

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы
Қазақ ұлттық техникалық университеті

Л. Ш. Балғабаева
Ш. М. Байматаева

**ЖҮЙЕТЕХНИКА.
ЗЕРТХАНАЛЫҚ ПРАКТИКУМ**

Университеттің Ғылыми-әдістемелік кеңесі
оқу құралы ретінде ұсынған

Алматы 2015

ӘОЖ 681.51(075.8)

КБЖ 32.97

Б 22

Пікір жазғандар:

Өтепбергенов Е.Т. - Алматы энергетика және байланыс институтының профессоры, техн. ғыл. докторы

Биттеев Ш.Б. – М. Тынышпаев атындағы Қазақ көлік және телекоммуникациялар Академиясының профессоры, техн. ғыл. докторы

Бейсембаев А.А. – Қ.И. Сәтбаев атындағы ҚазҰТУ «Автоматтандыру және басқару» кафедрасының доценті, техн. ғыл. кандидаты.

Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің 2015 жылғы басылым жоспары бойынша басылады.

Балғабаева Л.Ш., Байматаева Ш.М.

Б 22 Жүйетехника. Зертханалық практикум: Оқу құралы. – Алматы: ҚазҰТУ, 2015. - 120 б. Сурет – Библиогр. – 11 атау
ISBN 978-601-228-724-0

Оқу құралында автоматты басқару жүйелерінің тағайындалуы, негізгі түсініктер мен басқарудың негізгі принциптері, автоматикалық жүйелерді математикалық сипаттау әдістері, сызықты жүйелердің орнықтылығын зерттеу мен сызықты стационарлы жүйелердің басқарылуы мен бақылануын зерттеу бойынша мағлұмат берілген. Тақырыптар бойынша материалды бекітуге арналған мысалдар келтірілген.

Оқу құралы 5В070300 – «Ақпараттық жүйелер», 5В070400 – «Есептеу техникасы және бағдарламалық қамтамасыз ету» мамандықтарында оқитын студенттерге және магистранттарға арналған.

© Балғабаева Л.Ш.,
Байматаева Ш.М., 2015
© ҚазҰТУ, 2015

КІРІСПЕ

Басқару туралы ғылымды құрайтын пәнге жүйелерде өтетін процестің физикалық негізіне тәуелсіз техникалық (технологиялық, өндірістік) процестерді басқару мен бақылау функциясын адамның тікелей қатысуынсыз орындайтын автоматты жүйелердің есептеу тәсілдері мен құру принциптерін зерттейтін автоматты басқару теориясы жатады. Алғашқыда ол, техникалық объектілерді автоматты басқару процестерінің статикасы мен динамикасын зерттеу үшін пайда болды. Автоматты басқару теориясының қорытындылары мен нәтижелері техникалық сипаттағы басқару жүйелерімен қатар экономикалық, ұйымдастырушылық және т.б. жүйелердің динамикалық қасиеттерін зерттеу үшін де қолданылуда.

Белгілі бір заңға сәйкес шаманың тұрақтылығын қамтамасыз ету қажеттігі техниканың әртүрлі салаларында пайда болады. Технологиялық және өндірістік процестердің қалыпты өтуі, осы процестерді сипаттайтын шамалар белгілі шарттарға жауап бергенде ғана қамтамасыз етіледі. Әртүрлі процестер өтетін объектілер жиі жағдайда олардың қалыпты өтуін қамтамасыз етпейді, демек, объектілердің өздері әртүрлі себептермен пайда болатын режимнің ауытқуын жоя алмайды. Сондықтан, мұндай объектілер, әсер ету арқылы олардың жұмыс режимін өзгертуге, демек, процесті қажетті түрде басқаруға болатын басқарушы немесе реттеуші органмен жабдықталады. Техникалық процесті автоматты басқаруды іске асыру үшін басқарылатын объект пен онымен байланысты басқарушы құрылғыдан тұратын жүйе құрылады. Мұндай жүйе инерциялық қасиеттері мен бөгеуілдерге қарамастан оған қойылған функцияларды қажетті дәлдікпен орындауы керек. Процестің қажетті өтуін қамтамасыз ететін жағдайларды жасау басқару деп аталады.

Бұл оқу құралында автоматты басқару жүйелерінің негізгі ұғымдары мен оларды құру принциптері; автоматика

элементтерінің әрекет ету принциптері; автоматикалық жүйелердің математикалық сипатталу әдістері қарастырылған. Сондай-ақ, оқу құралында автоматты басқару жүйесінің функционалдық сұлбасы және математикалық моделін құру, жүйенің уақыттық және жиіліктік сипаттамаларын анықтау, жүйелердің орнықтылығына анализ жасау, сызықты стационарлы жүйелердің басқарылуы мен бақылануын зерттеу бойынша мағлұмат келтірілген.

1. АВТОМАТТЫ БАСҚАРУ ЖҮЙЕЛЕРІ (АБЖ) ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ҚҰРУ ПРИНЦИПТЕРІ

1.1. Негізгі түсініктер

АБЖ өндіруге, адам денсаулығына зиян келтіретін, қауіпті жұмысты механикаландыруға микропроцессорлық техника мен роботтарды пайдаланады.

Автоматтандыру деп адамды тікелей технологиялық процестен босататын автоматтық құрылғыларды пайдалануды айтады.

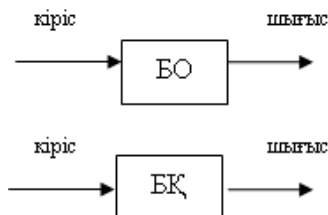
Автомат – ол өндірістік процесті адамның қатысуынсыз тек оның бақылауымен жүзеге асыратын құрылғы (машина, аппарат, аспап,...).

Автоматты реттеу дегеніміз объектінің жағдайын сипаттайтын тағайындалған (берілген, тапсырылған) шаманы бір қалыпта қолдану немесе оны белгілі бір заң бойынша өзгерту процесі. Ол процесс, объектінің жағдайын немесе оған әрекет етіп тұратын ауытқушы әсерлерді өлшеу және реттеу органына әрекет ету арқылы іске асырылады. Мұнда ауытқушы әсер деп объектіні кейбір тұрақталынған жағдайынан шығаратын (ауытқытатын) және сырттан әрекет ететін әсерді айтады. Басқару мен реттеу анықтамаларын салыстыра отырып, барлық реттеу мәселелері қарапайым жағдайда басқару мәселелеріне кіреді деуге болады.

Автоматты жүйелер өзінің арналуына және конструкторлық орындалуына қарай әртүрлі болады. Оларды негізгі екі бөлшектерге бөлуге болады:

1. басқарылатын объект (БО)
2. басқару құрылғы (БҚ)

Оларды функционалдық сұлбада келесідей көрсетуге болады:



1.1-сурет. Автоматты жүйелердің функционалды сұлбасы

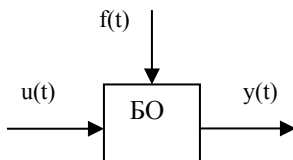
Нұсқамалармен сигналдың өту бағыты көрсетіледі.

БО – техникалық (технологиялық) процесті жүзеге асыратын құрылғы немесе құрылғылар жиынтығы. БО жылжитын және жылжымайтын болуы мүмкін. АБЖ жылжитын объектісіне келесілер жатады: кемелер, поездар, ұшқыштар, ракеталар, ғарыштар. Жылжымайтын объект: агрегаттар, механизмдер, технологиялық және энергетикалық процестер, қондырғылар (бу пештері, айнымалы пештері).

БҚ (автоматты реттеуіш, жай реттеуіш) белгілі заңға (алгоритмге, бағдарламаға) сәйкес басқарылатын объектіге әсер етіп тұратын, техникалық құрылғыны айтады. Мысал: ұшақтар немесе ракеталардағы автопилоттар, басқарушы ЭЕМ.

Қандай болмасын өндірістік қондырғыларда, машиналарда, аппараттарда өтетін түрлі техникалық процесті бір немесе бірнеше көрсеткіштермен сипаттауға болады. Бұл көрсеткіштер әртүрлі механикалық, физикалық, химиялық шамалар болып келеді. Мысалы: жылдамдық, жол, уақыт, қысым, температура, көлем. Олар нақты жағдайға байланысты белгілі бір заңға сәйкес өзгеруі немесе тұрақты болуы мүмкін. Басқару тәжірибесінде оларды процестің параметрлері, координаталары немесе басқарылатын объектінің шығу шамалары дейді. Басқарылатын параметрлер деп шығу параметрлерінің арасындағы параметрлерді айтады, егер реттеу процесі сол бойынша жүргізілсе.

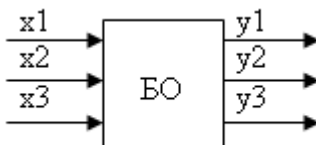
Реттелінетін шаманың өзгерісін тудыратын әсерлер басқару және ауытқушы болып бөлінеді. Реттелетін шаманың өзгерту заңдылығын анықтайтын және басқару құрылғымен өндірілетін әсер – бұл басқару әсері. Ал басқару әсерімен реттелетін шама арасындағы байланысқа ықпал ететін барлық басқа әсерлер ауытқушы әсерлерге жатады. Егер объектіге әрекет ететін әсерлердің және реттелетін шамалардың саны бір-бірден болса, оны келесідей көрсетуге болады:



1.2-сурет. Басқару объектісінің көрсетілуі

$u(t)$ – басқару әсері,
 $f(t)$ – ауытқушы әсер,
 $y(t)$ – басқарылатын шама.

Егер басқару объектісінің кіру және шығу шамасының саны бірден көп болса:



1.3-сурет. Бірнеше кіру және шығу шамаларымен басқару объектісі

мұндағы $x_1(t)$, $x_2(t)$, $x_3(t)$ – кіру әсерлерінің векторы;
 $y_1(t)$, $y_2(t)$, $y_3(t)$ – шығу әсерлерінің векторы.

Басқару әсерлердің және басқару шамалардың санына қарай басқарылатын объектілер бір байланысты немесе көп байланысты болып бөлінеді.

1.2. АБЖ-нің сыныпталуы

АБЖ келесідей сыныпталады:



1.4-сурет. АБЖ сыныптау

Басқару процесінде қолданылатын ақпараттардың екі түрін ажыратады:

1. Бастапқы (априорлы)
2. Жұмыс кезіндегі (апостериорлы)

Басқару ақпараттары дегеніміз басқару объектісінің динамикалық және статикалық қасиеттері туралы мағлұматтардың жинағы. Егер объектінің статикалық және динамикалық қасиеттерін жазатын барлық теңдеулер және олардың коэффициенттері белгілі болса, онда бастапқы ақпараттылық дейді.

Басқару процесінде қолданылатын басқару объектісінің жағдайы туралы мағлұматтың жинағы жұмыс ақпараты болып табылады. Бұл мағлұматтар сигнал түрінде датчиктерден немесе өлшеуіш аспаптардан алынып басқару процесін қажетті бағытта жүргізуге қолданылады.

Бастапқы ақпарат толық болған кезде, әдеттегі жүйелер туралы айтады. Бастапқы ақпараттар толық болмаса, онда олар адаптивтіге жатады. Әдеттегі де, адаптивті де жүйелер өзінің

жұмыс барысында жұмыс ақпаратын қолданылады. Өнеркәсіпте жиі кездесетін жүйелер әдеттегі жүйелер болып табылады. Олар екіге бөлінеді:

1. Сызықты
2. Бейсызықты

Егер АБЖ сызықты теңдеулермен жазылса, онда ол сызықты АБЖ. Керісінше, бейсызықты жүйе.

Сызықты жүйелер екіге бөлінеді:

1. Әдеттегі сызықты
2. Ерекше сызықты

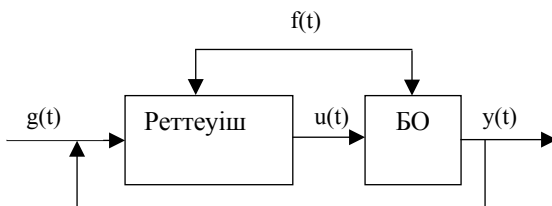
Әдеттегі сызықты жүйелер басқару тізбегінің түрі бойынша басқару тізбегі тұйықталған және тұйықталмаған жүйелер болып бөлінеді.

Тізбегі тұйықталған АБЖ-де реттеуіш басқару әсерін өндіру үшін басқарылатын шамасының нақты мәні туралы ақпарат пайдаланылады. Ал тұйықталмаған жүйелерде ондай ақпарат пайдаланылмайды.

Өнеркәсіпте көптеген автоматты реттеу жүйелері тұйықталған контурлы жүйелер болып келеді.

1.3. Автоматты басқару жүйесінің көрсетілуі

Жалпы түрде АБЖ сұлбасын келесідей көрсетуге болады:



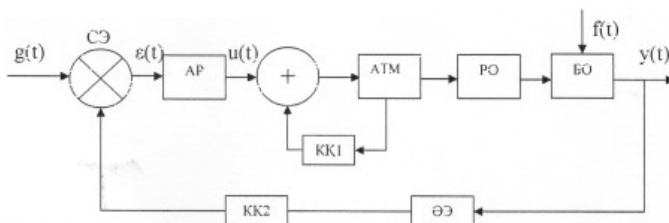
1.5-сурет. АБЖ-нің жалпы сұлбасы

мұндағы $g(t)$ – тағайындалған әсер.

Сұлбаға сәйкес реттеуіштің кірісіне тағайындалған $g(t)$ реттелінетін және ауытқушы шамалар келіп түседі. Реттеуіш келіп түскен ақпарат бойынша басқару әсерін шығарып, БО-ге әрекет етеді. Процесс жүрісі туралы объекіден ақпарат алу

үшін сезгіш элемент немесе датчиктер қолданылады. Датчиктің міндеті физикалық шаманы бір түрден екінші түрге түрлендіру.

АБЖ әдетте құрылымдық сұлбалармен көрсетіледі. Құрылымдық сұлба жүйенің құрамын, элементтер арасындағы байланысын көрсетеді. Құрылымдық сұлба арқылы жүйенің ішкі құрылымын анықтауға, жүйедегі өтетін динамикалық процестің сапасын жақсартатын қосымша байланыстарды қосу орнын табуға болады. Келесі құрылымдық сұлбаны қарастырайық:



1.6-сурет. АБЖ құрылымдық сұлбасы

СЭ – салыстыру элементі

АР – автоматты реттеуіш

АТМ – атқару механизмі

РО – реттеу органы

БО – басқару объектісі

ӨЭ - өлшеу элементі

КК – түзетуші құрылғы

$y(t)$ – реттелетін шаманың нақты мәні

$\varepsilon(t)$ – реттеу қателігі.

