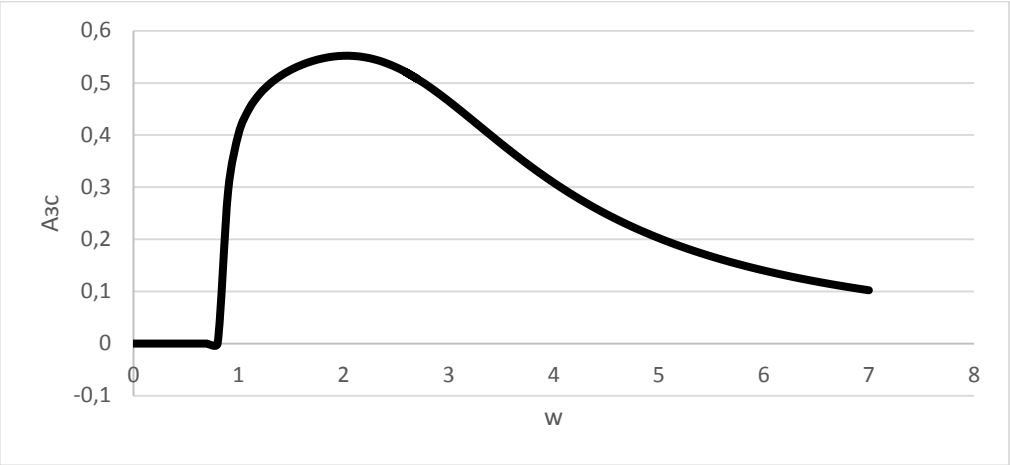
$$\varphi_{рег}(w) = arctg(T_д w - \frac{1}{T_и w})$$

Ашық жүйенің АЖС және ФЖС:

$$A_{рс}(w) = A_{рег}(w) \cdot A_{об}(w)$$
$$\varphi_{рс}(w) = \varphi_{рег}(w) + \varphi_{об}(w) + \pi$$

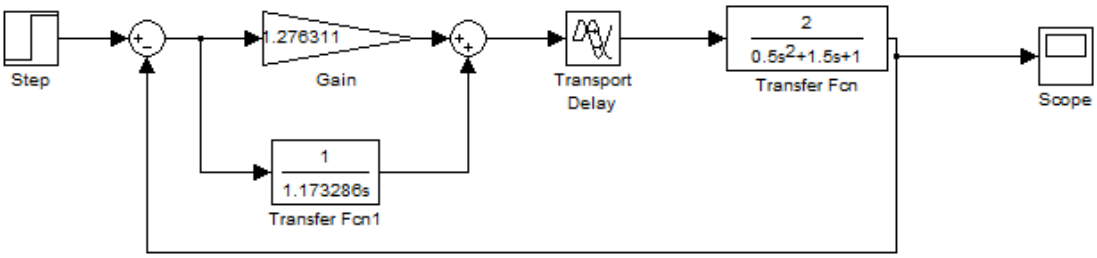
және

$$P_{рс}(w) = A_{рс}(w) \cdot \cos(\varphi_{рс}(w))$$
$$Q_{рс}(w) = A_{рс}(w) \cdot \sin(\varphi_{рс}(w))$$

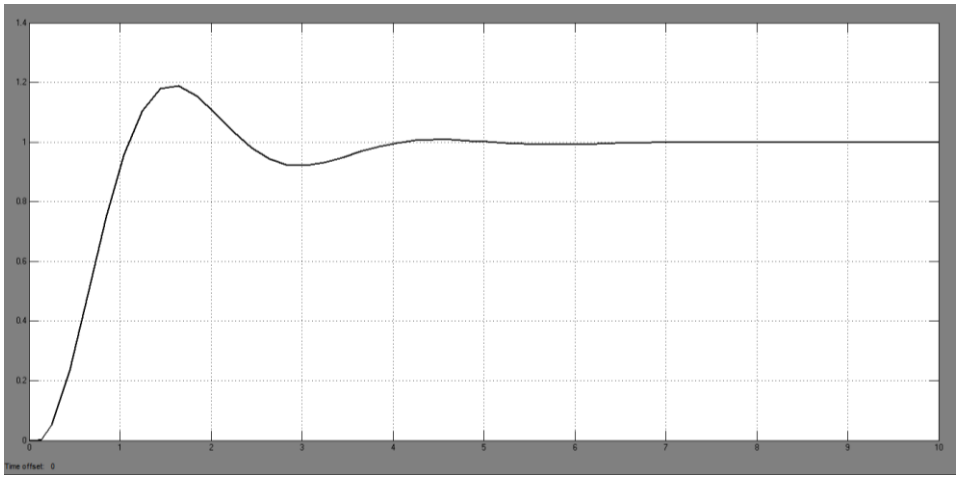


0.8 сурет - ПИ-реттегіші бар тұйықталған жүйенің АЖС

ПИ реттегіші бар тұйық жүйені құру:



5.9 сурет - Пи-реттегіші бар тұйықталған жүйенің сұлбасы



5.10 сурет - Пи реттегіші бар объектінің өтпелі сипаттамасы

5.3.3 ПИД-реттегішті баптаудың оңтайлы параметрлерін зерттеу және есептеу

PID реттегіші бар басқару жүйелерінің ерекшелігі олардың параметрлердің өзгеруіне салыстырмалы түрде жоғары сезімталдығы болып табылады. Сондықтан, мұндай реттегіштерді орнатқан кезде максималды қатынасты $\frac{k_p}{T_u} \to \max$ қосымша шектеу кезінде анықтау керек:

$$\begin{aligned} &\varphi_{рс}(w_{рез}) = \gamma = \arcsin\frac{1}{M} \\ &\varphi'_{рс}(w_{рез}) = 0 \end{aligned} \qquad (5.10)$$

Мұнда өрнекті ауыстыру арқылы біз аламыз: $\varphi_{рс}(w)$:

$$\varphi_{рс}(w_{рез}) = \varphi_{об}(w_{рез}) + arctg(T_д w_{рез} + \frac{1}{T_u w_{рез}}) + \pi = \gamma$$

$$\varphi'_{об}(w_{рез}) + \frac{T_д + \frac{1}{T_u w^2_{рез}}}{1 + \left(\frac{1}{T_u w_{рез}} - T_д w_{рез}\right)^2} = 0 \qquad (5.11)$$

Осы өрнектерден тұрақты дифференциация мен интеграцияны табуға болады:

$$\begin{aligned} &T_u = \frac{2}{w_{рез}\left[a(w_{рез}) - tg\alpha(w_{рез})\right]} \\ &T_д = \frac{1}{2w_{рез}}\left[a(w_{рез}) + tg\alpha(w_{рез})\right] \\ &a(w) = w\varphi'_{об}\left[1 + tg^2\alpha(w)\right] \\ &\alpha(w) = \pi - \gamma + \varphi_{об}(w) \end{aligned} \qquad (5.12)$$

T_u және $T_д$ мен тұжырымдалған талаптың орындалуын қамтамасыз ететін және бірге реттеушінің берілу коэффициентінің мәні формуламен анықталады:

$$k_p = \frac{M_{доп}}{\sqrt{M^2_{доп} - 1} \cdot A^0_{рс}(w_{рез})} \qquad (5.13)$$

$A^0_{рс}(w)$ - ашық жүйедегі АЖС k_p= 1 болғандағы T_u және $T_д$ (5.13) формулалары арқылы табылған шамасы.

Осылайша, оңтайлы параметрді анықтау резонанстық жиілікті анықтауға дейін азаяды, онда k_p, T_u и $T_д$ мәндер максималды қатынас $\frac{k_p}{T_u} \to \max$ береді .

$w_{рез}$ оңтайлы мәнді іздеуді жиіліктен $w = w_\gamma$ бастаған жөн

$$\alpha(w_\gamma) = \pi - \gamma + \varphi_{об}(w_\gamma) = 0 \tag{5.14}$$

онда k_p, T_u и $T_д$ есептелуі керек формулалар (12,13):

$$\begin{aligned} T_д &= -\frac{1}{2}\varphi'_{об}(w_\gamma) = \frac{1}{2}\cdot\frac{T_1}{1+T_1^2 w_\gamma^2} + \frac{T_2}{1+T_2^2 w_\gamma^2} + \tau \\ T_u &= \frac{1}{w_\gamma^2 T_д} \\ k_p &= \frac{M_{доп}}{\sqrt{M_{доп}^2 - 1}\cdot A_{об}(w_\gamma)} \end{aligned} \tag{5.15}$$

Қабылданған объект моделі монотонды жиілік сипаттамаларына ие болғандықтан және ФЖС туындысы үшін оның аналитикалық өрнегі оңай болғандықтан, (14) теңдеуді Ньютон-Рафсон әдісімен шешуге болады. Келесі жақындауды анықтау мына формула w_n бойынша жүргізіледі:

$$w_n = \frac{\varphi_{рс}(w_{n-1})}{\varphi'_{рс}(w_{n-1})} + w_{n-1} = \frac{\varphi_{об}(w_{n-1}) + \pi - \gamma}{-\frac{T_1}{1+T_1^2 w_{n-1}^2} - \frac{T_2}{1+T_2^2 w_{n-1}^2} - \tau} + w_{n-1}$$

Жаңа оңтайлы мәнді $w_{рез}$ тапқаннан кейін (15) формула бойынша оңтайлы мәндер k_p, T_u, $T_д$ анықталады.

Есептеу $w_n - w_{n-1} \le 0.0001$ мән болғанша жүзеге асырылады

Тұйықталған АЖС жүйені құру үшін:

$$A_{зс}(w) = \frac{|W_{рс}(jw)|}{|1 - W_{рс}(jw)|} = \sqrt{\frac{P_{рс}^2(w) + Q_{рс}^2(w)}{[1 - P_{рс}(w)]^2 + Q_{рс}^2(w)}}$$

-АЖС, PID реттегішінің ФЖС есептеу керек;

$$A_{рег}(w) = k_{рег}\sqrt{1 + T_д w - \frac{1}{T_и w}}$$

$$\varphi_{рег}(w) = arctg(T_д w - \frac{1}{T_и w})$$

- ашық жүйенің АЖС және ФЖС;;

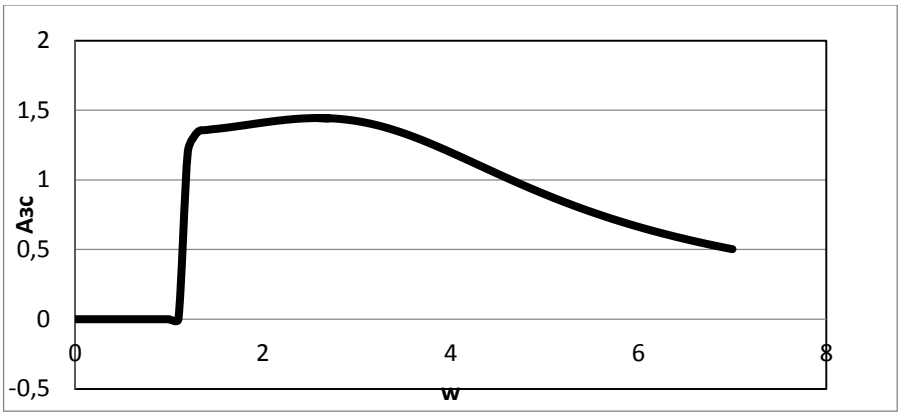
$$A_{рс}(w) = A_{рег}(w) \cdot A_{об}(w)$$

$$\varphi_{рс}(w) = \varphi_{рег}(w) + \varphi_{об}(w) + \pi$$

- ашық жүйенің жорамал және нақты бөлігі:

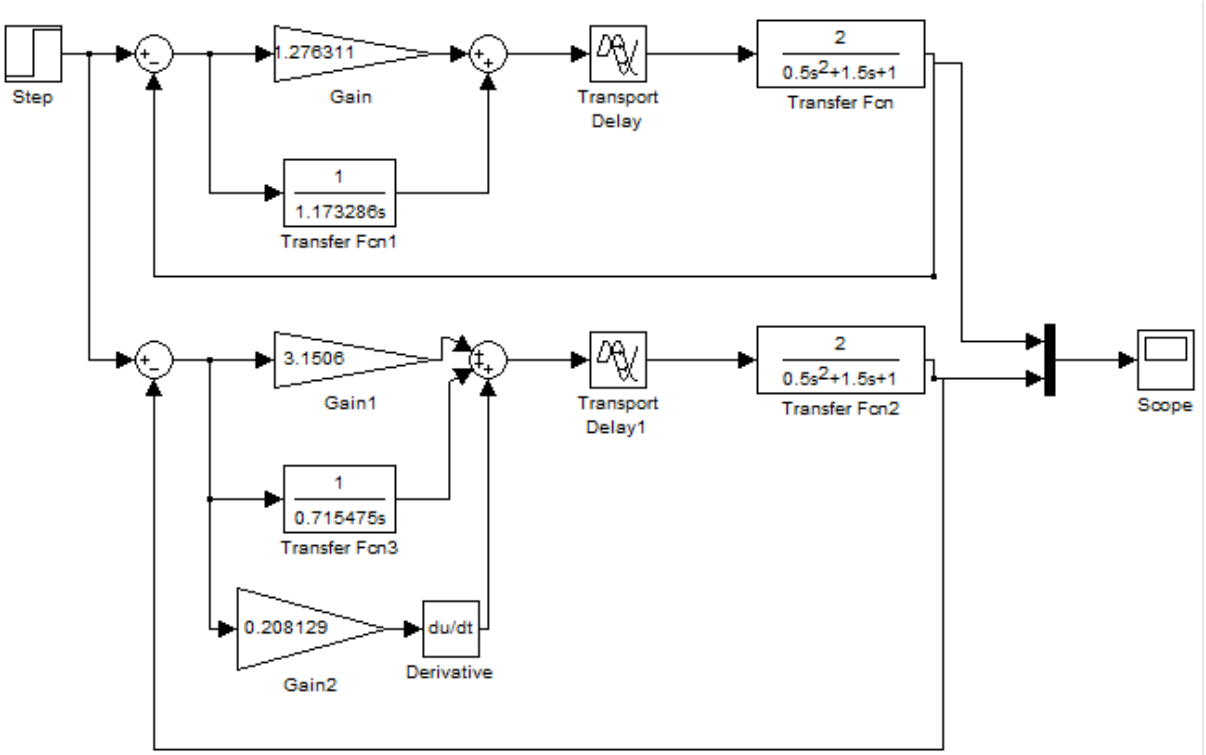
$$P_{рс}(w) = A_{рс}(w) \cdot \cos(\varphi_{рс}(w))$$

$$Q_{рс}(w) = A_{рс}(w) \cdot \sin(\varphi_{рс}(w))$$

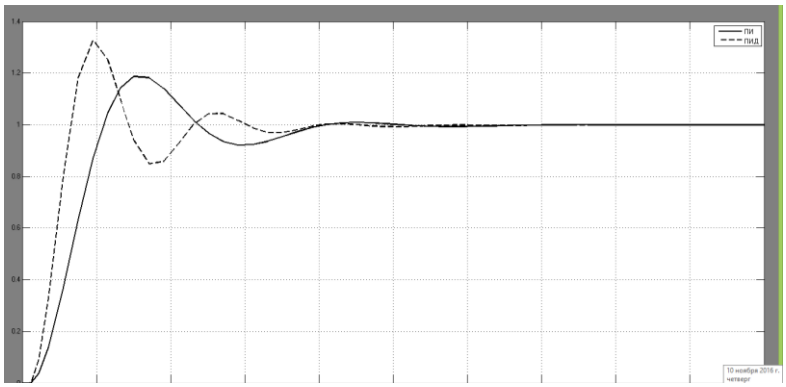


5.11 сурет - ПИД-реттегіші бар тұйықталған жүйенің АЖС

PID реттегішімен тұйық жүйені құру және PI реттегішімен салыстыру



5.12 сурет - ПИ - және ПИД-реттегіші бар тұйық басқару жүйесі



5.13 сурет - PI және PID реттегіші бар объектінің өтпелі сипаттамасы

5.4 Жұмысты орындау тәртібі

ПИД-реттегішпен реттеу жүйесінің орнықтылық аймағының шекарасын құру үшін қажет:

1. ти мәнін таңдау;
2. реттеушінің АЖС және ФЖС анықтаңыз;
3. ашық жүйенің АЖС және ФЖС анықтау;
4. ашық жүйенің КЖС(КЧХ) отбасын алыңыз;
5. wкр анқытау ;
6. жүйе орнықтылық шекарасында орналасқан реттеушінің берілу коэффициентінің мәнін анықтаңыз;
7. Matlab-та салынған жүйені тексеріңіз.

ПИ-реттегішті баптаудың оңтайлы параметрлерін зерттеу және есептеу үшін қажет:

1. F(w) көмекші функциясын құрыңыз және резонанстық жиілікті табыңыз;

2. беріліс коэффициентінің оңтайлы мәнін және тұрақты интеграцияны анықтаңыз;

3. пи реттегішінің табылған параметрлері бар жабық жүйенің АЖС анықтаңыз;

4. Matlab жүйесінде PI реттегішімен жабық жүйені құрыңыз және өтпелі процестің сапалық сипаттамаларына нәтиже беріңіз.

PID реттегішін орнатудың оңтайлы параметрлерін зерттеу және есептеу үшін қажет:

1. резонанстық жиіліктің оңтайлы мәнін анықтаңыз;

2. беріліс коэффициентінің оңтайлы мәнін, тұрақты интеграцияны және дифференциалдауды анықтаңыз;

3. Ньютон-Рафсон әдісімен резонанстық жиіліктің келесі жуықтауын анықтаңыз және жиілік мәні тұрақты болып қалғанша PID реттегішінің параметрлерін есептеңіз;

4. PID контроллерінің табылған параметрлерімен жабық жүйенің АЖС анықтаңыз

5. Matlab жүйесінде PID реттегішімен жабық жүйені құрыңыз, өтпелі процестің сапалық сипаттамаларына нәтиже беріңіз және жабық жүйемен PI реттегішімен салыстырыңыз.

5.1 кесте - Тапсырма нұсқалары

Нұсқа №	k	T_1	T_2	τ
1	2	1	0,5	0,1
2	3	1,5	0,45	0,15
3	4	1,2	0,46	0,11
4	2,5	1,3	0,47	0,12
5	3,5	1,4	0,48	0,13
6	2,7	0,9	0,49	0,14
7	3,7	0,8	0,51	0,09
8	2,2	1,2	0,52	0,08
9	3,2	1,3	0,53	0,1
10	2,8	1,4	0,5	0,15
11	3,4	1,25	0,52	0,08
12	3,2	1,35	0,48	0,05
13	3,3	1	0,47	0,06
14	3,6	0,9	0,35	0,12
15	3,7	0,8	0,37	0,13
16	3,5	0,85	0,45	0,12
17	3,1	0,95	0,46	0,11
18	3,15	0,97	0,48	0,102
19	3,25	0,87	0,49	0,103
20	3,65	0,8	0,5	0,105

5.5 Есеп мазмұны

Есепте жұмыстың орындалу нәтижелері, сонымен қатар MS Excel және Matlab тапсырмаларына сәйкес есептеулер мен графиктер көрсетіледі. Алынған графиктер бойынша қорытындылар: ПИ мен ПИД реттегіш арасындағы сапалық сипаттамалары бойынша айырмашылық айырмашылық, орнықтылық шекарасы, кешігудің басқару жүйесіне әсері, сондай-ақ кешіккен объектінің АЖС, ФЖС және КЖС құрылысы.

5.6 Сұрақтар

1. Найквист өлшемінен орнықтылық шекарасында реттеу жүйесін табудың қажетті шарты
2. Жүйе орнықтылық шекарасында болғанда $k_p^{кр}$ мқалай анықтауға болады?
3. $A_{pc}^0(w_{кр})$ деген не?
4. Бастапқы T_u мәнді қалай таңдауға болады?
5. Ашық жүйенің АЖС және ФЖС
6. ПИД-реттегіштің АЖС және ФЖС
7. Жиіліктің критикалық мәнін қалай анықтауға болады?
8. ПИ-реттегішті баптау кезіндегі реттеу жүйесінің функционалдау сапасының критрерийі.
9. Оңтайлы реттелген жүйенің резонанстық жиілігін қалай анықтауға болады?
10. Қажетті тұрақтылық қорының аймағын алдын-ала жасамай, PI реттегішінің оңтайлы параметрлерін анықтауға бола ма?
11. Тербеліс көрсеткіші дегеніміз не?
12. PID реттегіші бар жүйелердің ерекшелігі.
13. Тұрақты интегралдау және дифференциалдау мәндерін қалай табуға болады?
14. АБЖ сапасының критерийлері.
15. Өтпелі сипаттамасы, сипаттамалық теңдеудің түбірлері бойынша жүйенің жылдамдығын қалай анықтауға болады?
16. өтпелі сипаттамаға, сипаттамалық теңдеудің тамырларына, логарифмдік жиілік сипаттамаларына сәйкес жүйенің тұрақтылық қорын қалай анықтауға болады?

Зертханалық жұмыс №6. AMIGO, АП. Копелович және Зиглер-Никольс әдісімен P, PI, PID реттегішін баптау

6.1 Жұмыстың мақсаты

Типтік сызықтық басқару алгоритмдерін қамтамасыз ететін реттегіштерді қолдана отырып, жабық жүйенің қолайлы динамикалық қасиеттерін қамтамасыз ету.

6.2 Теориялық ақпарат

Технологиялық процестерді тиімді басқару міндеті өнеркәсіптің әртүрлі салаларының кәсіпорындары үшін өзекті проблема болып қала береді. Басқару мәселесінің күрделі проблемасының құрамдас факторларының бірі-технологиялық параметрлерді белгілі бір деңгейде автоматты түрде сақтау. Осы мақсатта кәсіпорындарда PID реттегіштері кеңінен қолданылады [4].

Реттегіштерді бірнеше жолмен орнатуға болады, бұл жүйенің динамикалық параметрлеріне байланысты. Реттеуішті баптау әдістері реттеуіштің параметрлерін аналитикалық түрде анықтауға немесе баптау параметрлерін анықтау алгоритмдерін алуға мүмкіндік береді. Олар басқару жүйесіне тұрақты болуға және берілген мақсатқа жетуге мүмкіндік береді. Бұл әдістер басқарылатын процестер туралы белгілі бір білімді қажет етеді.

Реттеушінің параметрлерін есептемес бұрын, реттеу сапасының мақсаты мен өлшемдерін, сондай-ақ жүйедегі айнымалылардың мөлшері мен өзгеру жылдамдығына шектеулерді тұжырымдау қажет. Дәстүр бойынша, негізгі сапалық көрсеткіштер жабық жүйенің параметрлердің сатылы өзгеруіне реакция формасына қойылатын талаптар негізінде тұжырымдалады. Алайда, мұндай өлшем өте шектеулі. Атап айтқанда, ол өлшеу шуының әлсіреуі немесе сыртқы бұзылулардың әсері туралы ештеңе айтпайды, жүйенің тұрақсыздығы туралы қате түсінік бере алады.

Сондықтан ПИД-реттегіші бар жүйені толық сипаттау немесе тестілеу үшін бірқатар қосымша сапа көрсеткіштері қажет.

Реттеу сапасының өлшемін таңдау реттегіш қолданылатын мақсатқа байланысты болады.

Мұндай мақсат болуы мүмкін:

- параметрдің тұрақты мәнін сақтау (мысалы, температура);
- тағайыншаманы Өзгертуді бақылау немесе бағдарламалық басқару;
- сұйық резервуардағы демпферді басқару және т.б.

PID реттегіштерін орнатудың көптеген әдістері бірінші ретті апериодтық сілтемені басқару объектісі ретінде қолдануға негізделген, сондықтан дәл баптау мен қажетті реттеу сапасын бере алмайды [5, 6]. Бұл жұмыста біз AMIGO, А.П. Копелович және Зиглер–Никольс сияқты баптау әдістерін қарастырамыз.

Заманауи аппараттық және бағдарламалық жасақтаманы қолдана отырып, әртүрлі технологиялық процестерді сипаттайтын нақты беру функцияларына сүйене отырып, PID реттегішін орнатуға болады. Осыған байланысты объектіні басқарудың жоғары тәртібін ұсыну өзекті болып табылады. Бұл жұмыста біз басқару объектісін кешігетін екінші ретті апериодтық буын ретінде ұсынамыз.

AMIGO баптау әдісі басқару жүйелерін практикалық зерттеу және олардың қасиеттерін талдау (өнімділік, тұрақтылық және т.б.) арқылы алынды) [7, 8].

AMIGO әдісімен реттегенде басқару объектісінің беріліс функциясы:

$$W_{об}(s) = \frac{1}{(Ts+1)^2}. \tag{6.1}$$

ПИД реттегішінің берілу функциясы келесідей:

$$W_p(s) = K_c\left[1 + \frac{1}{T_i s} + sT_d\right]. \tag{6.2}$$

AMIGO Әдіс бойынша параметрлерді анықтауға арналған өрнектер:

$$K_c = \left(0{,}2 + 0{,}45\frac{T}{\tau}\right), \tag{6.3}$$

$$T_i = \left(\frac{0{,}4\tau + 0{,}8T}{\tau + 0{,}1T}\right)\tau\,, \tag{6.4}$$

$$T_d = \left(\frac{5\tau T}{0{,}3\tau + T}\right)0{,}1. \tag{6.5}$$

А.П. Копелович әдісі басқару объектісінің берілу функциясын мынадай формада ұсынуға негізделген:

$$W_{об}(s) = \frac{K}{Ts+1}e^{-s\tau} \tag{6.6}$$

статикалық басқару объектілері үшін және:

$$W_{об}(s) = \frac{K}{s}e^{-s\tau} \tag{6.7}$$

астатикалық басқару объектілері үшін.

А.П. Копелович әдісі реттеудің үш оңтайлы процесін алуға мүмкіндік береді: минималды реттеу уақыты бар апериодтық, жиырма пайыздық қайта реттеумен және тапсырмадан минималды стандартты ауытқумен.

Оңтайлы параметрлерді анықтауға арналған тәжірибелер электронды модельдеу қондырғысында және өнеркәсіптік объектілерде жүргізілді. Бұл тәжірибелер [9] келтірілген деректерді нақтылауға және бұрын қарастырылмаған реттеушілер мен процестердің параметрлерін анықтауға мүмкіндік берді.