Басқарылатын шама $y(t)$ -дан ОЭ-мен өлшеніп, оның $g(t)$ тағайындалған мәнімен салыстырылады. СЭ реттеу қателігін $\varepsilon(t)=g(t)-y(t)$ анықтайды. Ол қателік реттелінетін шаманың ауытқуы. Ол ауытқу жүйеге әрекет ететін $f(t)$ сыртқы ауытқушы әсердің ықпалынан пайда болады. Егер жүйеге сыртқы ауытқушы әсер әрекет етпесе, онда ешқандай реттеудің қажеті жоқ. Табылған қателік бойынша $\varepsilon(t)$ АР өзінің реттеу алгоритміне сәйкесті $u(t)$ -дан басқару әсерін өндіреді. Ол әсер АТМ мен РО арқылы БО-ға әрекет етеді. Әдетте тұйықталған жүйеге әртүрлі кері байланыстар және жүйенің сапасын

жақсарту үшін енгізілетін түзетуші құрылғылар кіреді (КҚ1, КҚ2). Ондай жүйенің мақсаты реттелінетін шаманың нақты мәнімен тағайындалған мәннің аралығындағы айырымды нөлге келтіру.

Құрылымдық сұлбадағы реттелінетін шаманың мәні ОЭ арқылы СЭ-ке келіп түсетін тізбек негізгі кері байланыс тізбегі деп аталады. Негізгі кері байланыстан басқа, жүйеде ішкі кері байланыстар да болуы мүмкін. Егер негізгі кері байланыстың сигналы реттелінетін шамаға пропорциялы болса, онда кері байланыс қатаң кері байланыс деп аталады. Ал айтылған сигнал реттелінетін шаманың өзгерісіне және оның туындыларына пропорциялы болса, ондай кері байланыс иілгіш кері байланыс деп аталады.

Тұйықталған АБЖ тағайындалған шаманың өзгеру түрі бойынша келесідей жіктеледі:

1. Тұрақтандыру (стабилизациялау) жүйелері.
2. Бағдарламалы басқару жүйелері.
3. Қадағалаушы жүйелер.

1. Егер тағайындалған шаманың мәні тұрақты болса, демек, $g(t)=const$, мұндай жүйелер тұрақтандыру жүйелеріне жіктеледі. Егер бір тағайындалған шама бойынша, бір реттелінетін шама тұрақталынса, ондай жүйе бір контурлы тұрақтандырулы жүйе деп аталады. Егер тұрақтандыру шаманың саны көп болса, көп контурлы деп аталады.

2. Егер тағайындалған шаманың мәні уақыт өзгерген сайын кейбір белгілі заң және бағдарлама бойынша өзгеріп тұратын болса, мұндай жүйелер бағдарламалы басқару жүйелеріне жіктеледі. Осындай жүйелердің бағдарламалары екі түрде болуы мүмкін:

- 1) Уақыттық бағдарлама $g=g(t)$;
- 2) Параметрлік бағдарлама $g=(s_1, s_2 \dots)$.

3. Егер $g(t)$ уақыттық функциясы алдын-ала белгісіз болса, мұндай жүйелер қадағалаушы жүйелерге жіктеледі. Әдетте, қолданушы жүйеде реттелінетін шама кейбір сыртқы фактордың өзгеруінен пайда болатын тағайындалған шаманың өзгерісін қайталап, қадағалап тұруы тиіс.

1.4. Автоматты реттеудің принциптері

Автоматты басқару теориясында автоматты реттеудің келесі негізгі принциптерін ажыратады:

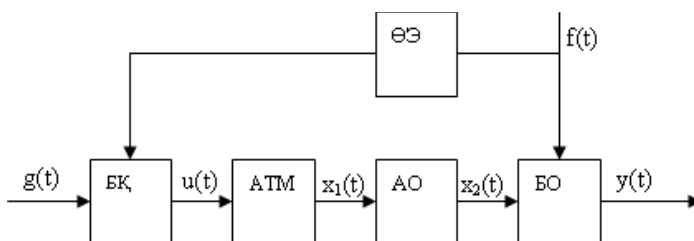
1. Реттелінетін шаманың ауытқуы бойынша реттеу принципі (Ползунов-Уаттың кері байланысы).

2. Ауытқушы әсер бойынша реттеудің принципі (Понселе-Сиенс).

3. Қиылыстырылған принцип.

1. Бірінші принцип бойынша реттелінетін шаманың нақты мәні тағайындалған шамамен салыстырылады. Егер екі шаманың мәндері тең болмаса, онда реттеуіш олардың айырымына сәйкес реттеуші әрекетін өндіреді. Ол әрекеттің мақсаты табылған айырымды жою (реттеуші шаманы тағайындалған шамамен теңестіреді).

2. Ауытқушы әсер бойынша реттеу немесе ауытқушыны компенсациялау принципі. Ауытқушы әсердің нәтижесі реттелінетін шаманың өзгеруі болып келеді. Компенсациялау жүйесін іске асыру үшін ауытқушы әсердің өлшеуі жеңіл болу керек. Реттеу жүйесінің құрылымдық сұлбасы келесі суретте көрсетілген:



1.7-сурет. Реттеу жүйесінің құрылымдық сұлбасы

БҚ-басқару құрылғысы

АТМ – атқару механизмі

АО – атқару органы

БО – басқарылатын объект

ӨЭ – өлшеу элементі

$y(t)$ – реттелінетін шама

$g(t)$ – тағайындалған шама

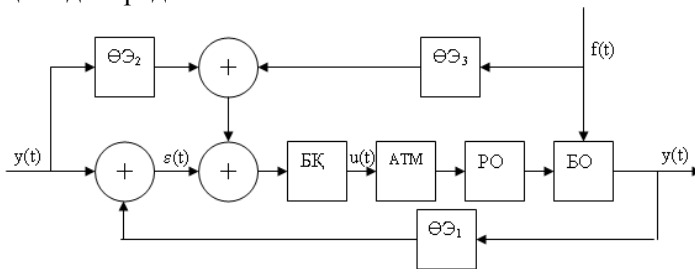
$f(t)$ – ауытқушы әсер

$u(t)$ – басқарушы әсер

$x_1(t), x_2(t)$ – басқа сигналдар.

ӨӘ басқарылатын объектіге әрекет етіп тұрған сыртқы ауытқушы $f(t)$ әсерді өлшеп, БҚ-ға түсіреді. БҚ сол әсерге сәйкес басқарушы әсерді $u(t)$ өндіреді. Басқару әсері $u(t)$ АТМ, РО арқылы БО-не келген сыртқы ауытқушының әсерін жояды.

3. Қиыстырылған принцип. Қиыстырылған реттеу принципіне негізделген жүйелерде жоғарыда қарастырылған екі принципі де кіреді.



1.8-сурет. Қиыстырылған реттеу принципіне негізделген жүйенің сұлбасы

Қарастырылып отырған жүйеде БҚ реттеу әсерін өндіру үшін тағайындалған шаманың $f(t)$ ауытқушы әсерінің және реттеу қателігінің өзгерулері туралы ақпаратты қолданады, яғни бір мезгілде, кері байланыс реттеу принципімен бірге ауытқушы әсері бойынша, реттеу принципі бойынша жүзеге асырылады.

1.5. Автоматты жүйелердің негізгі басқару заңдары

Реттеу заңы деп $\varepsilon(t)$ жүйе қателігі тағайындалған әсер $y(t)$, ауытқушы әсер $f(t)$ бойынша басқару құрылғы басқарушы әсер $u(t)$ әрекетті қалыптастыратын математикалық тәуелділікті немесе алгоритмді айтады.

Алгоритмнің жалпы түрі:

$$u(t)=F[g(t), \varepsilon(t), f(t)] \quad (1.1)$$

мұндағы, F-бейсызықты функция (көрсетілген шамалардан және олардың туындылығынан), немесе $u(t)=F_1 [g(t)]+F_2 [\varepsilon(t)]+F_3 [f(t)]$. Біз тек $u(t)=F[\varepsilon(t)]$ түрін қарастырамыз.

Келесі негізгі басқару заңдары белгілі:

1. Пропорционалдық заң (П)

$$u(t)=k_1 \varepsilon(t), \quad (1.2)$$

мұндағы k_1 –реттеуіштің күшейткіш (беріліс) коэффициенті.

2. Интегралдық заң (И)

$$\frac{du(t)}{dt} = k_2 \varepsilon(t) \quad (1.3)$$

немесе

$$u(t) = k_2 \int_0^t \varepsilon(t) dt, \quad (1.4)$$

3. Пропорционалды-интегралды заң (ПИ)

$$u(t) = k_1 \varepsilon(t) + k_2 \int_0^t \varepsilon(t) dt, \quad (1.5)$$

4. Пропорционалды интегралды дифференциалды заң (ПИД)

$$u(t) = k_1 \varepsilon(t) + k_2 \int_0^t \varepsilon(t) dt + T_d \frac{d\varepsilon(t)}{dt}, \quad (1.6)$$

мұнда T_d - дифференциалдаудың уақыттық тұрақтысы.

Бақылау сұрақтары

1. Автомат деген не?
2. Автоматтандыру деп қандай процесті айтады?
3. АБЖ қалай сыныпталады?
4. Басқару әсері деген не?
5. Ауытқушы әсер деген не?
6. Жүйенің математикалық моделін анықтау жолдарын атаңыз.

7. Сезгіш элементтің мақсаты қандай?
8. Тұрақтандыру (стабилизациялау) жүйелерін сипаттаңыз.
9. Бағдарламалы басқару жүйелерін сипаттаңыз.
10. Қадағалаушы жүйелерді сипаттаңыз.
11. Автоматты реттеудің негізгі принциптері қандай?
12. Реттеу заңы дегеніміз қандай заң?
13. АБЖ негізгі басқару заңдарын атаңыз.

2. MATLAB БАҒДАРЛАМАСЫНЫҢ SIMULINK ПАКЕТІМЕН ТАНЫСУ

2.1. Қысқаша теориялық мағлұмат

Басқару жүйесін жасаушының қуатты және көрнекі инструменттерінің бірі болып MATLAB ортасындағы Simulink пакеті табылады. Ол үздіксіз және дискретті сызықты және бейсызықты динамикалық жүйелерді модельдеуге мүмкіндік береді.

Модельдің блок сұлбаларын құру үшін Simulink-те, тінтуірмен «бас және тасымалда» операцияларын қолданатын GUI қолданушының графикалық интерфейсі бар. Simulink басқару жүйелерінің әртүрлі компоненттерінің көптеген блокты кітапханаларынан тұрады.

Модельдерде иерархиялық принцип сақталады және оларды “жоғарыдан төмен” немесе “төменнен жоғары” принципі бойынша құруға болады. Тінтуірдің батырмасын екі рет шертіп блоктарды ашуға және құрылымдарын қарап шығуға, параметрлерін өзгертуге болады.

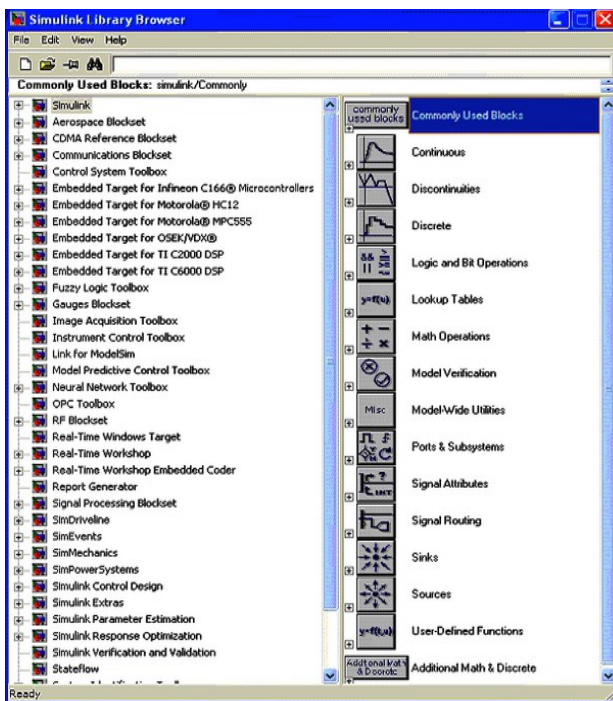
Модельді құрғаннан кейін Simulink мәзірін немесе MATLAB жұмыс терезесіндегі командалық жолды қолданып басқару жүйесінің жұмысын имитациялауға болады. Имитациялау нәтижелерін ақпаратты шығару блоктарының экрандарында (Scope, Display) Simulink жұмысы кезінде көруге болады. Объектілерді жиіліктік және уақыттық облыстарда есептеу, талдау және идентификация жасайтын және т.б. MATLAB 6 әртүрлі инструментарийлерін (Toolboxes) қолдану Simulink ерекшелігі болып табылады.

2.2. Simulink-ті іске қосу

Simulink-ті іске қосу үшін MATLAB жүйесін жіберу керек. Simulink-ті үш тәсілмен жіберуге болады:

- MATLAB инструменттер панеліндегі  иконкасын басу арқылы ;
- MATLAB жұмыс терезесінде *simulink* командасын теру;
- Терезенің төменгі жағында  батырмасын басу. Сосын, Simulink таңдап Library Browser жолында тінтуірмен шерту.

Команданы орындағаннан кейін жұмыс столында MATLAB командалық терезесінен басқа Simulink блоктары кітапханаларының браузер терезесі болады (2.1-сурет)



2.1-сурет. Simulink кітапханаларының терезесі

Simulink құрамына келесі кітапханалар кіреді:

Commonly Used Blocks – әдетте қолданылатын функциялар;

Continuous – үздіксіз элементтер;

Discontinuities – бейсызықты элементтер;

Discrete – дискретті элементтер;

Logic and Bit Operations – логикалық және биттік операциялар;

Lookup tables – функциялар мен кестелер;

Math operations – математикалық функциялар;

Model Verification – модельді тексеру;

Model-Wide Utilities – кеңінен қолданылатын модельдер;

Nonlinear – бейсызықты элементтер;

Ports & Systems – порттар мен жүйелер;

Signal attributes – сигналдардың атрибуттары

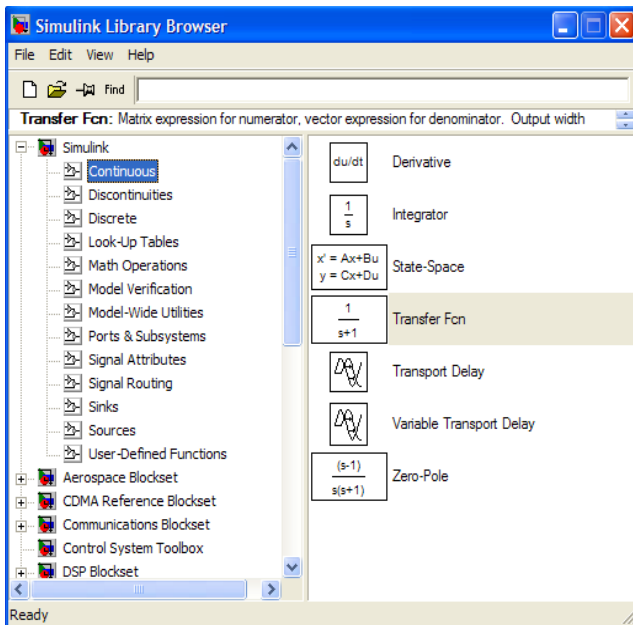
Sinks – шығару құрылғылары;

Sources – көздер;

User-Defined Functions – ішкі жүйелер.