Апериодтық процесс үшін оңтайлы параметрлердің шамамен мәндерін формулаларға сәйкес есептеуге болады:

$$K_c = \frac{0{,}95}{K_{\text{об}}\,{}^{\tau}/_{T}}; \tag{6.8}$$

$$T_i = 2{,}4\tau \tag{6.9}$$

$$T_d = 0{,}4\tau \tag{6.10}$$

Копелович әдісінің кемшіліктері-жалпы типтегі беріліс функциясын есептеулерде қолдану мүмкін еместігі және өтпелі процестердің шектеулі саны.

Зиглер-Никольс әдісі [10] немесе Өшпейтін тербеліс әдісі беріліс функциясы еркін дәрежелі полиномдармен берілген басқару объектісімен автоматты басқару жүйелерін конфигурациялау үшін қолданылады. Әдіске сәйкес, жүйе тұрақтылық шекарасында орналасқан критикалық беріліс коэффициентінің және критикалық тұрақты уақыттың мәні алдымен анықталады. Әрі қарай параметрлер мәндері 6.1. кестеде келтірілген [11] формулалары бойынша есептеледі.

6.1кесте

Реттегіш	K_c	T_i	T_d
П	${}^{K_{\text{и}}}/_{2}$	-	-
ПИ	${}^{K_{\text{и}}}/_{2,2}$	${}^{T_{\text{и}}}/_{1,2}$	-
ПИД	${}^{K_{\text{и}}}/_{1,7}$	${}^{T_{\text{и}}}/_{2}$	${}^{T_{\text{и}}}/_{8}$

Басқару объекті екінші ретті беру функциясымен ұсынылған:

$$W_{\text{об}}(s) = \frac{1 \cdot e^{-5s}}{(3+1)(s+1)} \tag{6.11}$$

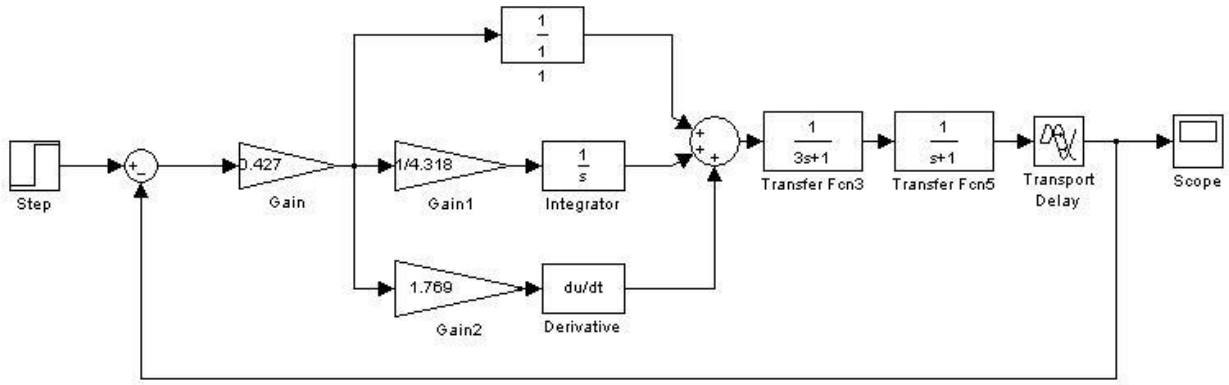
[12] келтірілген әдіс бойынша жуықтағаннан кейін басқару объектісін (6):

$$W_{об}(s) = \frac{0{,}99 \cdot e^{-5{,}64s}}{2{,}85s + 1} \qquad (6.12)$$

мұндағы $K_{об} = 0{,}99\,; T = 2{,}85c;\ \tau = 5{,}64\ c.$

Өтпелі сипаттаманың (6.11) (6.12) жақындау критерийі Өткізу жолағы шегінде объектінің жиілік қасиеттерінің дәл сәйкес келуіне негізделген.

ПИД реттегіші бар басқару жүйесі 6.1 суретте көрсетілген. Есептелген параметрлер мәндерінің мәндері 6.2 кестеде келтірілген. Реттеу сапасы көрсеткіштерінің есептелген мәндері 6.3 кестеде келтірілген.



6.1 сурет - S-екінші ретті объектімен басқару жүйесінің моделі

Осылайша, жұмыста Matlab бағдарламалық ортасында кідіріспен екінші ретті басқару объектісімен автоматты басқару жүйесін модельдеу мысалында AMIGO, а.п. Копелович және Зиглер-Никольс сияқты ПИД контроллерін баптау әдістері қарастырылды. Реттегіш баптауларының мәндерінің есептелген мәндері.

Кесте 6.2

Әдіс	K_c	T_i	T_d
AMIGO	0,432	4,3178	1,7695
Копеловича	0,485	6,84	1,14
Зиглера–Никольса	0,962	7,75	1,938

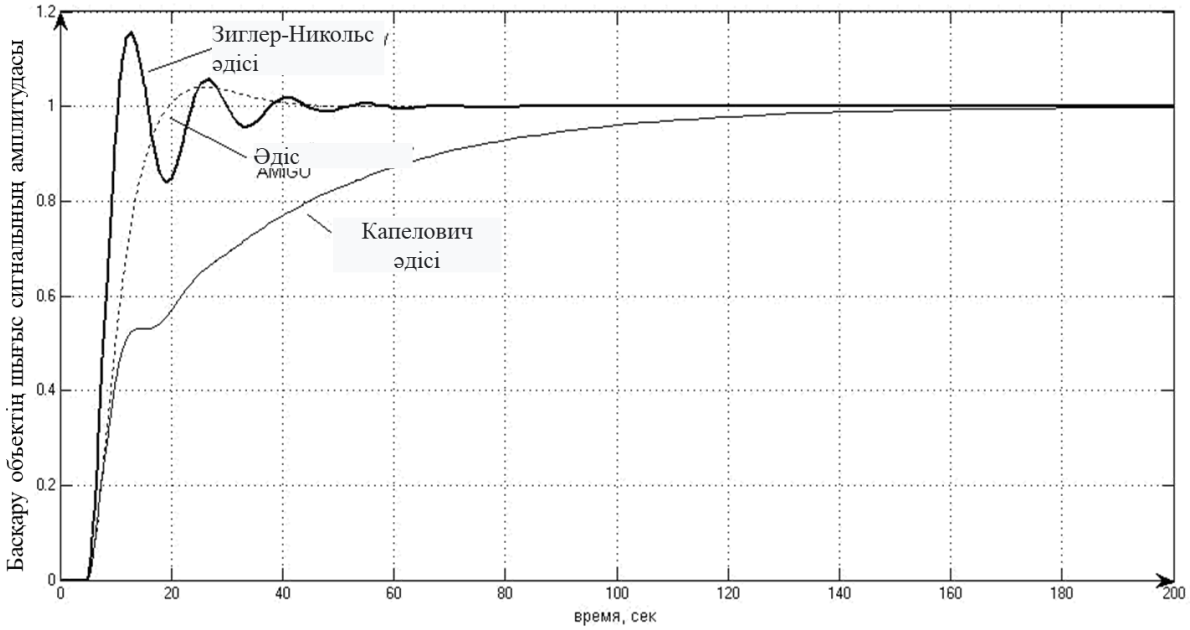
Қарастырылған әдістердің әрқайсысының алгоритмдеріне сәйкес ПИД реттегішінің (Кс, Ti, Td) параметрлері аналитикалық есептелді (кесте 2). Simulink кеңейту пакетінде басқару жүйесінің S моделі жасалды (сурет. 6.1) және жүйенің бір сатылы әсерге реакциясы модельденеді, содан кейін әр әдіс бойынша ПИД реттегішін орнату кезінде өтпелі диаграммалар жасалды (сурет 2).

Өтпелі процестер кестесі бойынша реттеу сапасының көрсеткіштері анықталды (кесте 3) және келесі қорытынды жасады.

Реттеу сапасы көрсеткіштерінің есептелген мәндері.

Кесте 6.3

әдіс	өсу уақыты $t_н$, с	жылдамдығы $t_{уст}$, с	Қайта реттеу %	интегралдық квадратификациялық критерий сапа
AMIGO	19,3	40	4	8,67
Копеловича	200	92	0	8,06
Зиглер-Никольса	14,2	28	15	13,52



6.2 сурет - Жүйенің бір сатылы әсерге реакциясы

Amigo-ны баптау әдісі басқа баптау әдістерімен салыстырғанда жылдамдық пен төмен реттеу уақытына ие. Бұл әдісті кідіріспен жоғары инерциялық объектілердің процестерін, мысалы, қыздыру уақытын белгіленген температураға дейін азайту тұтынылатын электр энергиясын тұтынуды едәуір төмендететін қарсыласу электр пеші сияқты күйге келтіру үшін қолдануға болады.

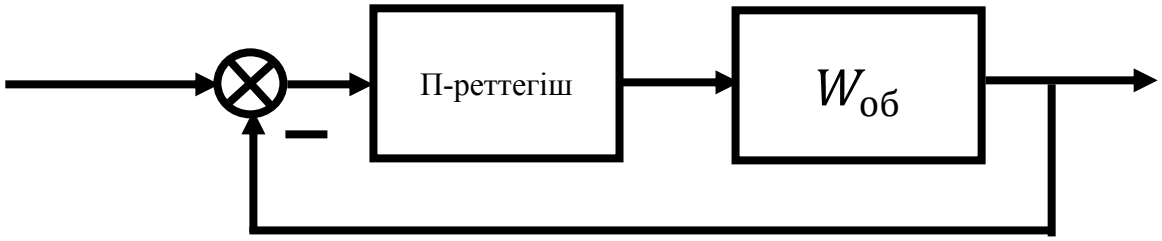
А.П. Копеловичтің баптау әдісі өте төмен жылдамдыққа ие және ешқандай түзету жоқ. Оны өнімділікке қатаң талаптар қойылмайтын процестердің түрлері үшін қолдануға болады.

Зиглер-Никольсті баптау әдісі жүйенің тұрақтылық қорына қойылатын талаптарды ескермейді. Жүйеде өтпелі процестің баяу ыдырауына байланысты бұл әдіс тым аз тұрақтылық береді. Алайда, ол көбінесе параметрлердің бастапқы жуықтауын құру үшін қолданылады, содан кейін оңтайландыру әдістерімен және анық емес ережелермен нақтыланады.

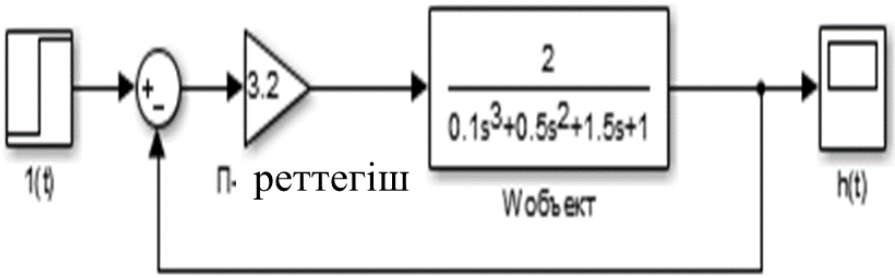
Айта кетейік, мақалада идеалды ПИД реттегішінің моделі қолданылған. Нақты объектілерді орнату үшін [13] қарастырылған модельді пайдалану керек.

6.3 Әдістемелік мысал

Жабық басқару жүйесін құру Matlab-да жүзеге асырылуы керек, ал кіріс сигналы өтпелі сипаттаманы алу үшін сатылы сигнал беруі керек

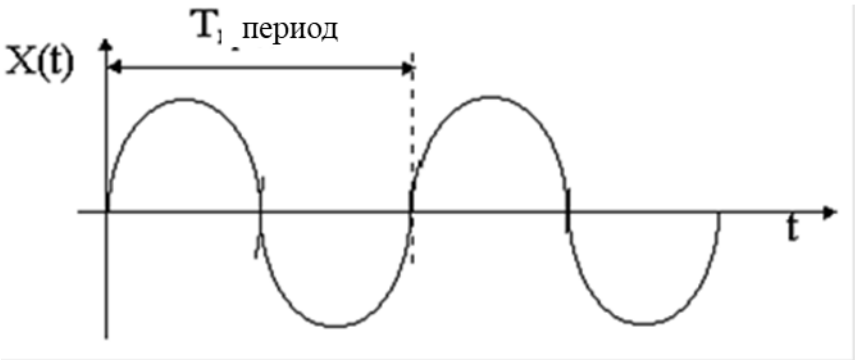


6.2 сурет - П-реттегіші бар тұйық басқару жүйесі

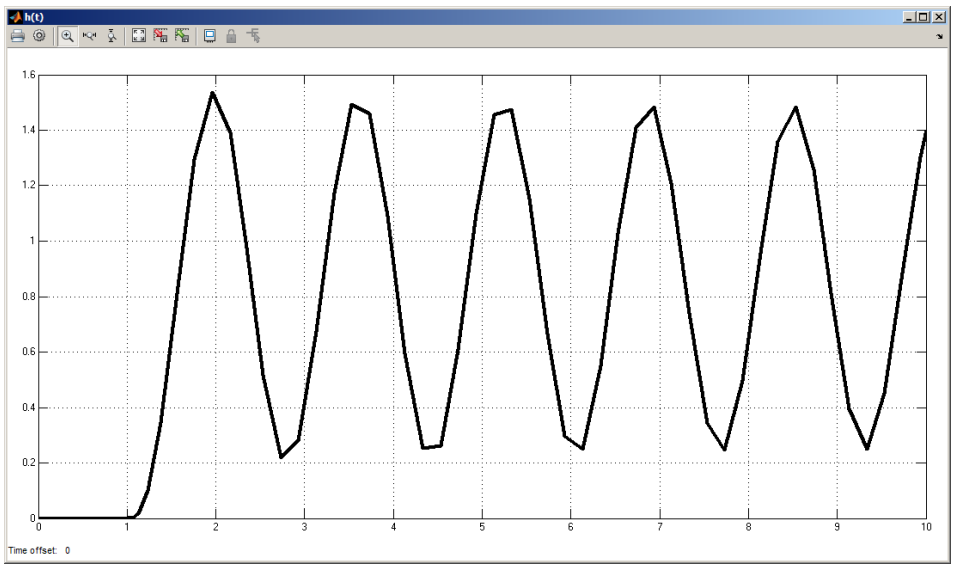


6.3 сурет - Matlab-да П реттегіші бар тұйық жүйе

$T_{период}$ тұрақты тербелістер алу үшін (6.2 сурет.) П-реттегіш коэффициентінің K_1 мәнін өзгерту қажет



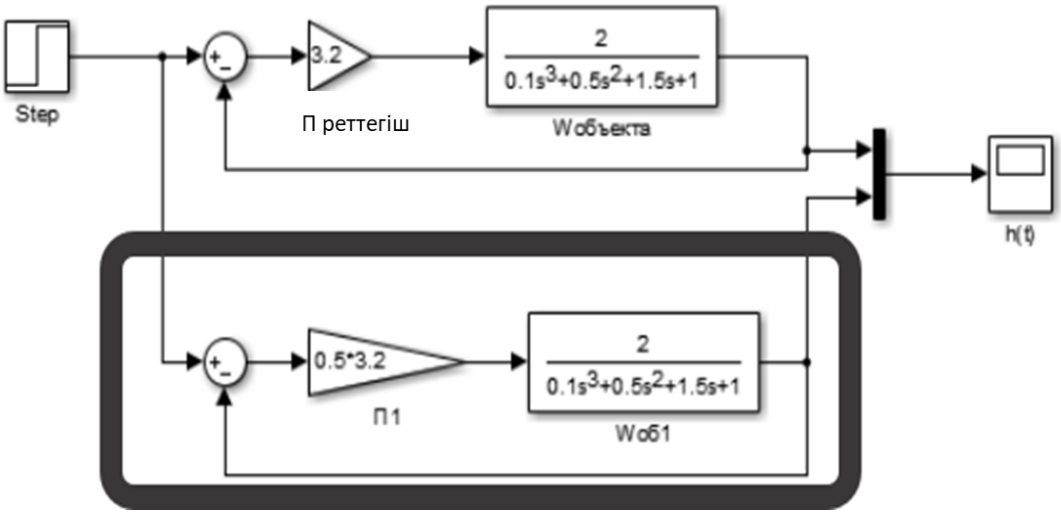
6.4 сурет -$T_{период}$ периодты тұрақты тербелістер



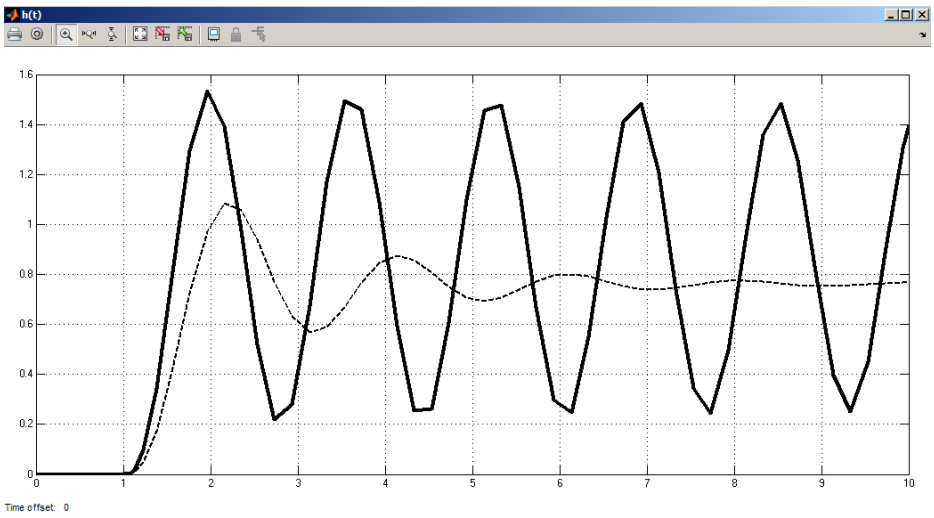
6.5 сурет - Объектінің тұрақты тербелісі

$$K_{1\text{период}} = 3.2, \qquad T_{\text{период}} = 1.625 \text{ с.}$$

П реттегіш үшін: $K_1 = 0.5 \cdot K_{1\ \text{период}}$. Мысал: $K_1 = 0{,}5 \cdot 3.2 = 1.6$



6.6 сурет - П реттегіші бар объект

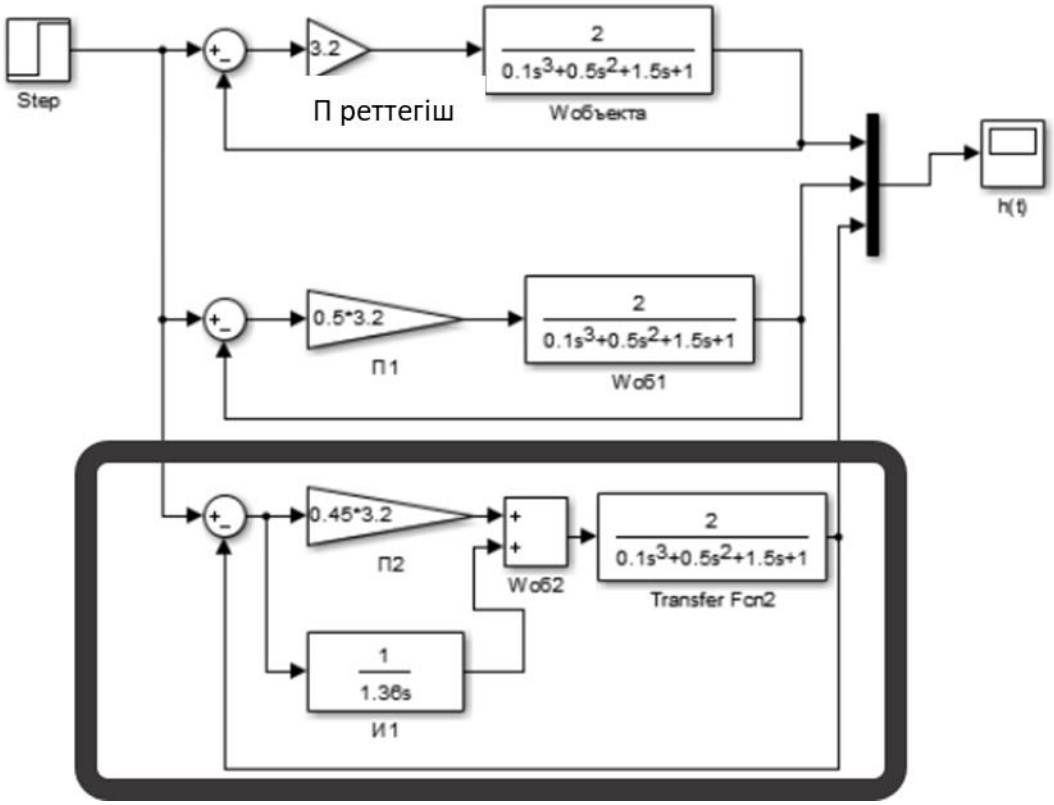


6.7 сурет - П реттегіші бар объектінің өтпелі сипаттамасы

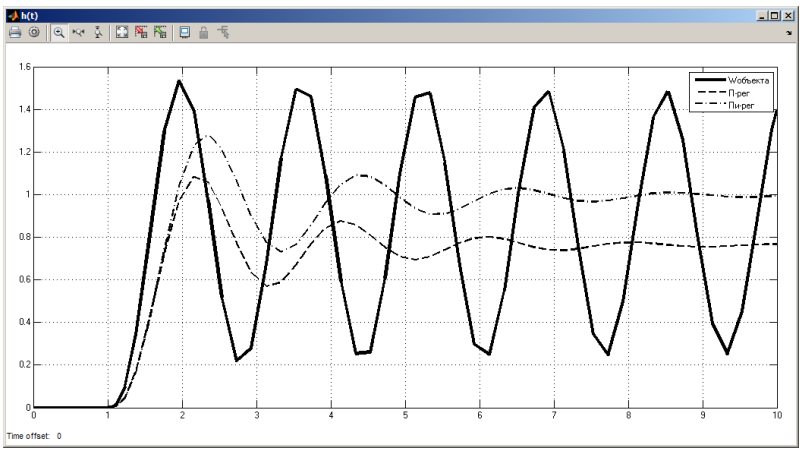
ПИ реттегіші үшін: $K_1 = 0{,}45 \cdot K_{1пред}$, $T_и = \dfrac{T_{пред}}{1{,}2}$. Мысал:

$$K_1 = 0{,}45 \cdot 3.2 = 1.44$$

$$T_и = \frac{1{,}625}{1{,}2} \approx 1{,}36c$$



6.8 сурет - ПИ реттегіші бар объект



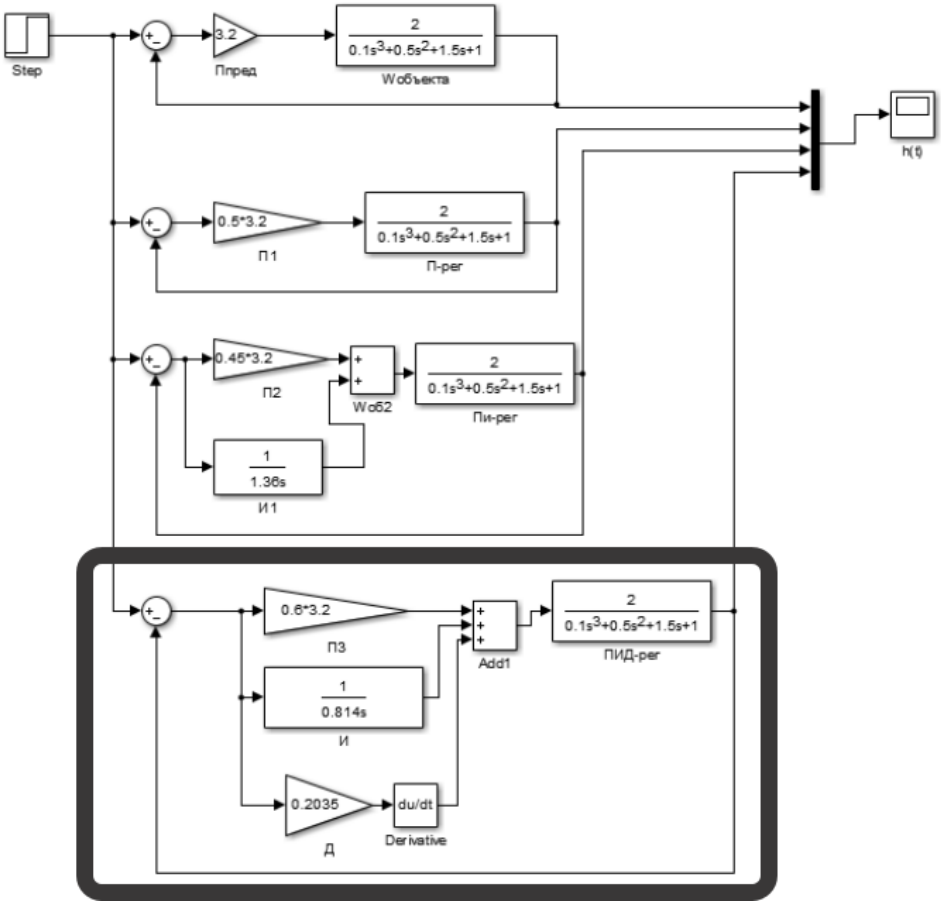
6.9 сурет - П және ПИ реттегіші бар объектінің өтпелі сипаттамасы

ПИД реттегіші үшін: $K_1 = 0{,}6 \cdot K_{1пред}$, $T_и = \dfrac{T_{пред}}{2}$, $T_д = \dfrac{T_{пред}}{8}$. Мысал:

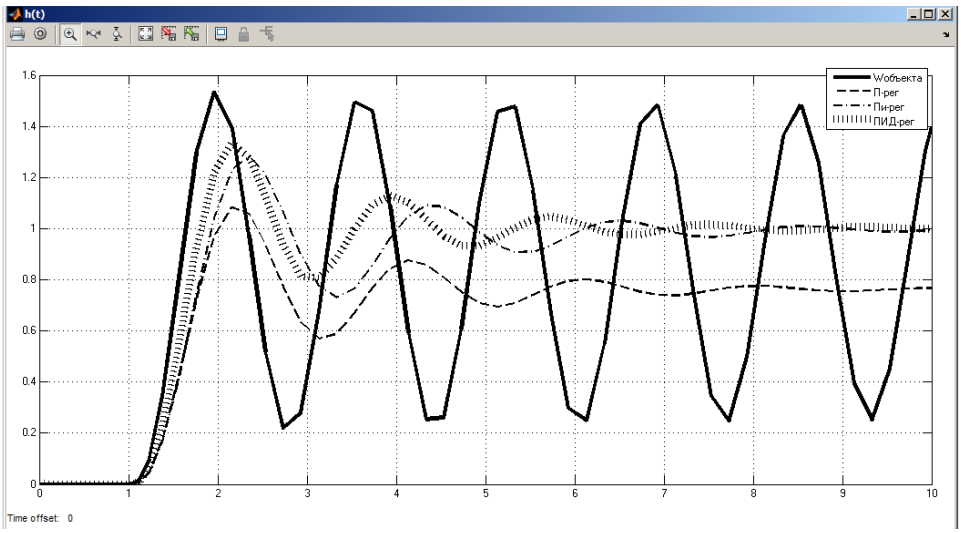
$$K_1 = 0{,}45 \cdot 3.2 = 1.44$$

$$T_и = \frac{1{,}625}{1{,}2} \approx 1{,}36c$$

$$T_д = \frac{1{,}625}{8} = 0{,}2035c$$



6.10 сурет - ПИД реттегіші бар объект



6.11 сурет - П, ПИ және ПИД реттегішімен өтпелі сипаттама

6.4 Жұмысты орындау тәртібі

Зиглер-Никольс әдісімен реттеуіштің П, ПИ, ПИД баптау үшін қажет:

1. П - реттегіш пен басқару объектісін қамтитын жабық басқару жүйесін құрыңыз;

2. $K_{1пред}$ осы коэффициенттің белгілі бір мәнінде $T_{пред}$ жүйеде периодты тұрақты тербелістер орнатылмағанша K_1 реттеушінің пропорционалдылық коэффициенті арттыру;

3. П реттегішінің параметрлерін есептеңіз және орнатыңыз;
4. ПИ реттегішінің параметрлерін есептеңіз және орнатыңыз;
5. ПИД реттегішінің параметрлерін есептеңіз және орнатыңыз.