Additional Math & Discrete – қосымша математикалық және дискретті.

Қажетті кітапхананы таңдаған кезде терезенің оң жақ бөлігінде оның мазмұны көрінеді (2.2-сурет):



2.2-сурет. Кітапхана тарауларының шолушы терезесі

2.3. Модельді құрастыру

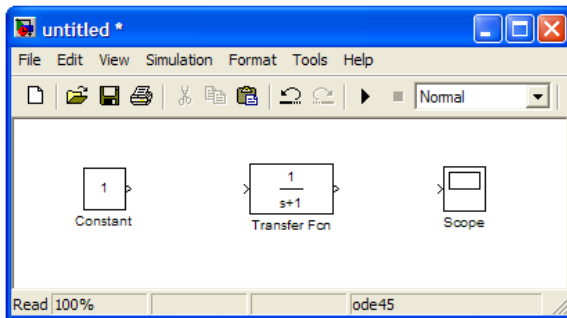
Simulink ортасында модель құрастыру келесі іс-әрекеттерден тұрады:

1. Жаңа модельді File/New/Model командасы арқылы немесе  батырмасын қолдану арқылы жасауға болады.

2. Модель терезесінде блоктарды орналастыру. Ол үшін қажетті кітапханадан блокты ерекшелеп, тінтуірдің сол жақ батырмасын басып, модельдің терезесіне тасымалдау керек. Simulink элементтерімен көшіру және басқа да операцияларды орындау үшін оларды ерекшелеу керек. Ол үшін элемент бойынша тінтуірдің батырмасын басу керек. Таңдалған блоктың бұрыштары мен ерекшеленген сызықтың ұштарында элементтердің өлшемдерін басқаратын қара квадраттар пайда болады.

Блоктарды модельдер мен кітапханалардан көшіру мен ауыстыру үшін олар бойынша тінтуірдің батырмасын басып

және оны ұстап тұрып блокты бір терезеден екінші терезеге немесе сол терезедегі басқа орынға ауыстыру керек. Сондай ақ, Edit менюінен Copy (көшіру) және Paste (қою) командаларын қолдануға болады. Келесі суретте модель құрамындағы блок терезесі көрсетілген:



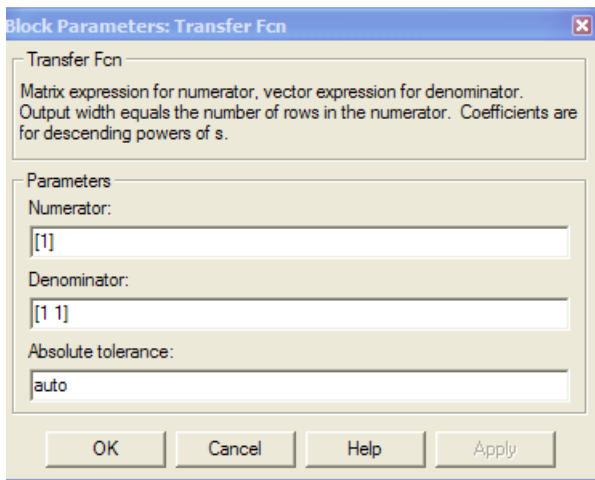
2.3-сурет. Модель терезесі

Блокты қайталау үшін оны Ctrl пернесін басып тінтуірдің сол жақ батырмасымен ерекшелеп жаңа орынға тасымалдау қажет.

Блоктың бағытын өзгерту үшін Format менюінің Rotate Block (бұру) және Flip Block (төңкеру) командалары қолданылады. Бірінші команда блокты сағат тілі бойынша 90° , екіншісі – 180° бұрады.

Блоктың аты бойынша тінтуір батырмасын шертіп оның атын, ал Format мәзірі командаларымен - оның орналасуын, шрифт (Font) пен оның атрибуттарын, түсін өзгертуге, блок үшін (Show/Hide Drop Shadow) көлеңкені құруға/жасыруға болады.

Қажет болған жағдайда «үнсіздік» бойынша қойылған блок параметрлерін өзгерту керек. Ол үшін блокты ерекшелеп тінтуірдің сол жақ батырмасымен екі рет шерту керек. Мысалы, *Transfer Fcn* блогының параметрін өзгерту терезесі суретте көрсетілген:



2.4-сурет. Блоктың параметрлерін өзгерту терезесі

Сандық параметрлердің мәнін бергенде ондық бөлгіш ретінде нүкте қолданылады. Параметрлерді енгізгеннен кейін ОК батырмасын басып, терезені жабу керек.

Бірнеше айнымалылы кіріс және шығыс блоктары үшін үлкен жуандықты сызықтар қолданылады. Олар Format мәзірінің Wide Vector Lines командасымен жасалады.

3. Simulink-те сызықтар сигналдарды береді. Әрбір сызық скалярлы немесе векторлы сигнал тасымалдай алады. Сызық бір блоктың шығысын басқаның кірісімен жалғастырады немесе керісінше. Тармақталу сызықтары блоктың бір шығысын басқа блоктардың бірнеше кірістерімен жалғастырады.

Блоктарды орналастырғаннан кейін сұлбадағы элементтердің қосылыстарын орындау керек. Бір блоктың шығысын басқа блоктың кірісімен қосу үшін:

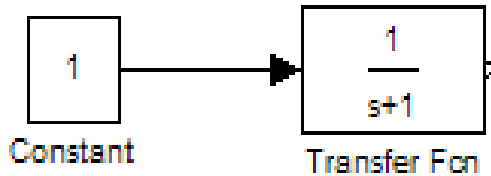
1. Курсорды бірінші блоктың шығысындағы (port) нүктесіне қою керек. Курсор формасы крест түріне өзгереді.

2. Тінтуірдің батырмасын басып ұстап тұру қажет.

3. Көрсеткішті екінші блоктың екінші блоктың кірісіне ауыстыру керек. Блокқа курсорды қойғанда бірінші блокты екінші блоктың жақын кірісімен қосатын сызық пайда болады.

4. Тінтуір батырмасын жібергенде Simulink қосатын сызықтағы порттар символдарын сигналды тасымалдау бағытын көрсететін стрелкамен ауыстырады.

Simulink сызықтарды горизонталды және вертикалды участоктарды қолданып салады. Тармақталу сызығы бар сызықтан басталады және басқа блоктың кірісіне осы сигналды тасымалдайды (2.5-сурет).

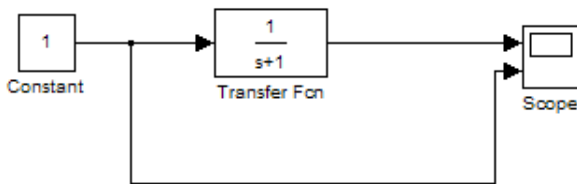


2.5-сурет. Сызықтарды салу

Тармақталу сызығын құру үшін:

1. Көрсеткішті тармақталу басталатын сызыққа қою керек.
2. Басылған Ctrl пернесімен бірге тінтуірдің батырмасын басып ұстап тұру керек.

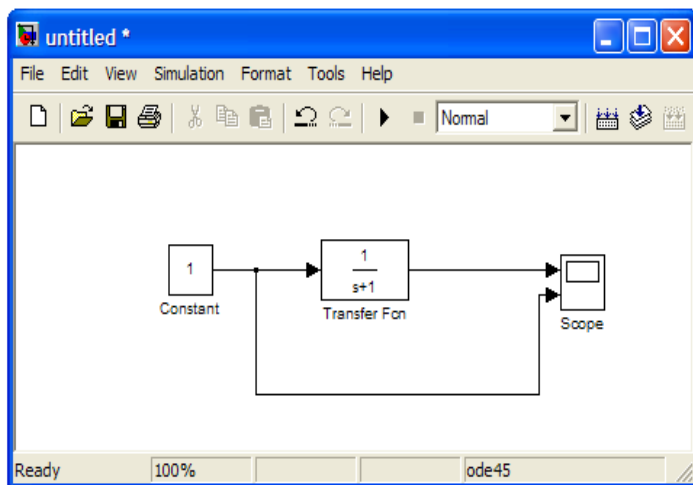
3. Көрсеткішті қосылатын кіріске тасымалдау және тінтуірдің батырмасы мен Ctrl жіберу керек. Нәтижесінде келесі сұлбаны аламыз:



2.6-сурет. Тармақталу сызығын құру

Бұрышпен сызықты құру үшін салу кезінде басылған Shift пернесін ұстап тұру керек.

Келесі суретте блоктар арасындағы байланыстар көрсетілген:



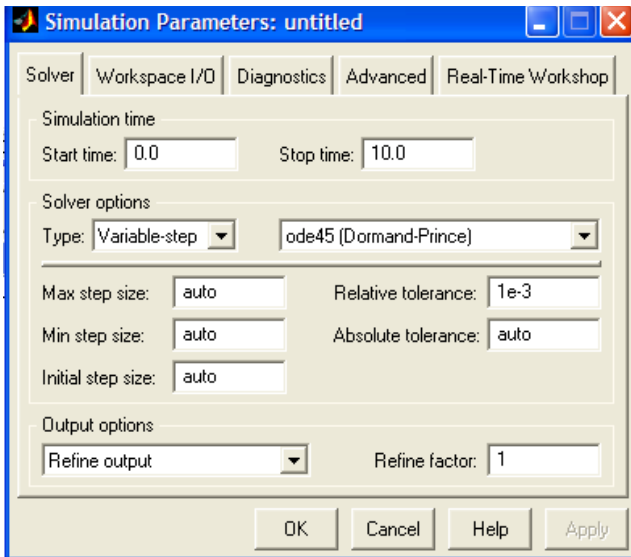
2.7-сурет. Модельдің сұлбасы

Сұлбаны құрғаннан кейін File/Save/As... пунктін таңдау арқылы сақталады.

Басқару жүйесінің құрылған моделін File менюінен Save немесе Save As командаларын қолданып сақтауға болады. Simulink файлға .mdl кеңейтілуін меншіктейді.

2.4. Басқару жүйелері модельдерінің жұмысын симуляциялау

Симуляция параметрлерін орнату мен есепті шешу тәсілін таңдау үшін Simulation менюінің Simulation Parameters опциясы қолданылады. Simulink симуляция параметрлерін басқару үшін қосымша беттерден тұратын Simulation Parameters диалогты терезесін көрсетеді (2.8-сурет).



2.8-сурет. Solver қосымша беті

Олардың үшеуін атап өтейік:

- Solver (Шығарушы) қосымша беті симуляцияның бастапқы және соңғы уақытын беруге мүмкіндік береді.
- Workspace I/O (Енгізу/шығарудың жұмыс кеңістігі) қосымша беті MATLAB жұмыс терезесіне енгізу және шығаруды басқарады.
- Diagnostics (Диагностика) қосымша беті симуляция кезінде көрсетілетін ескерту хабарламаларын тандауға мүмкіндік береді.

Шығарушының Simulation Time опциясы симуляцияның басталу Start Time және аяқталу Stop Time уақытын береді. Үнсіздік бойынша олар 0.0 және 10.0 секундқа тең. Нақты уақыт пен симуляция уақыты әртүрлі шамалар және бір бірімен беттеспейді.

Шығарушының Solver Options опциясы жүйенің құрылған моделінің ерекшеліктеріне байланысты кәдімгі дифференциалдық теңдеулерді сандық интегралдау тәсілін

(ODE – Ordinary Differential Equations) таңдауға мүмкіндік береді. Сондай ақ, бекітілген (Fixed step) және айнымалы (Variable step) қадаммен шығарушыны таңдауға болады. Айнымалы қадамды шығарушылар қадам өлшемін симуляция кезінде өзгертеді, қателерді бақылауды қамтамасыз етеді және функцияның ноль арқылы өту кезеңін табады.

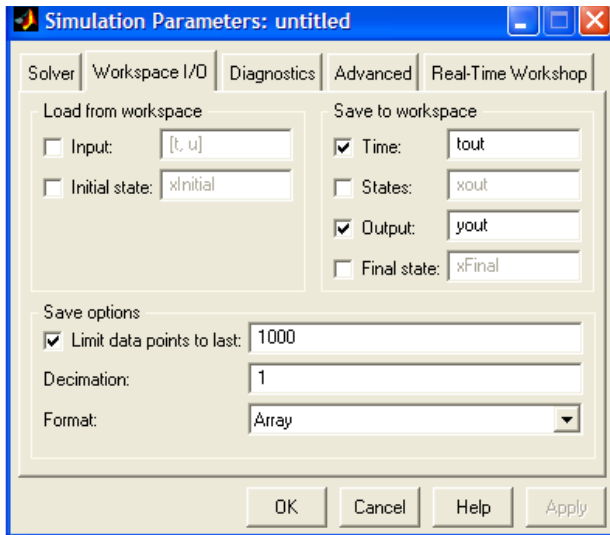
Үнсіздік бойынша Simulink жағдайлар кеңістігінде модельдер үшін ode45 шығарушысын (Рунге-Кутта тәсілі) қолданады. Егер жүйенің моделі жағдайлар кеңістігінде берілмеген болса, онда Simulink discret деп аталатын айнымалы қадамды шығарушыны қолданады.

Solver Options басқа сипаттамаларын – қадамның максималды (Max step size) және бастапқы өлшемі (Initial step size), салыстырмалы (Relative tolerance) және абсолюттік (Absolute tolerance) жіберілген қателікті ерекше қажет болмаса өзгертпеу керек. Қадамның максималды өлшемі келесідей анықталады:

$$h_{max} = (t_{stop} - t_{start}) / 50 \quad (2.1)$$

Модельдеудің аралық мәндері мен нәтижесін енгізуді және шығаруды басқаруға мүмкіндік беретін элементтер *Workspace I/O* қосымша бетінде орналасқан (2.9-сурет):

Simulink симуляцияны орындау кезінде MATLAB жұмыс терезесінен жүйенің моделін сипаттайтын мәліметтерді модельдің жоғарғы деңгейінің енгізу порттарына енгізе алады. Бұл опцияны беру үшін Load from workspace аймағында (Жұмыс терезесінен жүктеу) Input ерекшелену керек сурет.

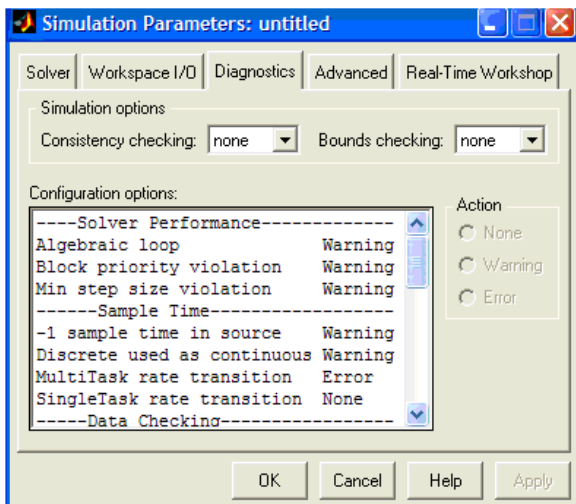


2.9-сурет. Workspace I/O қосымша беті

Сосын сыртқы енгізілетін параметрлерді көрсетіп (үнсіздік бойынша – t уақыты мен u басқарушы айнымалысы), Workspace I/O қосымша бетінің төменгі бөлігінде Apply батырмасын таңдау керек. Мәліметтерді сыртқы енгізу екі тәсілмен жасалуы мүмкін – уақытқа байланысты шамалар матрицасымен немесе уақыт функциясы амалымен.

Бірінші жағдайда сыртқы матрицада бірінші баған t уақытының өсу мәндерінің векторы болу керек. Қалған бағандар енгізілетін шамалардың мәндерін береді. Матрицаның әрбір бағаны кіріс порты үшін (Input блогы) бөлек u кіріс сигналы, ал әрбір жол – t уақытының сәйкес мәні үшін енгізілетін айнымалылардың мәндері болып табылады. Айнымалылар саны n болғанда кіріс матрицаның бағандар саны $n + 1$ тең болу керек.

Diagnostics (Диагностика) қосымша беті симуляция кезінде көрсетілетін ескерту хабарламаларын таңдауға мүмкіндік береді. Модельдеу кезінде жобалаушының қатысуын талап ететін қателер туралы хабар Matlab командалық терезесінде көрінеді. Осындай жағдайлардың тізім мен оларға жауап беру реакциялары Diagnostics қосымша бетінің тізімінде берілген (2.10-сурет).



2.10-сурет. Diagnostics қосымша беті

Жасаушы Action өрісінде ауыстырып-қосқыштың біреуін пайдалану арқылы әрқайсысына қажетті реакциялардың түрін көрсете алады:

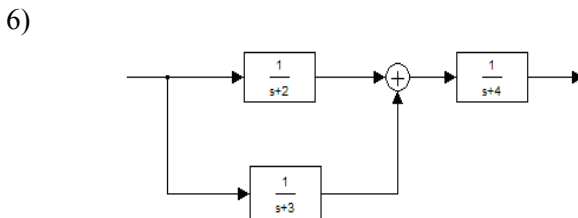
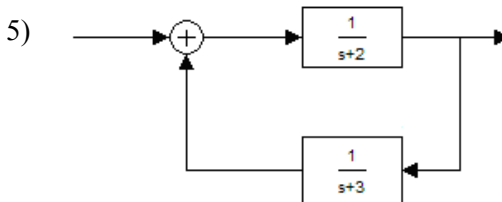
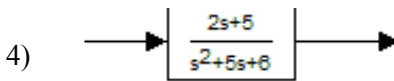
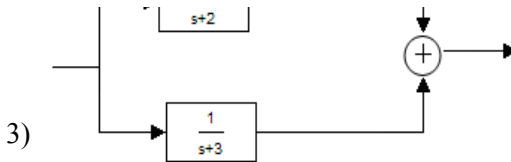
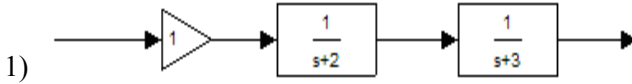
- None – ескермеу;
- Warning – ескерту беру және модельдеуді жалғастыру;
- Error – қате туралы хабар беріп, модельдеуді тоқтату.

Есептеуді жүргізу мен аяқтау. Есептеуді орындау үшін мәзірдегі Simulation/Start пунктін немесе инструменттер панеліндегі  батырмасын қолдану арқылы орындауға болады. Есептеуді мәзірдегі Simulation/Stop немесе  батырмасын таңдау арқылы ерте аяқтауға болады. Есептеуді Simulation/Pause арқылы тоқтатып, Simulation/Continue арқылы жалғастыруға болады.

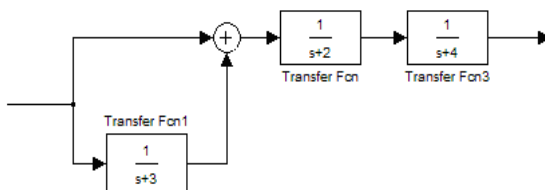
Жұмысты аяқтау үшін файлда модельді сақтау, модель терезесін жабу, кітапханаларды шолушы терезені және Matlab пакетінің негізгі терезесін жабу қажет.

2.5 Жұмыс тапсырмасы

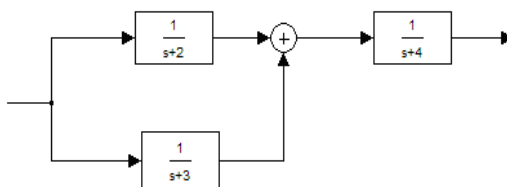
1. Келесі құрылымдарды қолданып Simulink ортасында басқару жүйесінің моделін құру:



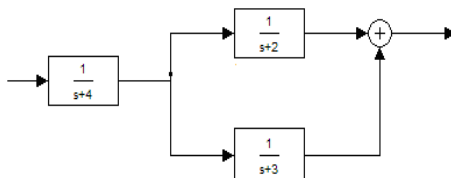
7)



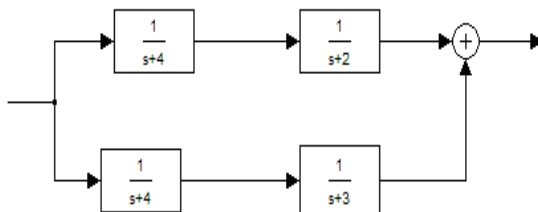
8)



9)



10)

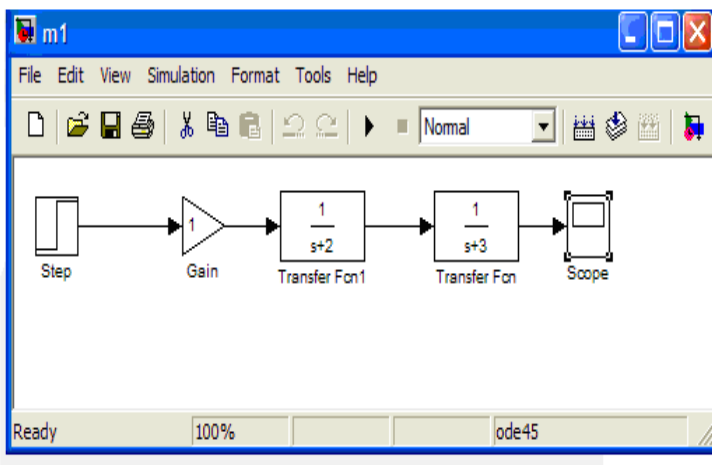


1. Қолданылған программалық пакеттерінің жұмыс принциптерін қысқаша сипаттап беру.
2. Өткізілген жұмыс туралы қорытынды жасау.

2.6. Жұмысты орындау барысы

1. Simulink блоктарының Sources (көздер), Sinks (ақпарат ағындары), Discrete (Дискретті), Linear (сызықты), Nonlinear (бейсызықты), Signals&Systems (Сигналдар мен жүйелер) кітапханаларын ашып олардың мазмұнымен танысыңыз.

2. Нұсқа нөмірі бойынша басқару жүйесінің моделін құру. Басқару жүйесінің моделінің кірісіне сатылы әсер (Sources кітапханасының Step блогы) беріледі, модельдің шығысы графикалық дисплейге (Sinks кітапханасының Scope блогы) қосылады. Нәтижесінде келесі сұлба алынады:



2.11-сурет. Құрылған сұлба терезесі

Бақылау сұрақтары

1. Simulink пакетінің құрамы мен тағайындалуы.
2. Simulink жіберу мен командаларды енгізу.
3. Simulink-те басқару жүйелерінің модельдерін құру.
4. Симуляция параметрлерін беруге арналған Solver бетбелгісі.
5. Симуляция параметрлерін беруге арналған Workspace I/O бетбелгісі.

6. Симуляция параметрлерін беруге арналған Diagnostics бетбелгісі.

7. Simulink пакетінің жүйелерді модельдеуге арналған кітапханалары.

8. Бір контурлы басқару жүйесінің моделін құру тәртібі мен оның блоктары.

3. АВТОМАТТЫ ЖҮЙЕЛЕРДІҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ СИПАТТАЛУЫ. ТИПТІК ҮЗБЕЛЕР

Жүйені жобалау стратегиясында басқару процесі дифференциалдық, интегралдық және алгебралық теңдеулер арқылы зерттеледі, яғни математикалық модель арқылы. Ондай зерттеудің мақсаты анализ және синтез мәселесін шешу.

1. Анализ. Жүйе өзінің құрылымымен және параметрлерімен беріледі де, зерттеу мақсаты жүйе қасиеттерінің орнықтылығын, дәлдігін анықтау.

2. Синтез. Жүйенің қажетті қасиеттері беріледі де, ал зерттеу мақсаты сол қойылған талаптарды қанағаттандыратын жүйенің құрылымын және параметрлерін анықтау. Жүйенің математикалық жазуында инерциялық элементтер дифференциалдық, интегралдық немесе алгебралық теңдеулермен жазылады. Оларды динамикалық теңдеулер деп атайды. Инерциялық емес элементтер және сыртқы әсерлер тұрақты түрде әрекет етсе, (жүйенің тұрақталынған режимі) алгебралық теңдеулермен жазылады. Оларды статика теңдеулері деп атайды.

3.1. Типтік үзбелер мен олардың сипаттамалары

Автоматты реттеу жүйелерінің үзбелерінің сипаттамалары, олардың динамикалық қасиеттерін бағалау, жүйені талдау мен синтездеу үшін қажет.

Жиіліктік сипаттамалар сызықты стационарлық жүйелерді сипаттау кезінде маңызды болып табылады. Олар жүйенің кірісіне гармоникалық әсер беру кезінде оның мәжбүрлі қозғалыстарын қарастырған кезде алынады.

Сызықты жүйелер үшін суперпозиция принципі әділ: *жүйенің бірнеше бір уақытта әрекет ететін кіріс әсерлеріне реакциясы әрбір әсерді бөлек алғандағы реакциялардың қосындысына тең*. Бір кірісі бар сызықты стационарлық жүйенің теңдеуін келесідей жазуға болады:

$$(a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_n) y = (b_0 p^m + b_1 p^{m-1} + \dots + b_m) u \quad (3.1)$$

Анықтама бойынша оның беріліс функциясы:

$$W(p) = \frac{b_0 p^m + b_1 p^{m-1} + \dots + b_m}{a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_n} \quad (3.2)$$

$W(j\omega)$ функциясын алу үшін (3.2) амалға $p = j\omega$ орнына қою қолданылады:

$$W(j\omega) = \frac{b_0 (j\omega)^m + b_1 (j\omega)^{m-1} + \dots + b_m}{a_0 (j\omega)^n + a_1 (j\omega)^{n-1} + \dots + a_n} \quad (3.3)$$

$W(j\omega)$ функциясы жиіліктік беріліс функциясы деп аталады. $W(j\omega)$ функциясын

$$W(j\omega) = U(\omega) + jV(\omega) = A(\omega)e^{j\phi(\omega)} \quad (3.4)$$

түрінде беруге болады, мұндағы $A(\omega) = \sqrt{U^2(\omega) + V^2(\omega)}$, $\phi(\omega) = \arg W(j\omega)$. Егер $|\arg W(j\omega)| \leq \pi/2$, онда

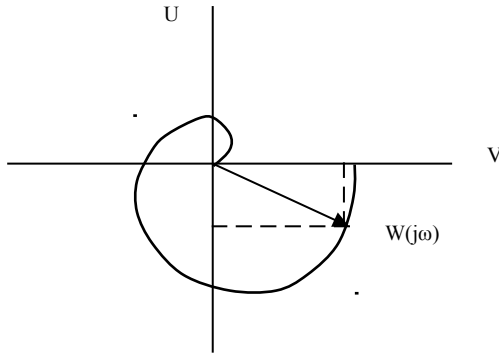
$$\phi(\omega) = \arctg \frac{V(\omega)}{U(\omega)}. \quad (3.5)$$

Комплексті жазықтықта $W(j\omega)$ функциясы ұзындығы $A(\omega)$ тең, ал аргументі $\phi(\omega)$ тең векторды анықтайды. Жиіліктің 0-ден ∞ -ке (кейде $-\infty$ -тен ∞ -ке) дейін өзгерген кезінде осы вектордың ұшы сипаттайтын қисық амплитудалық-фазалық жиіліктік сипаттама (АФЖС) деп аталады. $A(\omega) = |W(j\omega)|$ модулі амплитудалық жиіліктік функция, ал оның графигі – фазалық жиіліктік сипаттама (ФЖС) деп аталады.

Аталған жиіліктік сипаттамалардан басқа логарифмдік жиіліктік сипаттамалар (ЛЖС) – логарифмдік амплитудалық

жиіліктік сипаттамалар (ЛАЖС) және логарифмдік фазалық жиіліктік сипаттамалар (ЛФЖС) қолданылады.