6.4 кесте - Тапсырма нұсқалары

№	Тапсырма	№	Тапсырма
1	$W_{oy}=\dfrac{2}{0{,}1s^3+0.5s^2+1.5s+1}$	11	$W_{oy}=\dfrac{3{,}05}{0{,}1s^3+0.65s^2+1.45s+1}$
2	$W_{oy}=\dfrac{2}{0{,}2s^3+0.5s^2+1.8s+1}$	12	$W_{oy}=\dfrac{2{,}07}{0{,}12s^3+0.5s^2+1.9s+1}$
3	$W_{oy}=\dfrac{2}{0{,}1s^3+0.6s^2+1.4s+1}$	13	$W_{oy}=\dfrac{2{,}04}{0{,}13s^3+0.61s^2+1.4s+1}$
4	$W_{oy}=\dfrac{2}{0{,}1s^3+0.5s^2+1.5s+1}$	14	$W_{oy}=\dfrac{2{,}65}{0{,}11s^3+0.5s^2+1.15s+1}$
5	$W_{oy}=\dfrac{1.5}{0{,}1s^3+0.4s^2+1.5s+1}$	15	$W_{oy}=\dfrac{1.54}{0{,}1s^3+0.46s^2+1.52s+1}$
6	$W_{oy}=\dfrac{1.8}{0{,}1s^3+0.5s^2+1.7s+1}$	16	$W_{oy}=\dfrac{1.85}{0{,}1s^3+0.53s^2+1.72s+1}$
7	$W_{oy}=\dfrac{1.9}{0{,}2s^3+0.5s^2+1.5s+1}$	17	$W_{oy}=\dfrac{1.59}{0{,}21s^3+0.5s^2+1.35s+1}$

6.4кестенің жоғары

№	Тапсырма	№	Тапсырма
8	$W_{oy} = \frac{1.3}{0{,}3s^3 + 0.5s^2 + 1.4s + 1}$	18	$W_{oy} = \frac{1.39}{0{,}32s^3 + 0.5s^2 + 1.41s + 1}$
9	$W_{oy} = \frac{1.4}{0{,}2s^3 + 0.4s^2 + 1.7s + 1}$	19	$W_{oy} = \frac{1.47}{0{,}27s^3 + 0.4s^2 + 1.7s + 1}$
10	$W_{oy} = \frac{2.5}{0{,}15s^3 + 0.15s^2 + 1.8s + 1}$	20	$W_{oy} = \frac{2.8}{0{,}18s^3 + 0.15s^2 + 1.8s + 1}$

6.5 Есеп мазмұны

Есепте жұмыстың орындалу нәтижелері, сонымен қатар Matlab-тағы тапсырмаға сәйкес есептеулер мен графиктер көрсетілген. Алынған графиктер бойынша қорытындылар: қайта реттеу туралы, өшу шамасы, өздігінен тербелу кезеңі, П-реттеушімен статистикалық қате.

6.6 Сұрақтар

1. Зиглера-Никольс П, ПИ, ПИД реттегіш параметрлері эмпирикалық әдісінің мәні неде?
2. Басқару сапасының көрсеткіштері.
3. Қайта реттеу жүйксінің шамасын қалай табуға болады?
4. Өшетін өтпелі сипаттамаларының шамасы қалай табуға болады?
5. Статистикалық қате дегеніміз не?

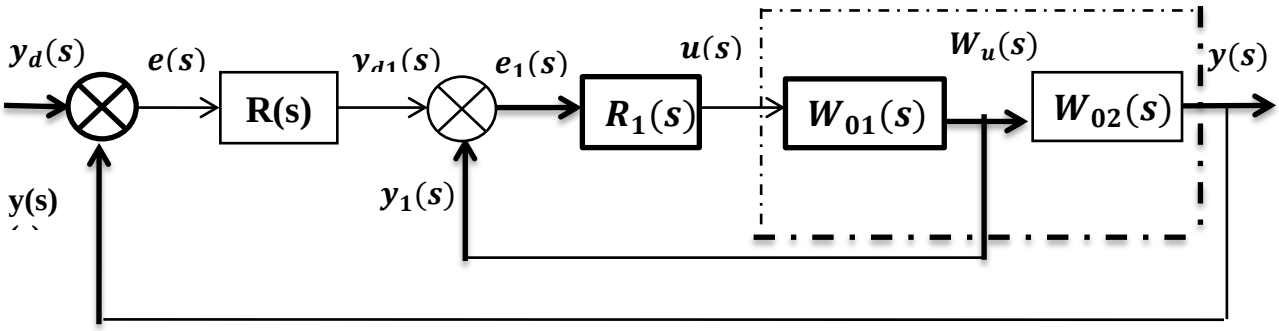
Зертханалық жұмыс №7. Каскадты автоматты басқару жүйелерін есептеу

7.1 Жұмыстың мақсаты: объектінің белгілі беріліс функцияларын қолдана отырып каскадты АСР есептеуді үйрену.

7.2 Теориялық ақпарат

Каскадты жүйелер басқару инерциясы жоғары объектілерді автоматтандыру үшін қолданылады, егер сіз ең қауіпті бұзылуларға қатысты инерциясы аз аралық координатаны таңдай алсаңыз және ол үшін объектінің негізгі шығысы үшін сол басқару әрекетін қолдану.

Каскадты АРЖ екі реттегішті - объектінің негізгі шығуын тұрақтандыруға қызмет ететін негізгі реттегішті у және көмекші координатты y_1реттеуге арналған көмекші реттегішті қосады. Көмекші реттегішке сілтеме - негізгі реттегіштің шығыс сигналы (сурет 7.1).



7.1 сурет -АСР каскадының блок-сұлбасы

Каскадты АРЖ есебі эквивалентті объектілер үшін жүргізіледі. Ол үшін бастапқы блок-сұлба (7.1 сурет) реттегіштердің бірі шартты түрде эквивалентті объектіге қарайтын етіп өзгертіледі.

Реттеу заңдарын таңдау реттегіштердің мақсатымен анықталады: негізгі шығыс координатасын берілген мәнде статикалық қатесіз сақтау үшін, негізгі реттеушінің реттеу заңы ажырамас компонентті қамтуы керек; көмекші реттеушіден ең алдымен оның жылдамдығы талап етіледі, осыған байланысты оның кез-келген реттеу заңы болуы мүмкін (атап айтқанда, пропорционалды қарапайым және жеткілікті тез әрекет ететін).

Бір тізбекті және каскадты АРЖ-ді салыстыру көрсеткендей, АРЖ каскадындағы ішкі цикл жылдамдығының жоғарылауына байланысты, өтпелі процестің сапасы артады, әсіресе басқару каналы арқылы болатын бұзылулардың орнын толтыру кезінде. Негізгі реттегіш 1 үшін эквивалентті объект - тұйықталған қосалқы контур мен негізгі басқару каналының тізбектей қосылуы.

Бірінші қайталану сатысына тәуелділікті ескере отырып, каскадты АРЖ есептеудің екі әдісі қолданады.

1-әдіс. Есеп негізгі реттеушіден басталады. Бұл әдіс қосымша арнаның инерциясы негізгіге қарағанда әлдеқайда аз болған жағдайда қолданылады.

Шамамен есептеулер кезінде олар алғашқы екі қадаммен шектеледі. Дәл есептеулер болған жағдайда, олар екі дәйекті қайталаулардағы реттегіштердің параметрлері көрсетілген дәлдікпен сәйкес келгенге дейін жалғасады.

2-әдіс. Есеп көмекші реттеушіден басталады. Бірінші қадамда сыртқы реттегіш өшіріліп тұр деп алынады.

Бірінші жуықтауда көмекші реттегіштің параметрлері қосымша басқару арнасы үшін бір циклді АРЖ арқылы табылады. Екінші қадамда негізгі реттегіштің параметрлері баламалы объектінің беріліс функциясы ескеріле отырып есептеледі. Көмекші реттегіштің параметрлерін нақтылау үшін есептеу оны ауыстыру функциясының көмегімен жүзеге асырылады. Есептеулер екі дәйекті қайталауларда табылған көмекші реттегіштің параметрлері көрсетілген дәлдікпен сәйкес келгенге дейін жүргізіледі.

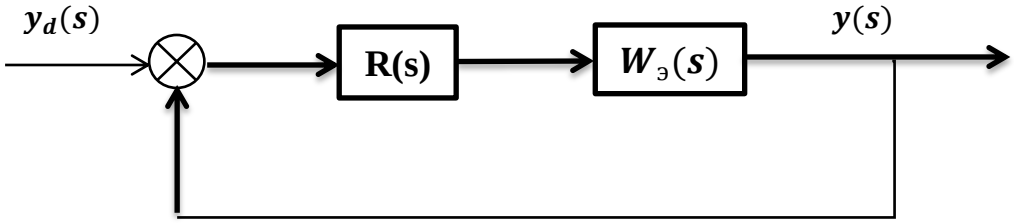
Бірінші әдіс егер қосалқы каналдың инерциясы негізгіге қарағанда әлдеқайда аз болса қолданылады. Арналардың инерциясы кешіктіру уақытының уақыт тұрақтысына қатынасы ретінде анықталады [7, 8].

Есептеу процедурасы келесідей:

1) $W_э(s)$ баламалы реттелетін объектінің беріліс функциясын формула бойынша анықтаңыз:

$$W_э(s) = \frac{y(s)}{y_d(s)} = \frac{W_u(s)}{W_{01}(s)} \tag{7.1}$$

7.2 суретте баламалы басқару объектісі және негізгі реттеушісі бар АРЖ блок-схемасын ұсынады.



7.2 сурет - Эквивалентті басқару объектісі және негізгі реттеушісі бар АСР блок-сұлбасы

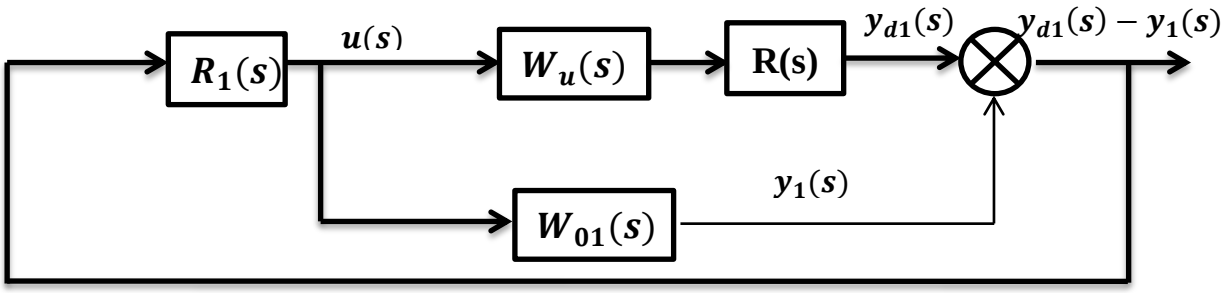
2) $W_э(j\omega)$ баламалы реттелетін объектінің АФЖС құрыңыз: $W_u(j\omega)$ сипаттамасының әр векторын бірдей ω жиіліктегі $W_{01}(j\omega)$ векторына бөліңіз.

3) Графикалық-аналитикалық әдіспен негізгі реттегіштің R(s) оңтайлы параметрлерін анықтаңыз.

4) $R_1(s)$ көмекші реттегіші және $W_{э1}(s)$ баламалы реттелетін объектісі бар бір циклді АРЖ-ді қарастырайық. Эквивалентті қондырғы - бұл қосалқы канал мен негізгі ашық жүйенің параллель байланысы. Эквивалентті реттелетін объектінің беру функциясы формула бойынша анықталады:

$$W_{э1}(s) = W_{01}(s) + Wu(s) \cdot R(s) \tag{7.2}$$

Эквивалентті басқару объектісі және көмекші реттегіші бар АРЖ блок-схемасы 7.3 суретте көрсетілген.