Келесі суретте АФЖС көрсетілген:



3.1-сурет. Амплитудалық-фазалық жиіліктік сипаттама

Автоматты жүйелердің басқа маңызды сипаттамаларының бірі болып өтпелі және импульстік өтпелі функциялар мен олардың графиктері (уақыттық сипаттамалар) болып табылады. Олар стационарлы және стационарлы емес сызықты жүйелерді сипаттау кезінде қолданылады.

Жүйенің (үзбенің) өтпелі функциясы деп оның кірісіне бастапқы нөлдік шарттар кезінде бірлік сатылы әсер берілген кездегі жүйенің (үзбенің) шығыс шамасының өзгеруін сипаттайтын функцияны айтады. Өтпелі функцияны $h(t)$ деп белгілейді. Аналитикалық түрде бірлік сатылы әсерді бірлік функциямен сипаттауға болады:

$$1(t) = \begin{cases} 1, & t \geq 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases} \quad (3.6)$$

Өтпелі функцияның графикін - $h(t)$ функциясының уақыттан байланысы - өтпелі немесе екпін алу сипаттамасы деп атайды.

Импульсті өтпелі немесе салмақты функция деп бастапқы нөлдік шарттарындағы жүйенің (үзбенің) бірлік импульсті әсеріне беретін реакциясын бейнелейтін функцияны айтады. Бұл

функция $w(t)$ деп белгіленеді. Импульсті өтпелі функцияның графигі импульсті өтпелі сипаттама деп аталады.

Өтпелі және импульсті өтпелі сипаттамаларды уақыттық сипаттамалар деп атайды.

Салмақты функцияны анықтаған кезде бірлік импульс түсінігі қолданылды. Бірлік импульсті физикалық түрде бірлік ауданды шектейтін өте тар импульс ретінде көрсетуге болады. Математикалық түрде ол, дельта-функция деп аталатын $\delta(t)$ функциясымен сипатталады.

3.1.1. Пропорционалды үзбе

Егер үзбенің шығыс және кіріс шамаларының арасында

$$y = kx \quad (3.7)$$

түріндегі тәуелділік болса, онда ол пропорционалды үзбе деп аталады. Үзбенің операторлық түрдегі тендеуі $y(p) = kx(p)$ түрінде болады, ал беріліс функциясы:

$$W(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = k \quad (3.8)$$

Үзбенің жиіліктік сипаттамалары:

$$W(j\omega) = k$$

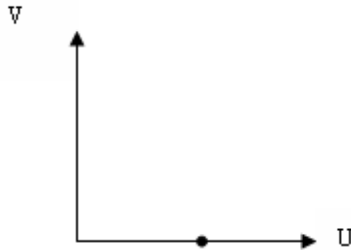
$$V(\omega) = 0$$

$$U(\omega) = k$$

$$A(\omega) = k$$

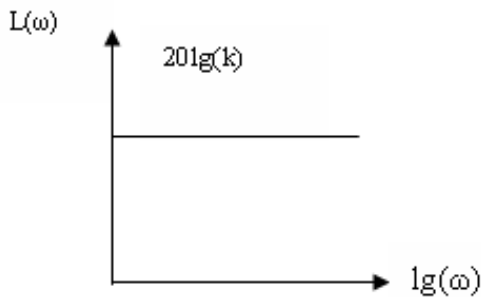
$$\phi(\omega) = 0 .$$

Пропорционалды үзбенің кейбір сипаттамаларын (годографын) қарастырайық. Үзбенің АФЖС-ы 3.2-суретте көрсетілген:



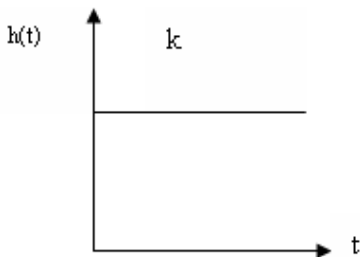
3.2-сурет. Пропорционалды үзбенің АФЖС-ы

Үзбенің ЛАЖС келесі суретте көрсетілген:



3.3-сурет. Пропорционалды үзбенің ЛАЖС

Үзбенің өтпелі сипаттамасы келесі суретте көрсетілген:



3.4-сурет. Пропорционалды үзбенің өтпелі сипаттамасы

3.1.2. Анериодты үзбе

Бұл үзбенің теңдеуі:

$$T \frac{dy}{dt} + y = kx \quad (3.9)$$

немесе операторлық түрде:

$$(Tp + 1)Y(p) = kX(p) .$$

Үзбенің беріліс функциясы:

$$W(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = \frac{k}{Tp + 1} . \quad (3.10)$$

Жиіліктік беріліс функциясы:

$$W(j\omega) = \frac{k}{Tj\omega + 1} \quad (3.11)$$

(3.11) амалдың алымы мен бөлімін бөлімге комплексті жанасқан санға көбейтіп келесіні аламыз:

$$U(\omega) = \frac{k}{(T\omega)^2 + 1} ; \quad V(\omega) = - \frac{kT\omega}{(T\omega)^2 + 1} .$$

(3.11) жиіліктік беріліс функциясының алымының модулі k , ал бөлімінің модулі $\sqrt{(T\omega)^2 + 1}$ тең болғандықтан

$$A(\omega) = \frac{k}{\sqrt{(T\omega)^2 + 1}}. \quad (3.12)$$

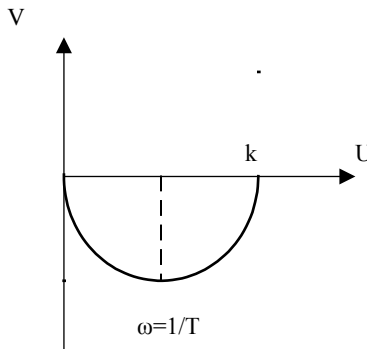
Осыдан

$$L(\omega) = 20 \lg A(\omega) = 20 \lg k - 20 \lg \sqrt{(T\omega)^2 + 1} \quad (3.13)$$

Салмақтық функция:

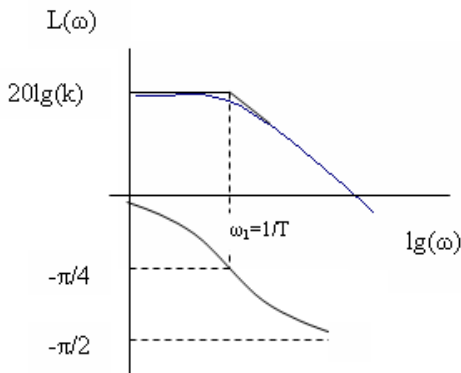
$$h(t) = \frac{k}{T} e^{-t/T} \quad (3.14)$$

Апериодтық үзбенің АФЖС жартылай шеңбер болып табылады:



3.5-сурет. Апериодтық үзбенің АФЖС

Логарифмдік жиіліктік сипаттамалар 3.6-суретте көрсетілген:

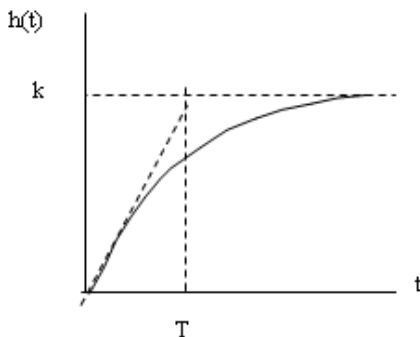


3.6-сурет. Апериодты үзбенің ЛЖС

Асимптоталар қиылысатын $\omega_1 = 1 / T$ жиілігі жанасушы деп аталады. Дәл және асимптоталық логарифмдік амплитудалық жиіліктік сипаттама жанасушы жиілікте ең көп ерекшеленеді, бұл жиіліктегі ауытқу шамамен 3 дБ құрайды.

Логарифмдік фазалық жиіліктік сипаттама $\omega \rightarrow 0$ кезінде нөлге және $\omega \rightarrow \infty$ болғанда $-\pi / 2$ асимптотикалық ұмтылады. $\omega = \omega_1$ болғанда фазалық жиіліктік функцияның мәні $-\pi / 4$ тең болады.

Өтпелі сипаттама экспоненциалды қисық болып табылады (3.7-сурет):



3.7-сурет. Апериодты үзбенің өтпелі сипаттамасы

Бұл сипаттама бойынша $h(\infty)$ орнатылған мәніне тең беріліс коэффициентін, уақыт тұрақтысын табуға болады.

3.1.3. Тербелмелі үзбе

Тербелмелі үзбе деп

$$T^2 \frac{d^2 y}{dt^2} + 2\xi T \frac{dy}{dt} + y = kx \quad (3.15)$$

дифференциалды теңдеуімен өрнектелетін үзбені айтады, мұндағы k - үзбенің беріліс коэффициенті, ξ - өшу параметрі, T – уақыт тұрақтысы. (3.15) теңдеудің операторлық түрі:

$$(T^2 p^2 + 2\xi T p + 1)Y(p) = kX(p) \quad (3.16)$$

Үзбенің беріліс функциясы:

$$W(p) = \frac{k}{T^2 p^2 + 2\xi T p + 1} \quad (3.17)$$

(3.17) амалдан үзбенің жиілікті беріліс функциясын анықтаймыз:

$$W(j\omega) = \frac{k}{1 - T^2 \omega^2 + j2\xi T \omega} \quad (3.18)$$

Бұл амалдың алымы мен бөлімін оның бөліміне комплексті жанасқан амалға көбейтіп нақты және жорамал жиілікті функцияларды аламыз:

$$U(\omega) = \frac{k(1 - \omega^2 T^2)}{(1 - \omega^2 T^2)^2 + (2\xi \omega T)^2} \quad (3.19)$$

$$V(\omega) = \frac{2k\xi \omega T}{(1 - \omega^2 T^2)^2 + (2\xi \omega T)^2} \quad (3.20)$$

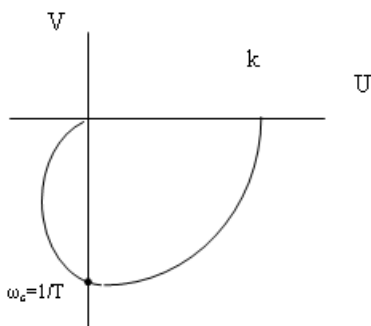
Комплексті жиілік функциясының модулі мен аргументі:

$$A(\omega) = \frac{k}{\sqrt{(1 - \omega^2 T^2)^2 + (2\xi\omega T)^2}} \quad (3.21)$$

$$\phi(\omega) = -\arctg \frac{2\xi\omega T}{1 - \omega^2 T^2} \quad (3.22)$$

$W(j\omega)$ годографы нақты осьте $\omega=0$ болғанда k нүктесінен басталады (3.8-сурет).

Жиіліктің өсуіне қарай $W(j\omega)$ модулі артып, $\omega_c = 1/T$ нүктесінде $1/2\xi$ максимумға жетеді, ал үзбенің шығысындағы сигнал кірістен -90° -қа қалып отырады. Жиілікті арттырғанда шығыстық сигналының амплитудасы кеміп, $\omega \rightarrow \infty$ кезінде модуль $A(\omega) \rightarrow 0$, ал фаза $\phi(\omega) \rightarrow -180^\circ$ ұмтылады.



3.8-сурет. Тербелмелі үзбенің АФЖС-ы

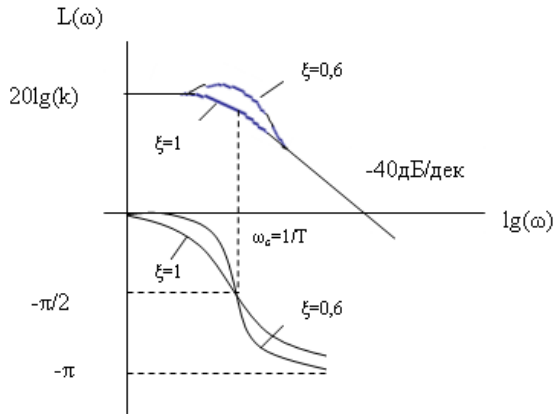
Логарифмдік жиіліктік сипаттамаға көшу үшін (3.21) теңдеуі келесіге түрлендіріледі:

$$L(a) = 20 \lg k - 20 \lg \sqrt{(1 - \omega^2 T^2)^2 + (2\xi\omega T)^2} \quad (3.23)$$

(3.23) амалда төменгі жиілікте $\omega \ll 1/T$ түбір астындағы барлық шамаларды ескермеуге болады, сонда:

$$L(\omega) = 20 \lg k \quad (3.24)$$

Бұл жиілік ЛАС-ның бірінші асимптотасы (3.9-сурет):



3.9-сурет. Тербелмелі үзбенің ЛЖС

Жоғары жиілікте $\omega \gg 1/T$ (3.23) формуладағы түбір астындағы мүшелер $1 \ll \omega^2 T^2$, ал $(2\xi\omega T)^2 \ll (\omega^2 T^2)$, сонда:

$$L(a) = 20\lg k - 20\lg(\omega T)^2 \approx 20\lg k - 40\lg \omega T \quad (3.25)$$

Бұл, -40 дБ/дек көлбеуімен ЛАС-ның екінші асимптотасы. Асимптоталардың қиылысу нүктесі ω_c жанасу жиілігіне сәйкес келеді, ол $k = 1$ кезінде (3.25) формуладан анықталады:

$$- 20\lg 1 = - 40\lg \omega T \quad (3.26)$$

Осыдан, $\omega = \omega_c = 1/T$. Асимптотикалық ЛАЖС-ның дәл ЛАЖС-нан өте ерекшеленетінін айтуға болады. Дәл ЛАЖС-ны асимптотикалық ЛАЖС бойынша ауытқу қисықтарын қолданып салуға болады.

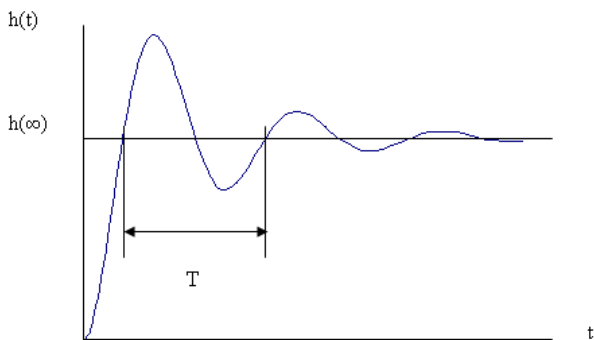
Логарифмдік фазалық сипаттама (3.22) формуласына сәйкес тұрғызылады. Фаза төменгі жиіліктен 0° -тан $\omega \rightarrow \infty$ кезінде

- 180° -қа дейін өзгереді. Жанаспа жиілікте шығыстық сигнал фазасы кірістен - 90° -қа қалыс қалады.

(3.15) дифференциалды теңдеуді тікелей шешу жолымен үзбенің $h(t)$ өтпелі сипаттамасын алуға болады:

$$h(t) = k(1 - e^{-\alpha t} (\alpha / \omega \sin \omega_1 t + \cos(\omega_1 t + t))) \quad (3.27)$$

мұндағы $\alpha = \xi / T$ өшу коэффициенті, ал $\omega_1 = (\sqrt{1 - \xi^2}) / T = \omega_0 \sqrt{1 - \xi^2}$ - үзбе тербелісінің меншікті жиілігі. (3.27)-ден α өшу коэффициентінің кемуіне сәйкес процестің тербелмелілігі артады, өйткені $\lim_{\alpha \rightarrow 0} e^{-\alpha t} = 1$. Үзбенің өтпелі сипаттамасы келесі суретте көрсетілген:



3.10-сурет. Тербелмелі үзбенің өтпелі сипаттамасы

3.1.4. Дифференциалдаушы үзбе

Дифференциалдаушы үзбе

$$y = k \frac{dx}{dt} \quad (3.28)$$

теңдеуімен сипатталады. Операторлық түрде:

$$y(p) = kpx(p) \quad (3.29)$$

Үзбенің беріліс функциясы:

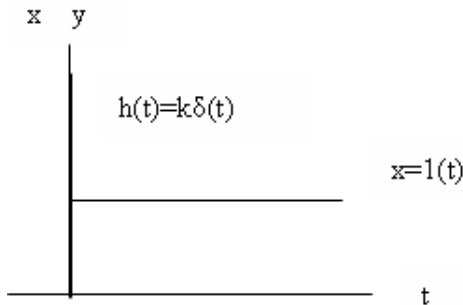
$$W(p) = kp. \quad (3.30)$$

Идеалды дифференциалдаушы үзбенің мысалы ретінде, $U_T(t)$ шығыс кернеуі оның якорының $\Omega(t)$ айналу жиілігіне пропорционал, демек $U_T(t) = k\Omega(t)$, тахогенераторды (валдың айналу жиілігінің датчигі) айтуға болады. Егер кіріс шамасы ретінде оның әкірінің $\phi(t)$ бұрылу бұрышы қарастырылатын болса, онда $U_T(t) = k \frac{d\phi(t)}{dt}$.

Өтпелі сипаттама сатылы ықпалдың уақыт бойынша туындысына сәйкес келеді:

$$h(t) = L^{-1}(W(p)/p) = L^{-1}(kp/p) = L^{-1}(k) = k1'(t) = k\sigma(t) \quad (3.31)$$

демек, ол шексіз үлкен импульсті білдіреді (3.11-сурет).



3.11-сурет. Дифференциалдаушы үзбенің өтпелі сипаттамасы

Үзбенің жиіліктік сипаттамалары:

$$W(j\omega) = jk\omega \quad U(\omega) = 0 \quad V(\omega) = k\omega \quad A(\omega) = k\omega$$

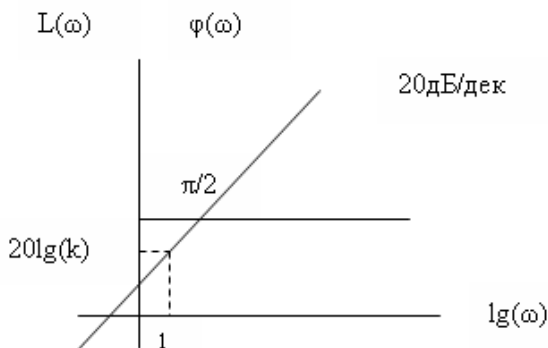
$$\phi(\omega) = \frac{\pi}{2} \quad L(\omega) = 20 \lg k + 20 \lg \omega$$

Амплитудалық фазалық жиіліктік сипаттама оң жорамал жарты осымен беттеседі (3.12-сурет):



3.12-сурет. Дифференциалдаушы үзбенің АФЖС

ЛАЖС $\omega = 1$ және $L(\omega) = 20 \lg k$ координаталы нүкте арқылы өтетін және 20 дБ/дек көлбеуі бар түзу болып табылады (3.13-сурет).



3.13-сурет. Дифференциалдаушы үзбенің ЛЖС-ы

Жиілікті бір декадаға көбейткен кезде $L(\omega)$ 20 дБ артады. ЛФЖС жиіліктер осіне параллель және $\phi = \pi/2$ деңгейінде өтеді. Фазаның жылжуы жиілікке тәуелді емес және $\pi/2$ тең.

3.1.5. Интегралдаушы үзбе

Басқару жүйесі үзбенің шығыс сигналы $x(t)$ кіріс сигналынан келесі интеграл түрінде анықталатын болсын:

$$y(t) = k \int_0^t x(t) dt \quad (3.32)$$

мұндағы, $k > 0$ - тұрақты коэффициент.

Лаплас түрлендіруінен кейін келесіні аламыз:

$$y(p) = \frac{k}{p} x(p) \quad (3.33)$$

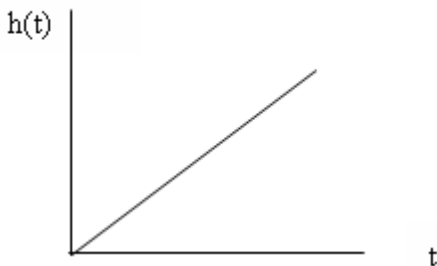
Осылайша, интегралды үзбенің беріліс функциясы

$$W(p) = \frac{k}{p} \quad (3.34)$$

түрінде жазылады. Лапластың кері түрлендіру кестесінен $1/p^2 = t$, сондықтан өтпелі сипаттама

$$h(t) = kt. \quad (3.35)$$

Өтпелі сипаттаманың түрі интегралдаушы үзбенің бейтарап астатикалық үзбе болатынын көрсетеді (3.14-сурет):



3.14-сурет. Интегралдаушы үзбенің өтпелі сипаттамасы

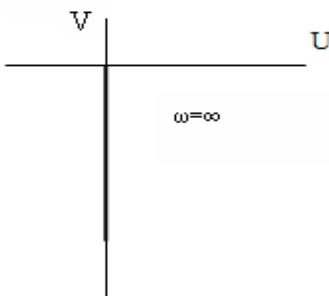
Үзбенің кірістік және шығыстық шамаларының арасында бір мәнді сәйкестік жоқ.

Үзбенің жиіліктік сипатамалары:

$$W(j\omega) = \frac{k}{j\omega} = -j \frac{k}{\omega} \quad U(\omega) = 0 \quad V(\omega) = -\frac{k}{\omega}$$

$$A(\omega) = \frac{k}{\omega} \quad \phi(\omega) = -\frac{\pi}{2}.$$

Жиілік 0-ден ∞ -ке дейін өзгергенде $A(\omega)$ модулі нөлге ұмтылады, демек үзбе жоғары жиілікті өткізбейді (3.15-сурет):

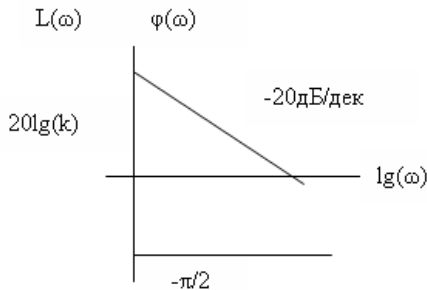


3.15-сурет. Интегралдаушы үзбенің АФС

Логарифмдік амплитудалық сипаттама:

$$L(\omega) = 20 \lg A(\omega) = 20 \lg k - 20 \lg \omega. \quad (3.36)$$

ЛАЖС $\omega = 1$ және $L(\omega) = 20 \lg k$ координаталы нүкте арқылы өтетін және 20 дБ/дек көлбеулі түзу болып табылады (3.16-сурет).



3.16-сурет. Интегралдаушы үзбенің ЛЖС-ы

(3.36) теңдеуден көрінетіндей жиілікті бір декадаға арттырғанда $L(\omega)$ ординатасы 20 дБ-ге азаяды. Сондықтан, ЛАЖС-ның көлбеуі -20 дБ/дек тең. ЛФЖС жиіліктер осіне параллель және $\phi = -\pi/2$ деңгейінде өтеді. Фазаның жылжуы жиілікке тәуелді емес және $-\pi/2$ тең.

3.2. Жұмыс тапсырмасы

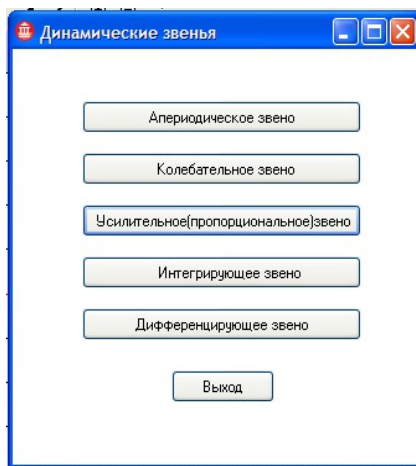
1. Типтік динамикалық үзбелер бойынша теориялық бөліммен танысып, оқытушыдан тапсырма нұсқасын алу.
2. Тапсырма нұсқасы бойынша бастапқы мәліметтерді енгізу (2-кесте).
3. Пропорционалды, аperiodты, тербелмелі, интегралдаушы, дифференциалдаушы үзбелердің сипаттамаларын алу.
4. Жұмысты орындау барысында алынған сипаттамаларды келтіру және оларға түсініктемелер жазу.
5. Жүйенің сипаттамалары бойынша қорытынды жасау.

Үзбелердің параметрлерінің сандық мәндері

Нұсқа Параметр	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
K	0,4	5,2	0,16	3,8	0,31	7,0	0,84	5,0	0,65	2,7
T	0,22	0,37	0,48	0,61	0,85	1,9	3,5	5,2	7,0	9,2
ξ	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,03	0,6	0,08	0,9	0,7
T ₁	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
T ₂	0,2	0,1	0,4	0,1	0,8	0,2	1,0	0,2	0,4	0,25
T ₃	0,4	0,5	0,6	0,2	0,3	0,1	0,5	0,1	0,2	0,3
T ₄	0,1	0,2	0,2	0,3	0,1	0,3	0,2	0,4	0,3	0,5

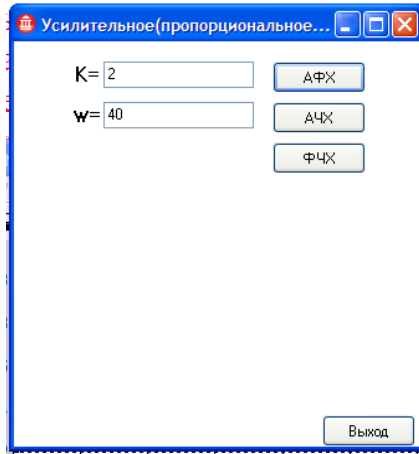
3.3. Программалық қамтама және жұмысты орындау барысы

Пропорционалды үзбенің сипаттамаларын зерттеу. Программалық қамтама Delphi объектілі-бағытталған ортасында құрылған. Үзбелердің сипаттамаларын зерттеу үшін zveno.exe файлын жіберу керек. Бұл файл жіберілгеннен кейін келесі терезе пайда болады:



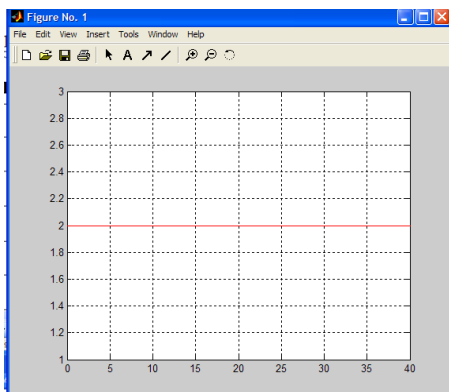
3.17-сурет. Үзбені таңдау терезесі

Программалық қамтаманы қолданып апериодты, тербелмелі, пропорционалды, интегралдаушы және дифференциалдаушы үзбелердің сипаттамаларын зерттеуге болады. Қажетті үзбені таңдағаннан кейін параметрлердің мәні енгізіледі. Пропорционалды үзбе үшін келесіні аламыз:



3.18-сурет. Параметрлерді енгізу терезесі

Параметрлердің мәнін енгізгеннен кейін сәйкес батырмаларды басып, үзбенің амплитудалық фазалық сипаттамасын (АФС), амплитудалық жиіліктік сипаттамасын (АЖС) және фазалық жиіліктік сипаттамасын (ФЖС) алуға болады. Келесі суретте пропорционалды үзбенің АФС көрсетілген:

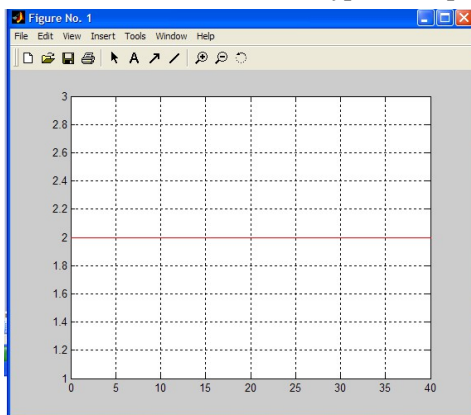


3.19-сурет. Пропорционалды үзбенің АФС

Үзбенің АЖС жиіліктер осіне параллель болады және

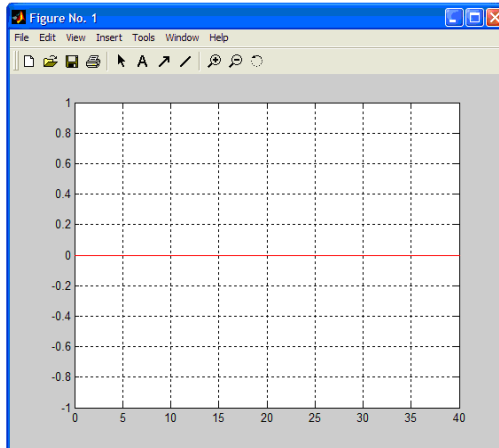
$$A(\omega) = k$$

деңгейінде өтеді. Үзбенің АЖС келесі суретте көрсетілген:



3.20-сурет. Пропорционалды үзбенің АЖС

Үзбенің ФЖС жиіліктердің оң жартылай осімен беттеседі.
Пропорционалды үзбенің ФЖС келесі суретте көрсетілген:



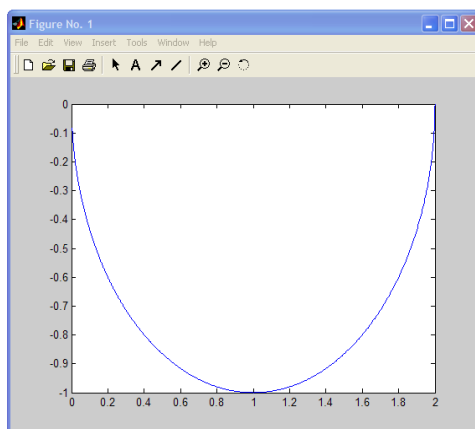
3.21-сурет. Пропорционалды үзбенің ФЖС

Апериодты үзбенің сипаттамаларын зерттеу. Үзбенің сипаттамаларын зерттеу үшін апериодты үзбенің батырмасы таңдалып, нұсқа бойынша үзбе параметрлерінің мәндері енгізіледі (3.22-сурет).