7.3 сурет- Эквивалентті объектісі бар АСР блок-сұлбасы бақылау және көмекші регулятор

5) $W_u(j\omega) \cdot R(j\omega)$ байланысының АФЖС құру. Содан кейін параллелограмм ережесі бойынша және $W_{01}(j\omega)$ және $W_u(j\omega) \cdot R(j\omega)$ векторлары жинақталады.

6) Қосымша реттегіштің оңтайлы параметрлерін анықтаңыз $R_1(s)$ АФЖС $W_{э1}(j\omega)$ құру арқылы.

Екінші әдіс, егер екі каналдың инерциясы салыстырмалы болса қолданылады. Есептеу процедурасы келесідей:

1) $W_{01}(j\omega)$ объектісінің АФЖС-ны қолданып, графикалық-аналитикалық әдіспен көмекші $R_1(s)$ реттегішін табыңыз, басты реттеуші өшірілген деп алынса.

2) $W_{01}(s)$ және $W_u(s), R_1(s)$ бар $W_э(s)$ баламалы объектінің беру функциясын формула бойынша анықтаңыз:

$$W_э(s) = \frac{W_u(s) \cdot R_1(s)}{1 + R_1(s) \cdot W_{01}(s)} \tag{7.3}$$

3) $W_э(j\omega)$ эквивалентті басқару объектісінің АФЖС құра отырып, негізгі реттегіштің $R(s)$ дің оңтайлы параметрлерін анықтау.

7.3 Әдістемелік мысал

Объектің негізгі және көмекші каналдар бойымен беріліс функциялары тең:

$$\begin{cases} W_{об}(s) = \frac{0,5}{4s+1} e^{-4s} \\ W_{об1}(s) = \frac{1}{1,2s+1} e^{-0,4s} \end{cases} \tag{7.4}$$

Бір тізбекті АРЖ есептеу үшін Циглер-Никольс әдісін қолданамыз.

Алдымен, негізгі реттегіштің параметрлерін жуықтап анықтайық. Ол үшін эквивалентті объектінің беру функциясын табамыз:

$$W_{\text{экв}}(s) = \frac{0{,}5(1.2s+1)}{4s+1} e^{-3{,}6s}$$

және оның жиіліктік сипаттамалары:

$$W_{\text{экв}}(j\omega) = A_{\text{экв}}(\omega) e^{-j\varphi_{\text{экв}}(\omega)}$$

$$A_{\text{экв}}(\omega) = 0{,}5\sqrt{\frac{1{,}2^2\omega^2+1}{4^2\omega^2+1}}$$

$$\varphi_{\text{экв}}(\omega) = -3{,}6\omega - argtg1{,}2\omega - argtg4\omega$$

Реттегіштің критикалық параметрін және критикалық жиілікті теңдеулер жүйесінен табамыз:

$$\left.\begin{array}{l} A_{\text{экв}}(m,\omega)C_1 = 1 \\ \varphi_{\text{экв}}(m,\omega) = -\pi \end{array}\right\} \Longrightarrow C_{1\text{кр}} = \frac{1}{A_{\text{экв}}(m,\omega_{\text{кр}})}. \qquad (7.5)$$

ПИ-ретегіштің жұмыс параметрлері тең қабылданады:

$$\mathrm{C}_1 = 2.23. \text{ және } \mathrm{C}_0 = 0.31.$$

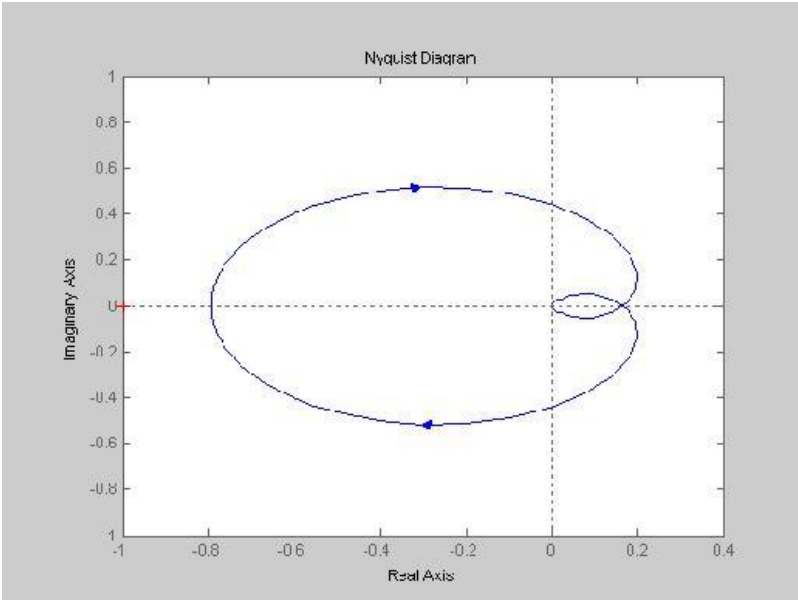
2. Сол сияқты, біз қосалқы регулятордің параметрлерін жуықтап есептейміз.

3. Реттегіштің параметрлерін нақтылау MatLab көмегімен жүзеге асырылады. Ол үшін біз (1) беру функциясы бар LTI объектісін құрамыз, оған көмекші реттегіштің беріліс функциясын алмастырамыз. Эквивалентті объектінің жиіліктік сипаттамаларын графикалық түрде табамыз. Ол үшін nyquist пәрменін қолданып, ФЖС годографын құрамыз және критикалық жиілікті және сәйкес АЖС мәнін анықтаймыз (7.4 сурет).

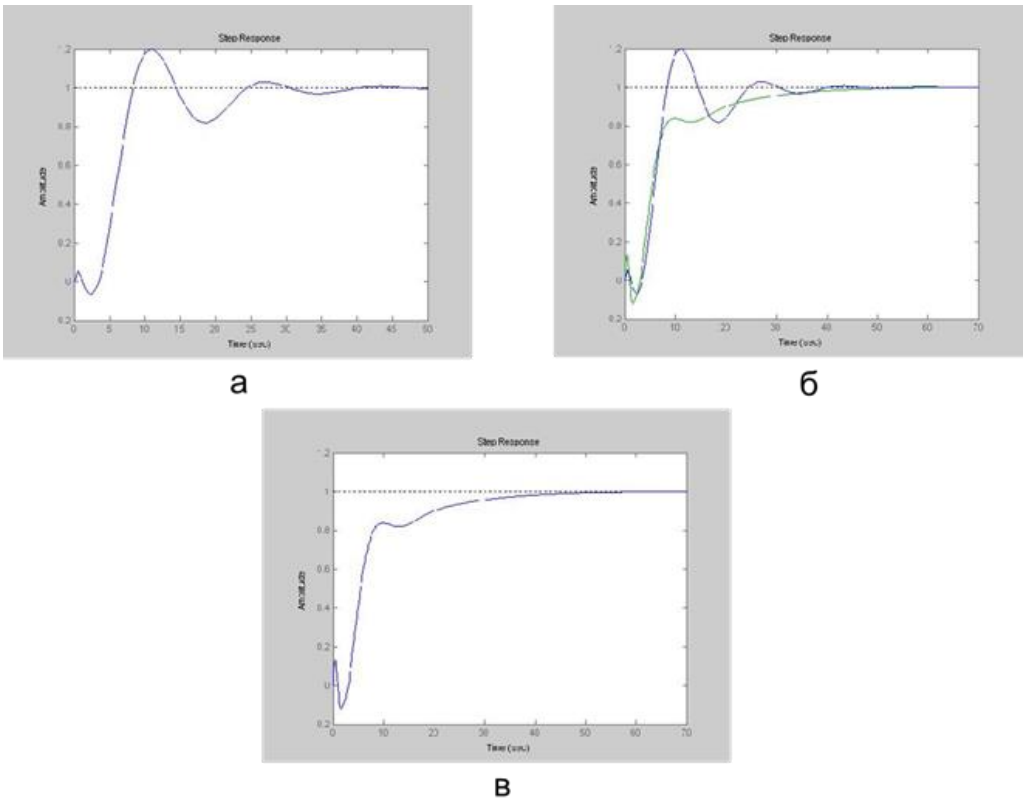
Критикалық жиілік годографтың теріс нақты жарты оспен қиылысу нүктесіне сәйкес келеді. Осыдан кейін біз PI реттегішінің баптау параметрлерін нақтылаймыз.

4. Сол сияқты, біз қосалқы P-регулятордің параметрін нақтылаймыз.

5. Өтпелі процестер, сонымен қатар, қадам командасын қолдана отырып, MatLab көмегімен құрылады.



7.4 сурет - Эквивалентті объектке арналған AFC Hodograph



а- бір тізбекті АРЖ-де; б - АРЖ каскадында; в - бір тізбекті және каскадты АРЖ салыстырмалы өтпелі реакциясы

7.5 сурет - Өтпелі процестердің графиктері

7.4 Жұмыстың орындалу тәртібі

Бұл тапсырмада АРЖ каскадының ПИ-регуляторы үшін оңтайлы параметрлерді анықтау қажет. Негізгі $W_u(s)$ мен қосалқы $W_{01}(s)$ басқару каналдары үшін беріліс функциялары белгілі және олардың түрлері келесідей:

$$W_u(s) = \frac{k_0}{T_0 \cdot s + 1} \cdot e^{-\tau_0 s} \quad W_{01}(s) = \frac{k_{01}}{T_{01} \cdot s + 1} \cdot e^{-\tau_{01} s} \tag{7.6}$$

Есептің қойылымы: каскадты жүйелер басқару арнасы бойында үлкен инерциясы бар объектілерді автоматтандыру үшін қолданылады, егер сіз ең қауіпті бұзылуларға қатысты инерциясы аз аралық координатаны таңдай алсаңыз және ол үшін объектінің негізгі шығысындағыдай басқару әрекетін қолдансаңыз.

Қажет: негізгі және көмекші каналдардағы объектінің берілген динамикалық сипаттамалары үшін негізгі және көмекші реттегіштердің параметрлерін анықтау.

Зертханалық жұмыс келесі ретпен орындалады:

1. Эквивалентті қондырғының беріліс функциясын пайдаланып, негізгі PI контроллерінің шамамен параметрлерін есептеңіз.

2. Эквивалентті қондырғының беріліс функциясын қолдана отырып, көмекші Р-контроллердің шамамен параметрлерін есептеңіз.

3. Эквивалентті объектілердің беру функцияларын қолдана отырып, негізгі және көмекші реттегіштердің параметрлерін нақтылаңыз.

4. Бір контурлы және каскадты АРЖ-нің қосалқы (негізгі контроллері өшірілген) және негізгі координаттарының өтпелі процестерінің графиктерін құрыңыз.

Параметрлер 7.1 кестеде келтірілген.

7.1 кесте

Тапсырма	0	1	2	3
$W_u(s)$	$\frac{0,5 \cdot e^{-5,5s}}{4s+1}$	$\frac{2}{2s+1}$	$\frac{2 \cdot e^{-2,5s}}{2s+1}$	$\frac{2,5 \cdot e^{-1,5s}}{1,5s+1}$
$W_{01}(s)$	$\frac{2}{2s+1}$	$\frac{6}{4s+1}$	$\frac{4 \cdot e^{-3,5s}}{15s+1}$	$\frac{0,5}{2s+1}$
Сурет	7.6	7.6	7.6	7.6

7.1 кестенің жалғасы

Тапсырма	4	5	6	7

$W_u(s)$	$\frac{10 \cdot e^{-2,1s}}{s+1}$	$\frac{4 \cdot e^{-2s}}{5s+1}$	$\frac{10 \cdot e^{-6,5s}}{4s+1}$	$\frac{4,5 \cdot e^{-0,1s}}{0,1s+1}$
$W_{01}(s)$	$\frac{4,2 \cdot e^{-2,5s}}{12s+1}$	$\frac{2 \cdot e^{-4s}}{10s+1}$	$\frac{2 \cdot e^{-1,2s}}{14s+1}$	$\frac{0,5 \cdot e^{-1,1s}}{15s+1}$
Сурет	7.6	7.7	7.7	7.7

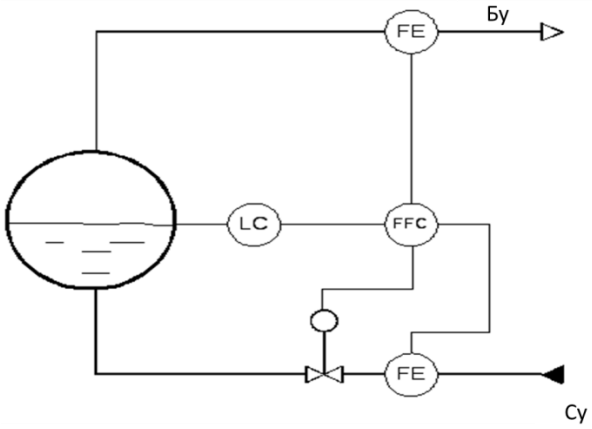
Тапсырма	8	9
$W_u(s)$	$\frac{2 \cdot e^{-2,5s}}{2s+1}$	$\frac{1,4 \cdot e^{-3,5s}}{4s+1}$
$W_{01}(s)$	$\frac{0,4 \cdot e^{-2,2s}}{24s+1}$	$\frac{0,5 \cdot e^{-0,4s}}{12,5s+1}$
Сурет	7.7	7.7

7.5 Есептің мазмұны

Есептің мақсаты, ал тапсырма бойынша нұсқа, есептеулер және Matlab-тағы тапсырмаға сәйкес графиктер, сонымен қатар қорытындылар болуы керек.