A screenshot of a software window titled "Апериодическое звено" (Aperiodic Link). The window contains three input fields for parameters: "K=" with the value "2", "T=" with the value "0.5", and "w=" with the value "50". To the right of each input field is a button: "АФХ" (next to K), "АЧХ" (next to T), and "ФЧХ" (next to w). At the bottom right of the window is a button labeled "Выход" (Exit). The window has a standard title bar and window control buttons.

3.22-сурет. Үзбенің параметрлерін енгізу терезесі

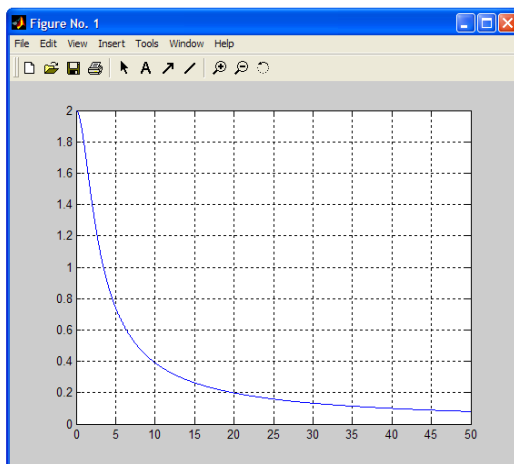
Параметрлерді енгізгеннен кейін үзбенің АФС, АЖС, ФЖС алуға болады. Келесі суретте бірінші ретті апериодты үзбенің АФС көрсетілген:



3.23-сурет. Аперидты үзбенің АФС

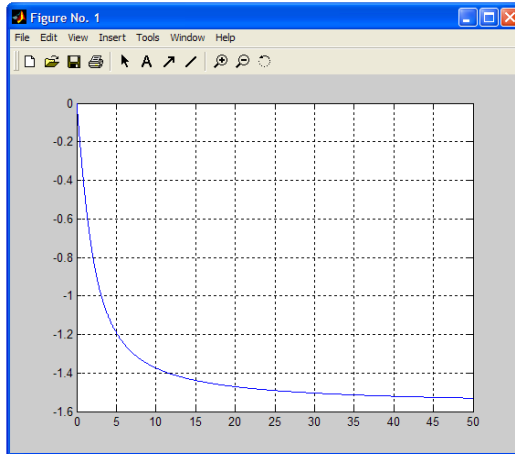
Программаның нәтижесі бойынша аперидты үзбенің АФС жартылай шеңбер болатынын көреміз.

Үзбенің АЖС келесі суретте көрсетілген:



3.24-сурет. Аперидты үзбенің АЖС

Аперидты үзбенің ФЖС келесі суретте көрсетілген:



3.25-сурет. Аперидоты үзбенің ФЖС

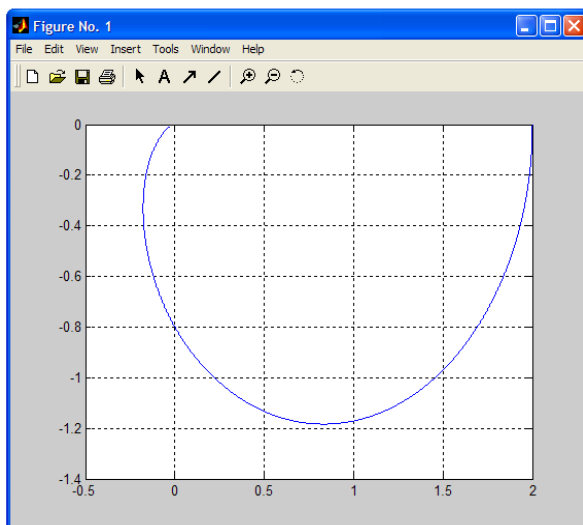
Тербелмелі үзбенің сипаттамаларын зерттеу. Үзбенің сипаттамаларын зерттеу үшін қажетті батырма таңдалады және үзбенің параметрлері енгізіледі:

The window is titled 'Колебательное звено' and contains four input fields for parameters: $K=$ 2, $T1=$ 0.5, $T2=$ 0.2, and $w=$ 45. To the right of each input field is a button: 'АФЖ' (next to K), 'АЧЖ' (next to T1), 'ФЧЖ' (next to T2), and 'Выход' (next to w). The 'Выход' button is located at the bottom right of the window.

3.26-сурет. Үзбенің параметрлерін енгізу терезесі

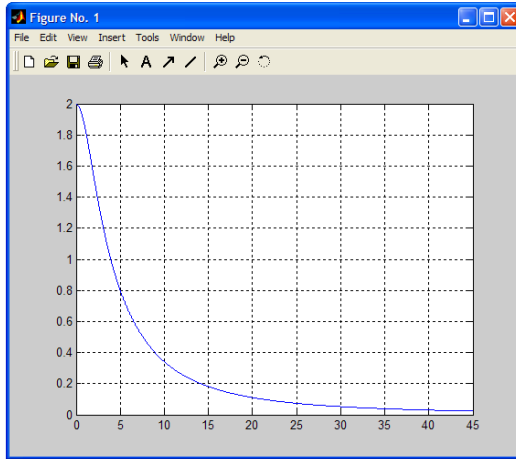
Қажетті батырмаларды басып үзбенің сипаттамаларын аламыз. Келесі суретте тербелмелі үзбенің АФС көрсетілген:

Суреттен тербелмелі үзбенің АФС нақты осьте $\omega = 0$ болғанда k нүктесінде басталатынын көреміз. Жиіліктің өсуіне қарай $W(j\omega)$ модулі артады және буынның шығысындағы сигнал кірістен -90° -қа қалып отырады. ξ өшу параметрі неғұрлым аз болса, ω жиілікте $A(\omega)$ модулі соғұрлым үлкен. Жиілікті одан ары арттырғанда шығыстық сигналының амплитудасы кеміп $\omega \rightarrow \infty$ кезінде модуль $A(\omega) \rightarrow 0$, ал фаза $\phi(\omega) \rightarrow -180^\circ$ -қа ұмтылады.



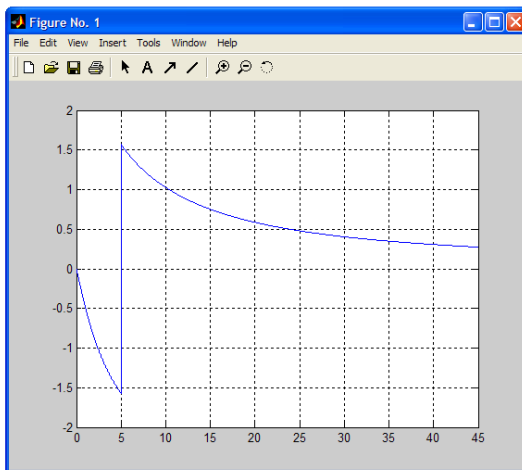
3.27-сурет. Тербелмелі үзбенің АФС

Тербелмелі үзбенің АЖС келесі суретте көрсетілген:



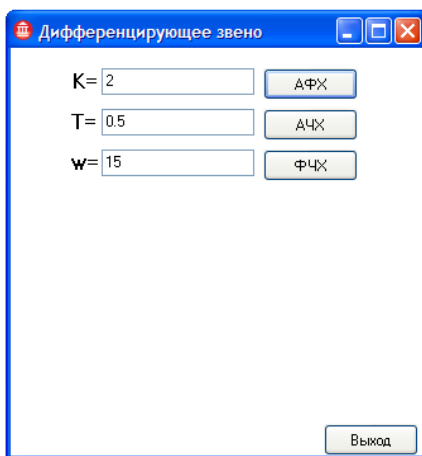
3.28-сурет. Тербелмелі үзбенің АЖС

Тербелмелі үзбенің ФЖС келесі суретте көрсетілген:



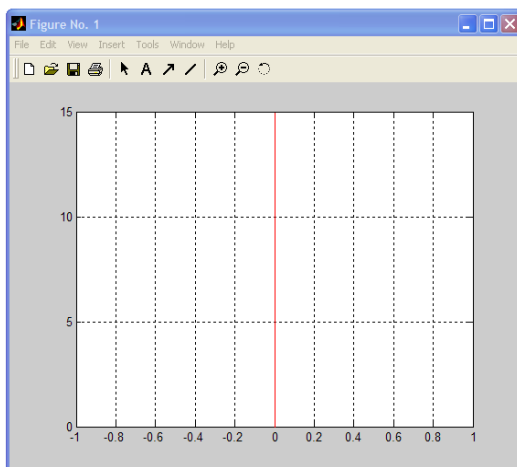
3.29-сурет. Тербелмелі үзбенің ФЖС

Дифференциалдаушы үзбенің сипаттамаларын зерттеу.
Дифференциалдаушы үзбенің батырмасын басып, үзбенің параметрлері енгізіледі:



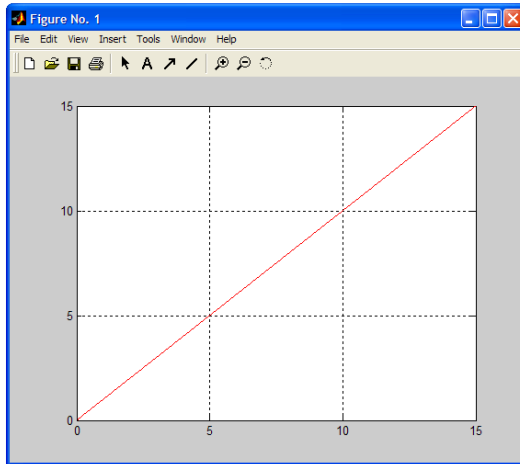
3.30-сурет. Параметрлерді енгізу терезесі

Қажетті батырмаларды басу арқылы үзбенің сипаттамалары алынады. Дифференциалдаушы үзбенің АФС келесі суретте көрсетілген:



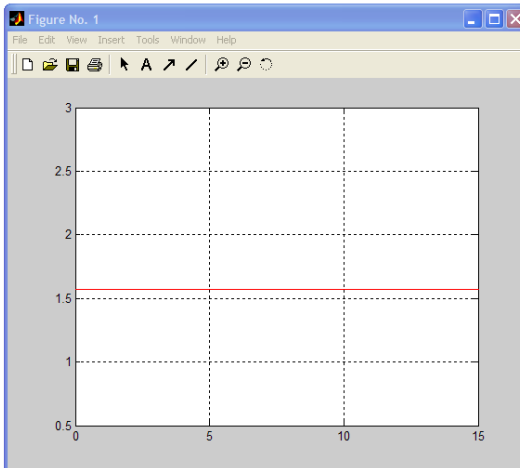
3.31-сурет. Дифференциалдаушы үзбенің АФС

Суреттен көрінетіндей үзбенің АФС оң жорамал жарты осьпен беттеседі. Үзбенің АЖС келесі суретте көрсетілген:



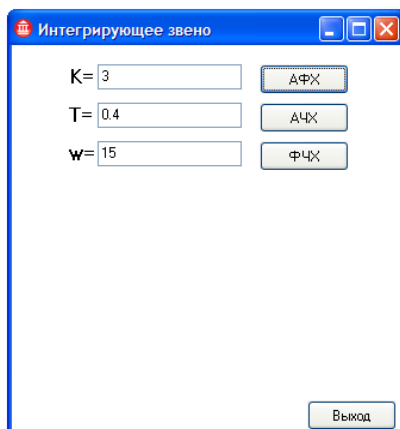
3.32-сурет. Дифференциалдаушы үзбенің АЖС

Үзбенің ФЖС жиіліктер осіне параллель және $\phi = \pi/2$ деңгейінде өтеді; фазаның жылжуы жиілікке байланысты емес және $\pi/2$ тең. Дифференциалдаушы үзбенің ФЖС келесі суретте көрсетілген:



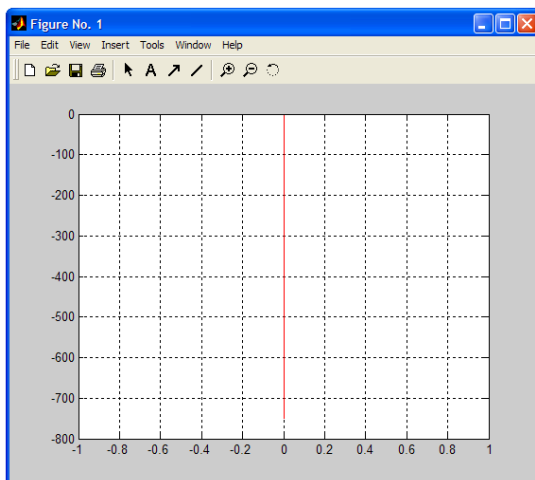
3.33-сурет. Дифференциалдаушы үзбенің ФЖС

Интегралдаушы үзбенің сипаттамаларын зерттеу.
Интегралдаушы үзбенің батырмасын таңдап, үзбенің параметрлері енгізіледі:



3.34-сурет. Параметрлерді енгізу терезесі

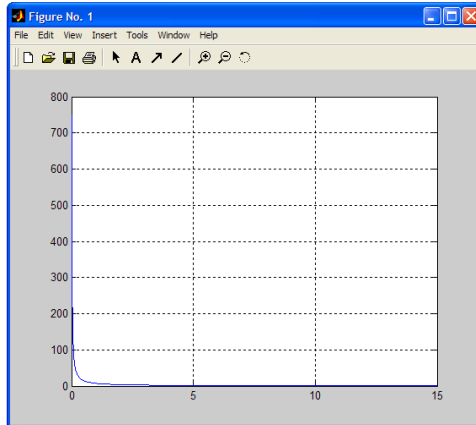
Қажетті батырмаларды басып үзбенің сипаттамалары алынады. Интегралдаушы үзбенің АФС келесі суретте көрсетілген:



3.35-сурет. Интегралдаушы үзбенің АФС

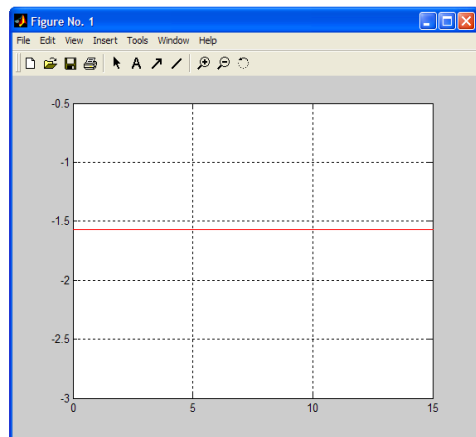
Суреттен көрінетіндей, интегралдаушы үзбенің АФС теріс жорамал жарты осыпен беттеседі.