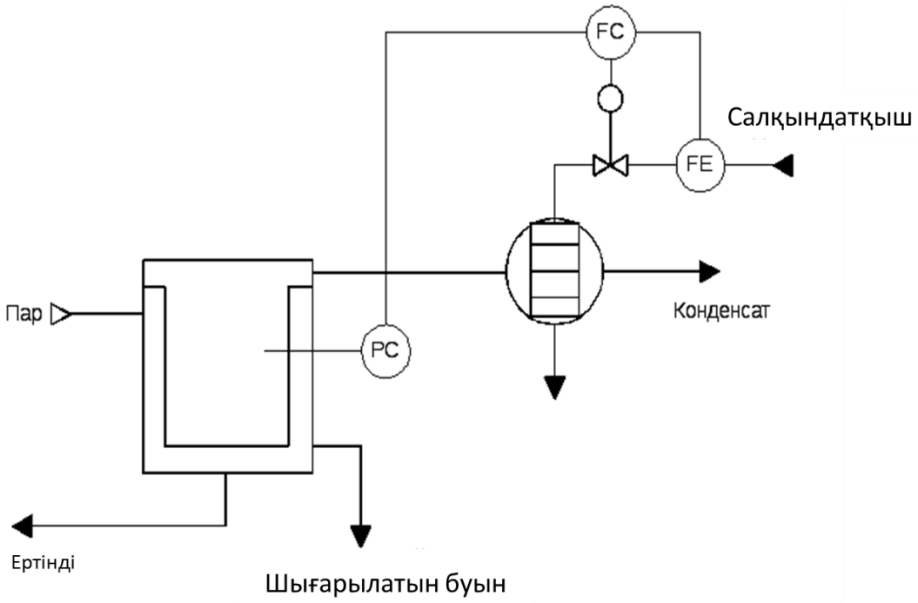
7.6 Сұрақтар

1. АСР каскадының жұмыс принципін тұжырымдаңыз.
2. Әдеттегі химиялық технология қондырғысы үшін каскадты АСР мысалын келтіріңіз.
3. Каскадты есеп айырысу жүйелерін есептеу қалай жүзеге асырылады?
4. Эквивалентті объектінің құрылымдық схемасына мысал келтіріңіз.
5. Реттегіштің параметрлерін жуықтап есептеу үшін баламалы объектілердің қандай формулалары қолданылады?
6. АСР каскадын қолданудың орындылығы туралы қорытынды жасаңыз.



7.6 сурет - Бу қазандығы қондырғысы деңгейіндегі каскадты АРЖ

7.6 сурет деңгей реттегіші ағындық қатынас реттегішіне сілтемені реттейді.



7.7 сурет - Буландырғыш қысымына арналған каскадты АСР

7.7 сурет қысым реттегіші салқындатқыш ағынының конденсаторға реттегішіне сілтемені реттейді.

Зертханалық жұмыс №8. Аралас автоматты басқару жүйесін есептеу

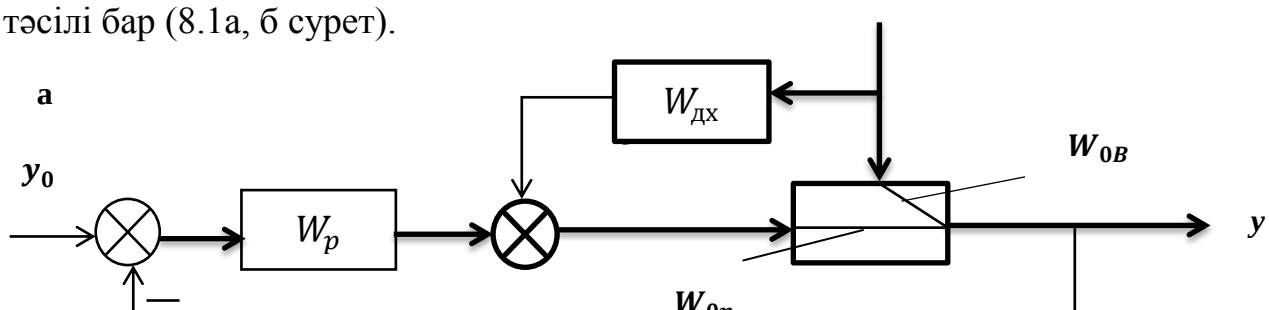
8.1 Жұмыстың мақсаты: аралас автоматты басқару жүйесін есептеуді үйрену.

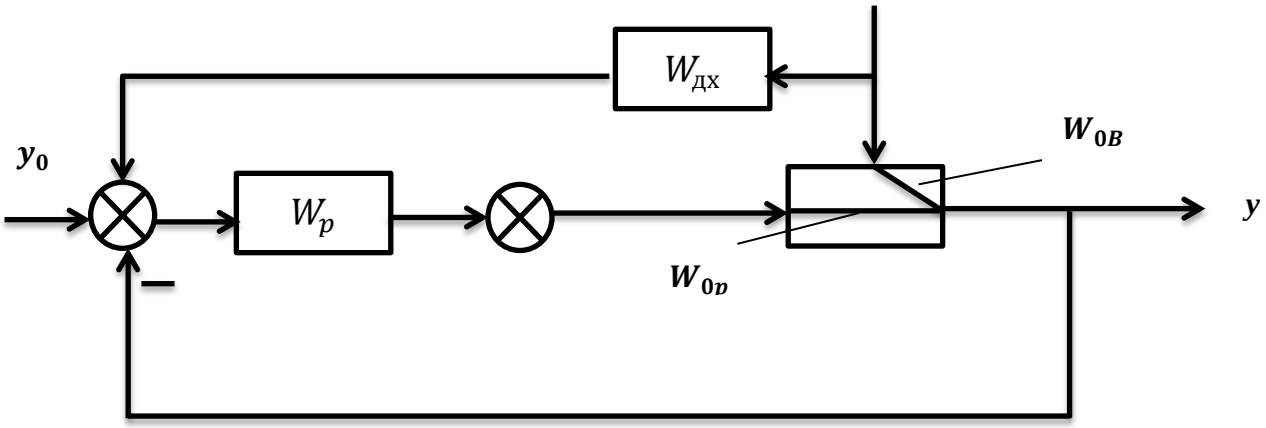
- Бір тізбекті АРЖ-нен аралас автоматты реттеу жүйесіне қосымша түзету импульсімен ауыстыру;
- Реттегіштің параметрлерін есептеңіз;
- Динамикалық компенсатордың беріліс функциясын алыңыз.

8.2 Теориялық ақпарат

Стандартты заңдарды қолдана отырып, қарапайым бір циклді жүйеде реттеудің қанағаттанарлық сапасы объектінің қолайлы динамикалық сипаттамаларымен ғана қамтамасыз етілуі мүмкін.

Алайда, химиялық технологиялық қондырғылардың көпшілігі айтарлықтай кешігу режимімен және процесстің ұзақ уақыттық тұрақтылығымен сипатталады. Мұндай жағдайларда реттегіштің оптиалды параметрлері болған жағдайда да, бір циклді АСР үлкен динамикалық қателіктермен, реттелудің төмен жиілігімен және ұзақ өтпелі процестермен сипатталады. Аралас басқару жүйелері басқарылатын бұзылуларға ұшыраған объектілерді автоматтандыру кезінде қолданылады. Аралас АРЖ құрудың екі тәсілі бар (8.1а, б сурет).





а - компенсатордың шығуын объектінің кірісіне қосқан кезде; b - компенсаторды реттегіштің кірісіне қосқан кезде

8.1 сурет - Аралас АРЖ блок-сұлбасы

Басқарудың екі сұлбасында да ортақ белгілер бар: объектінің шығыс координатасына әсер етудің екі арнасының болуы және екі басқару циклін пайдалану – тұйық (реттегіш арқылы) және ашық (компенсатор арқылы). Жалғыз айырмашылық мынада, екінші жағдайда компенсатордан түзететін импульс объектінің кірісіне емес, реттеушінің кірісіне түседі.

Мұндай жүйелерді есептеудің негізі инварианттық принципі болып табылады: жүйенің шығатын координатасының берілген мәннен ауытқуы кез-келген қондырғы немесе алаңдаушылық әсер етуі үшін бірдей нөлге тең болуы керек. Араласқан АРЖ үшін инварианттық шартты шығарайық. Компенсатордан сигнал объектінің кірісіне берілген жағдайда (сурет 8.1.а), араласқан АРЖ блок-схемасы ашық цикл жүйесі мен жабық контурдың тізбектей қосылуына айналады (сурет 8.2.а), олардың беріліс функциялары келесіге тең:

$$W_{pc}(s) = W_{oB}(s) - W_p(s)W_{op}(s),\ W_{эс}(s) = \frac{1}{1-W_{op}(s)W_p(s)}, \quad (8.1)$$

Бұл жағдайда инварианттық шарт келесі түрде жазылады:

$$y(s) = f(s) \cdot W_{pc}(s) \cdot W_{эс}(s). \qquad (8.2)$$

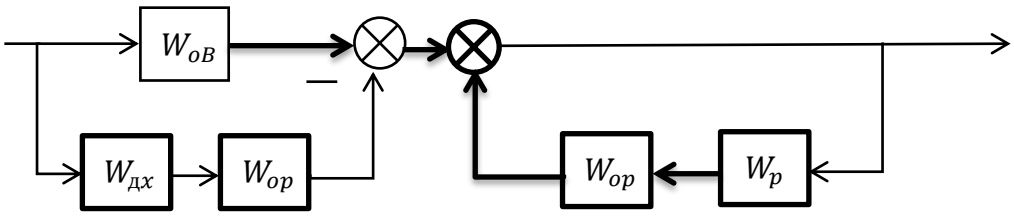
Егер бұл жағдайда $y(s) \neq 0$ и $W_{эс}(s) \neq 0$, онда келесі шарт орындалу керек:

$$W_{pc}(s) = W_{oB}(s) - W_p(s) \cdot W_{op}(s) = 0, \text{ осыдан } W_{\partial k}(s) = \frac{W_{oB}(s)}{W_{op}(s)}.$$

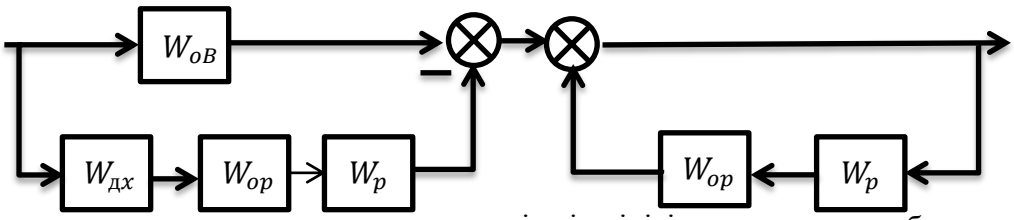
Динамикалық компенсатордың беріліс функциясы компенсатордан сигнал реттегіштің кірісіне берілген жағдайда келесідей анықталады (8.2 б сурет):

$$W_{\partial k}(s) = \frac{W_{oB}(s)}{W_{op}(s) \cdot W_p(s)}. \qquad (8.3)$$

а



б



а - компенсатордың шығуын реттегіштің кірісіне қосқан кезде; б - реттегіштің шығуын объектінің шығысына қосу кезінде.

8.2 сурет - Біріктірілген АСР-нің трансформацияланған блок-сұлбасы

Аралас басқару жүйесін құру кезінде туындайтын негізгі мәселелердің бірі - компенсатордың орындылығы.

«Идеал» компенсатор екі жағдайда физикалық тұрғыдан жүзеге аспайды.

1. Егер басқару каналындағы таза кідіріс уақыты бұзылу арнасына қарағанда көп болса: $\tau_{0р} > \tau_{оВ}$.

Бұл жағдайда идеалды компенсаторда жетекші сілтеме болуы керек.

2. Егер компенсатордың беріліс функциясындағы алымындағы көпмүшенің дәрежесі бөлгіштегі бөліміндегі дәрежесінен үлкен болса. Бұл жағдайда компенсатор идеалды дифференциалды буынмен қамтылуы керек.

1. Бұзушылық және реттеу арналары бойындағы объектінің динамикалық сипаттамалары келесі беріліс функциялары арқылы сипатталады:

$$W_{\text{оВ}}(s) = \frac{0.5e^{-1.52s}}{1.1s+1};\ W_{op}(s) = \frac{e^{-1.42s}}{s+1}. \qquad (8.4)$$

Аралас АРЖ П-реттегішінің беріліс функциясы $W_p(s) = C_1$.

Реттегіштің параметрлерін Циглера-Никольс теңдеулер жүйесінен анықтайды:

$$\left.\begin{array}{l} A_{\text{об}}(m,\omega)C_1 = 1 \\ \varphi_{\text{об}}(m,\omega) = -\pi \end{array}\right\} \Rightarrow C_{1\text{кр}} = \frac{1}{A_{\text{об}}(m,\omega_{\text{кр}})}. \qquad (8.5)$$

Бұл реттегіштің критикалық параметрі, онда тұйық контурды басқару жүйесі тұрақтылық шегінде болады. Жұмыс жиілігі $\omega_{\text{р}}$шамамен критикалық $\omega_{\text{кр}}$-ге тең, ал реттеушінің оңтайлы параметрі $\text{C}_1 = 0{,}5\ \text{C}_{1\text{кр}}$. -ге тең.

Компенсатордың беріліс функциясы аралас АРЖ таңдалған схемасына сәйкес (1) немесе (2) формулалармен анықталады. Мысалы, суретте көрсетілген схема үшін. 8.1а, компенсатордың беріліс функциясы:

$$W_{\partial k}(s) = 0.5\frac{s+1}{1.1s+1}e^{-0.1s}. \qquad (8.6)$$

Мұндай компенсаторда алдын ала анықтайтын буындар болмағандықтан және алымының көпмүшесінің дәрежесі бөлімінің көпмүшенің дәрежесінен аспайтындықтан, идеалды компенсатор физикалық тұрғыдан жүзеге асырылады.

Нақты компенсаторды таңдау үшін $[0,\omega_p]$ жиілік диапазонында идеалды компенсатордың жиіліктік сипаттамаларын құрамыз:

$$A_{\partial k}(\omega) = 0.5\sqrt{\frac{\omega^2+1}{1.21\omega^2+1}};$$
$$\varphi_{\partial k}(\omega) = -0.1\omega + argtg\omega - argtg1.1\omega \qquad (8.7)$$

АЖС және ФЖС мәндерін $\omega = 0$ және $\omega = \omega_p$ жиілікте анықтаймыз.

АФЖ годографының алынған бөлімі типі бойынша қай буынды нақты динамикалық компенсатор ретінде пайдалануға болатындығын анықтаймыз, содан кейін осы буынның параметрлерін анықтаймыз.

4. MatLab жүйесінде біз П-реттегіші бар бір циклді АРЖ үшін өтпелі процестер құрамыз. Содан кейін оған динамикалық компенсаторы бар ашық басқару циклін қосыңыз. Ол үшін тапсырмаға байланысты біз 8.2 суретте көрсетілген екі схеманың бірін жүзеге асырамыз. Бұл келесі командаларды қолданады:

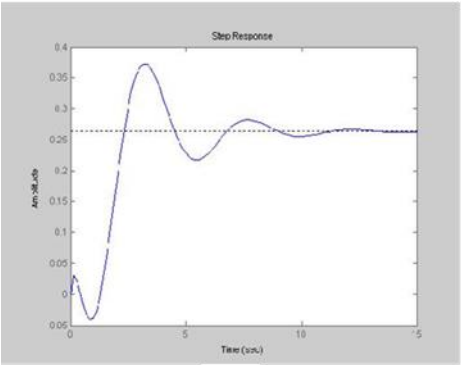
Екі буынды беріліс функциялары W_1 және W_2 тең тізбектей қосамыз: W3=series(w1,w2).

Екі буынды беріліс функциялары W_1 және W_2тең параллель қосамыз W3=parallel(w1,w2).

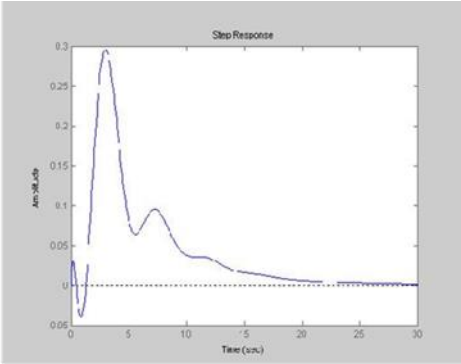
Беріліс функциясы W_1 буынды беріліс функциясы W_2 тең буынмен кері байласпен жалғастырамыз:

W3=feedback(w1,w2).

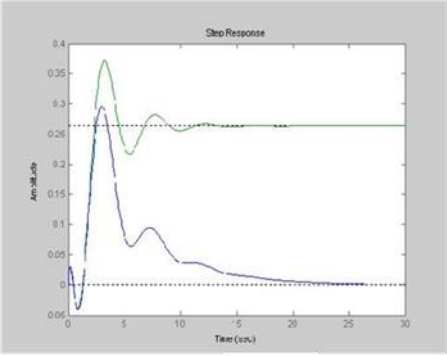
5. Алынған графиктер 8.3 суретте көрсетілген, 8.3 а суретте динамикалық компенсаторы жоқ жабық жүйеде өтпелі процестің графигі көрсетілген. Ал 8.3 б - динамикалық компенсатормен және 8.3 в суретте - екі жағдайдың да өтпелі процестері көрсетілген.



а)



б)



в)

а - динамикалық компенсаторсыз; б - динамикалық компенсатормен; в - екі жағдай үшін де

8.2 сурет - Тұйық жүйедегі өтпелі процестер

8.3 Жұмыстың орындалу тәртібі

Зертханалық жұмыс келесі ретпен орындалады:

1. Реттегіштің параметрлерін есептеңіз және бір контурлы басқару жүйесіндегі жұмыс жиілігін анықтаңыз;

2. Идеал компенсатордың беріліс функциясын өзгермейтін жағдайдан шығарыңыз және оның орындылығын талдаңыз;

3. Нақты компенсаторды таңдап, оның параметрлерін жүйе үшін ең маңызды жиілік диапазонындағы жуық инварианттық жағдайынан анықтаңыз;

4. Бір циклді АРЖ-де және бұзылуға қосымша импульсі бар жүйеде өтпелі процестерді құру;

5. Алынған өтпелі процестерді бір-бірімен салыстырыңыз.

8.4 Жұмыс нұсқалары

1. $\begin{cases} W_{op}(s) = \frac{1}{0{,}7s+1} e^{-1{,}48s} \\ W_{oB}(s) = \frac{0{,}57}{0{,}76s+1} e^{-1{,}54s} \end{cases}$ 2 $\begin{cases} W_{op}(s) = \frac{1}{s+1} e^{-1{,}42s} \\ W_{oB}(s) = \frac{0{,}57}{1{,}1s+1} e^{-1{,}56s} \end{cases}$

3. $\begin{cases} W_{op}(s) = \frac{1}{0{,}9s+1} e^{-1{,}43s} \\ W_{oB}(s) = \frac{0{,}55}{s+1} e^{-1{,}53s} \end{cases}$ 4. $\begin{cases} W_{op}(s) = \frac{1}{0{,}8s+1} e^{-s} \\ W_{oB}(s) = \frac{1}{s+1} e^{-1{,}1s} \end{cases}$

5. $\begin{cases} W_{op}(s) = \frac{1}{s+1} e^{-1{,}3s} \\ W_{oB}(s) = \frac{1}{s+1} e^{-1{,}4s} \end{cases}$ 6. $\begin{cases} W_{op}(s) = \frac{1}{+1} e^{-1{,}4s} \\ W_{oB}(s) = \frac{1}{1{,}1s+1} e^{-1{,}5s} \end{cases}$

7. $\begin{cases} W_{op}(s) = \frac{1}{095s+1} e^{-1{,}2s} \\ W_{oB}(s) = \frac{0{,}57}{s+1} e^{-1{,}3s} \end{cases}$ 8. $\begin{cases} W_{op}(s) = \frac{1}{s+1} e^{-1{,}35s} \\ W_{oB}(s) = \frac{0{,}57}{1{,}05s+1} e^{-1{,}44s} \end{cases}$

9. $\begin{cases} W_{op}(s) = \frac{1}{s+1} e^{-1{,}45s} \\ W_{oB}(s) = \frac{0{,}5}{1{,}1s+1} e^{-1{,}6s} \end{cases}$ 10. $\begin{cases} W_{op}(s) = \frac{1}{s+1} e^{-1{,}4s} \\ W_{oB}(s) = \frac{0{,}56}{1{,}1s+1} e^{-1{,}5s} \end{cases}$

11. $\begin{cases} W_{op}(s) = \frac{1}{s+1} e^{-1{,}42s} \\ W_{oB}(s) = \frac{0{,}5}{1{,}2s+1} e^{-1{,}53s} \end{cases}$ 12. $\begin{cases} W_{op}(s) = \frac{1}{s+1} e^{-1{,}48s} \\ W_{oB}(s) = \frac{0{,}55}{1{,}05s+1} e^{-1{,}55s} \end{cases}$

13. $\begin{cases} W_{op}(s) = \frac{1}{0{,}8s+1} e^{-1{,}4s} \\ W_{oB}(s) = \frac{0{,}5}{0{,}8s+1} e^{-1{,}5s} \end{cases}$ 14. $\begin{cases} W_{op}(s) = \frac{1}{0{,}75s+1} e^{-1{,}5s} \\ W_{oB}(s) = \frac{0{,}5}{s+1} e^{-1{,}48s} \end{cases}$

8.5 Есеп мазмұны

Есепте мақсат пен тапсырма вариант бойынша, есептеулер мен Matlab-тағы тапсырмаға сәйкес графиктер, сонымен қатар қорытындылар болуы керек.

8.6 Сұрақтар

1. Басқарудың аралас жүйелерінің ерекшелігі неде?
2. Әдеттегі химиялық технология объектісі үшін аралас АРЖ мысалын келтіріңіз.
3. Инвариантты принцип қандай?
4. Қандай жағдайда «идеалды» компенсатор физикалық тұрғыдан жүзеге аспайды?

5. Динамикалық компенсатордың беріліс функциясының инварианттық шарты негізінде қорытынды жасаңыз.

Әдебиеттер тізімі

1. Ротач В.Я. Теория автоматического управления: Учебник для вузов. - М.: МЭИ, 2007. - 396 с.
2. Плетнев Г.П. Автоматизированное управление объектами тепловых электростанций: Учебное пособие для вузов по специальности «Автоматизация теплоэнергетических процессов» - М.: МЭИ, 1981 - 368 с.
3. Клюев А. С., Лебедев А. Т., Клюев С. А., Товарнов А. Г. Наладка средств автоматизации и автоматических систем регулирования /Справочное пособие. – М.:Альянс, 2013. - 367 с.
4. Денисенко В. ПИД-регуляторы: вопросы реализации // Современные технологии автоматизации. 2008. №1. С. 86–99.
5. Guillermo J. Silva, Aniruddha Datta. S. P. Bhattacharyya. PID Controllers for Time-Delay Systems. – Boston, 2005.
6. Cominos P. and Munro N. PID Controllers: Recent Tuning Methods and Design to Spec-ification. IEE Proc. D. Control Theory and Applications. 2002. Vol. 149. No. 1. P. 46–53.
7. Hang C.C., Astrom K.J. and Ho W.K. Refinement of Zigler–Nichols Tuning Formula. IEE Proc. Pt. D. 1991. Vol. 138. P. 111–118.
8. Astrom K.J. and Hagglund. The Future of PID Control. IFAC J. Control Engineering Practice. 2001. Vol. 9. P. 1163–1175.
9. Чесноков Ю.Н., Гусев О.А. Проектирование систем регулирования на ПК / под ред. В.В. Муханова. Екатеринбург: УГТУ, 1999. 108 с.
10. Автоматическое управление в химической промышленности / под ред. Е.Г. Дудникова. - М.: Химия, 1987.
11. Ziegler J.G. and Nichols N.B. Optimum Settings for Automatic Controllers. Trans. ASME. 1942. Vol. 64. P. 759–768.
12. Ala Eldin Abdallah Awouda and Rosbi bin Mamat. New PID Tuning Rule Using ITAE Criteria. International Journal of Engineering (IJE). Vol. 3. Issue 6. January 2010. P. 597–608.
13. Ротач В.Я. Расчет настройки реальных ПИД-регуляторов // Теплоэнергетика. 1993. №10. С. 31–35.

Мазмұны

Кіріспе	3
Зертханалық жұмыс №1. Басқару жүйесінің типтік буындардың сипаттамаларымен танысу және зерттеу	4
Зертханалық жұмыс №2. Объектің кеңейтілген жиіліктік сипаттамаларын зерттеу	23
Зертханалық жұмыс №3. Кеңейтілген жиілік сипаттамалар әдісін қолдана отырып реттеушінің параметрлерін анықтау	33
Зертханалық жұмыс №4. Өтпелі процестің графигіне сәйкес объектінің математикалық моделін анықтау	39
Зертханалық жұмыс №5. Реттеу жүйесінің тұрақтылығын зерттеу	49
Зертханалық жұмыс №6. AMIGO, А П. Копелович және Зиглер-Никольс әдісімен P, PI, PID реттегішін баптау.	64
Зертханалық жұмыс №7. Каскадты автоматты басқару жүйелерін есептеу	74
Зертханалық жұмыс №8. Аралас автоматты басқару жүйесін есептеу	82
Әдебиеттер тізімі	89

2020 ж. жиынтық жоспары, реті 61

Жусупбеков Сарсенбек Сейтбекович

ЖЭС ОБЪЕКТІЛЕРІН АВТОМАТТАНДЫРУ

6В07108 – Автоматтандыру және басқару мамандығының студенттері үшін зертханалық жұмыстарды орындауға арналған әдістемелік нұсқаулар

Редактор: Изтелеуова Ж.
Стандартизация бойынша маман: Данько Е.Т.

Басуға_____ қол қойылды Пішімі 60х84 1/16
Таралымы 30 дана Баспаханалық қағаз №1
Көлемі 5,6 баспа табақ Тапсырыс__ Бағасы 2800тг.

«Ғұмарбек Даукеев атындағы Алматы энергетика және байланыс университеті»
коммерциялық емес акционерлік қоғамының
көшірме-көбейткіш бюросы
050013, Алматы, Байтұрсынұлы көшесі, 126