Интегралдаушы үзбенің АЖС келесі суретте көрсетілген:



3.36-сурет. Интегралдаушы үзбенің АЖС

Үзбенің ФЖС жиіліктер осіне параллель және $\phi = -\pi/2$ деңгейінде бойынша Интегралдау



белісі фаза отырады. лген:

3.37-сурет. Интегралдаушы үзбенің ФЖС
Бақылау сұрақтары

1. Үзбе дегеніміз не?
2. Үзбелер ненің көмегімен сипатталады?
3. Беріліс функциясы белгілі болса, шығыс шамасы (Лаплас бойынша бейнесін) қалай табылады?
4. Ауытқу әсері бойынша үзбенің беріліс функциясын қалай табуға болады?
5. АБЖ типтік динамикалық үзбелерін сипаттаңыз.
6. Пропорционалды үзбенің уақыттық және жиіліктік сипаттамаларын салыңыз.
7. Апериодты үзбенің уақыттық және жиіліктік сипаттамаларын салыңыз.
8. Тербелмелі үзбенің уақыттық және жиіліктік сипаттамаларын салыңыз.
9. Интегралдаушы үзбенің уақыттық және жиіліктік сипаттамаларын салыңыз.
10. Дифференциалдаушы үзбенің уақыттық және жиіліктік сипаттамаларын салыңыз.

4. ҚҰРЫЛЫМДЫҚ ТҮРЛЕНДІРУЛЕРДІҢ

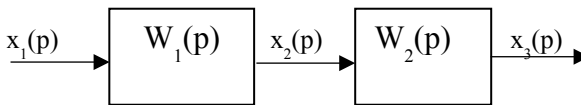
АЛГЕБРАСЫ

Құрылымдық сұлбаларда үш түрлі үзбелердің қосылуын ажырытады:

1. Тізбектей қосу
2. Паралельді қосу
3. Кері паралельді қосу

4.1. Тізбектей қосу

Үзбелер тізбектей қосылады, егер соңынан тұрған үзбенің кіру шамасы алдындағы үзбенің шығу шамасы болса.



4.1-сурет. Үзбелерді тізбектей қосу

$$x_2(p) = W_1(p) * x_1(p)$$

$$x_3(p) = W_2(p) * x_2(p) = W_1(p) * W_2(p) * x_1(p) = W_Y(p) x_1(p);$$

$$W_Y = W_1(p) * W_2(p)$$

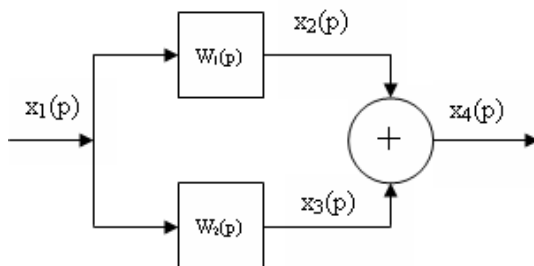
Жалпы жағдайда:

$$W_Y = \prod_{i=1}^n W_i(p) \quad (4.1)$$

Тізбектей қосылған үзбелердің эквивалентті түрлендіру функциясы барлық үзбелердің түрлендіру функцияларының көбейтіндісіне тең.

4.2. Параллель қосу

Үзбелер параллельді қосылған деп аталады, егер де кіру шамасы барлық үзбелерге ортақ болса, ал шығу шамалары қосылса.



4.2-сурет. Үзбелерді параллель қосу

$$x_2(p) = W_1(p) * x_1(p)$$

$$x_3(p) = W_2(p) * x_1(p)$$

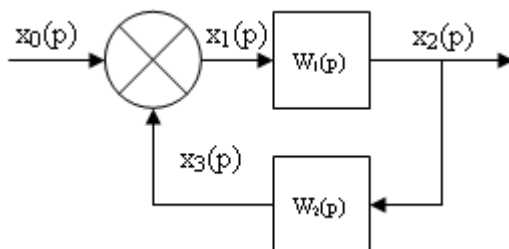
$$x_4(p) = x_2(p) + x_3(p) = W_1(p) * x_1(p) + W_2(p) * x_1(p) = (W_1(p) + W_2(p)) * x_1(p) = W_{\Sigma}(p) * x_1(p)$$

Жалпы жағдайда:

$$W_{\Sigma}(p) = \sum_{i=1}^n W_i(p) \quad (4.2)$$

Параллельді қосылған үзбелердің эквивалентті түрлендіру функциясы барлық үзбелердің түрлендіру функцияларының қосындысына тең.

4.3. Кері параллельді қосу



4.3-сурет. Үзбелерді кері параллельді қосу

Үзбелер кері параллельді қосылған деп аталады, егер әр үзбенің шығысы басқа үзбенің кірісімен қосылса.

$$x_2(p) = W_1(p)x_1(p)$$

$$x_3(p) = W_2(p)x_2(p)$$

$$x_1(p) = x_0(p) \pm x_3(p)$$

$$x_3(p) = W_1(p)W_2(p)x_1(p)$$

$$x_1(p) = x_0(p) \pm W_1(p)W_2(p)x_1(p)$$

$$x_0(p) = x_1(p)(1 \pm W_1(p)W_2(p))$$

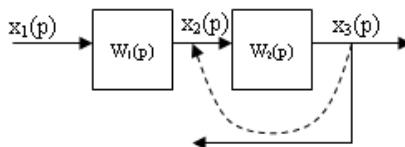
$$x_1(p) = \frac{x_0(p)}{1 \pm W_1(p)W_2(p)}$$

$$x_2(p) = \frac{W_1(p)}{1 \pm W_1(p)W_2(p)} x_0(p) \quad W_Y = \frac{W_1(p)}{1 \pm W_1(p)W_2(p)}$$

Сонымен, кері параллельді қосудың эквивалентті түрлендіру функциясы бөлшекке тең. Оның алымы тура бөліктің түрлендіру функциясы болып келеді де, ал бөлімі 1 плюс тұйықталмаған жүйенің түрлендіру функциясы болады, егер кері байланыс теріс болса, және 1 минус тұйықталмаған жүйенің түрлендіру функциясы болады, егер кері байланыс оң болса.

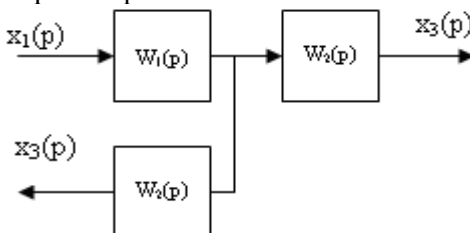
4.4. Ақпаратты алу түйінін тасымалдау ережелері

Ақпаратты алу түйінінің тасымалдау бағыты сигнал жүру бағытына қарсы болса, онда тасымалданатын тізбекке үзбе қосылады, ал үзбенің түрлендіру функциясы ескі түйінмен жаңа түйіннің арасындағы үзбенің түрлендіру функциясына тең болады.



4.4-сурет. Ақпаратты алу түйінін тасымалдау

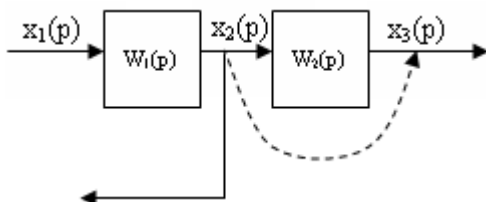
Бұл сұлбада $x_3(p) = W_1(p)W_2(p)x_1(p)$. Келесі суретте түрлендірілген сұлба көрсетілген:



4.5-сурет. Түрлендірілген сұлба

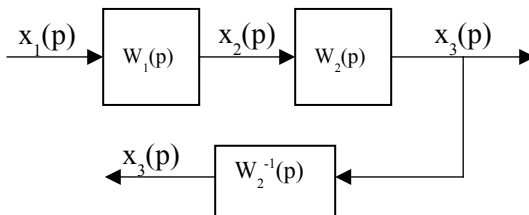
Мұнда $x_3(p) = W_1(p)W_2(p)x_1(p)$.

Ақпаратты алу түйінінің тасымалдау бағыты сигнал жүру бағытымен бағыттас болса, онда тізбекке үзбе қосылады да, оның түрлендіру функциясы ескі түйін мен жаңа түйіннің арасындағы үзбенің кері түрлендіру функциясына тең болу керек.



4.6-сурет. Ақпаратты алу түйінін тасымалдау

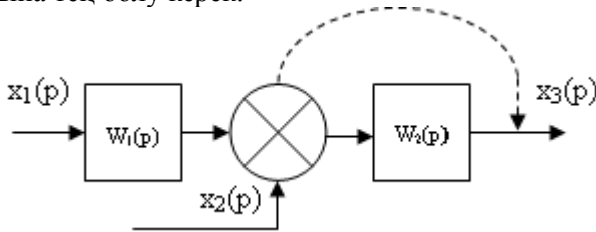
Түрлендірілген сұлба келесі суретте көрсетілген:



4.7-сурет. Түрлендірілген сұлба

Қосындылау нүктесінің тасымалдау ережелері

Егер қосындылау нүктесінің тасымалдау бағыты сигнал жүру бағытымен бағыттас болса, онда тасымалданатын тізбекке үзбе қосылады да, ал ол үзбенің түрлендіру функциясы ескі нүкте мен жаңа нүктенің арасындағы үзбенің түрлендіру функциясына тең болу керек.

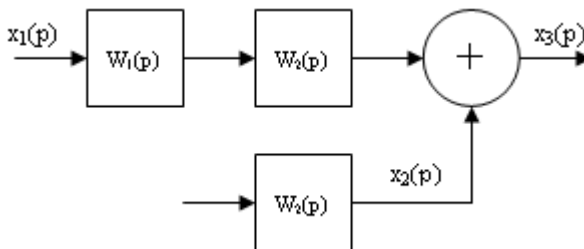


4.8-сурет. Қосындылау нүктесін тасымалдау

Үзбенің түрлендіру функциясы:

$$\begin{aligned} x_3(p) &= W_1(p)x_1(p) + x_2(p)W_2(p) = \\ &= W_1(p)W_2(p)x_1(p) + W_2(p)x_2(p) \end{aligned}$$

Түрлендірілген сұлба келесі суретте көрсетілген:

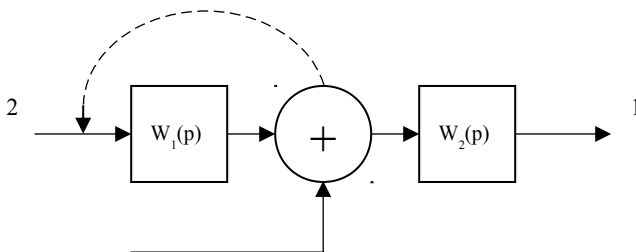


4.9-сурет. Түрлендірілген сұлба

Түрлендіру функциясы:

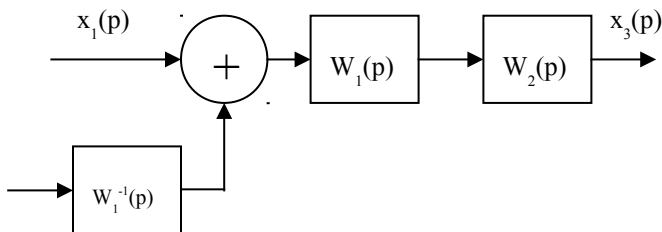
$$x_3(p) = W_1(p)W_2(p)x_1(p) + W_2(p)x_2(p)$$

Егер қосындылау нүктесінің тасымалдау бағыты сигнал жүру бағытына кері болса, онда тасымалданатын тізбекке үзбе қосылады, ал оның түрлендіру функциясы ескі нүкте мен жаңа нүктенің арасындағы үзбенің кері түрлендіру функциясына тең болу керек.



4.10-сурет. Қосындылау нүктесін тасымалдау

Нәтижесінде келесі сұлбаны аламыз:



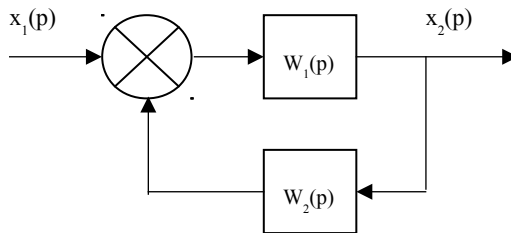
4.11-сурет. Түрлендірілген сұлба

Түрлендіру функциясы:

$$x_3(p) = (x_1(p) + \frac{x_3(p)}{W_1(p)}) W_1(p) W_2(p) =$$

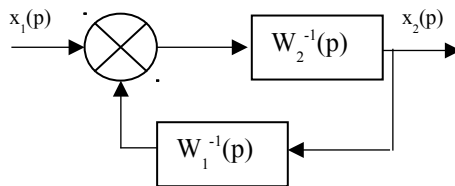
$$= W_1(p) W_2(p) x_1(p) + W_2(p) x_3(p)$$

Тура тізбек пен кері тізбектің үзбелерінің арасындағы орын ауыстыру ережесі



4.12 сурет. Берілген сұлба

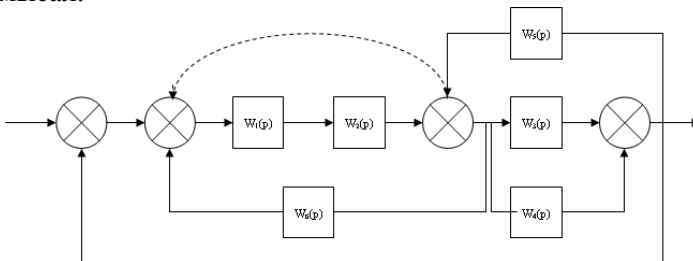
$$x_2(p) = \frac{W_1(p)}{1 \pm W_1(p)W_2(p)}$$



4.13-сурет. Түрлендірілген сұлба

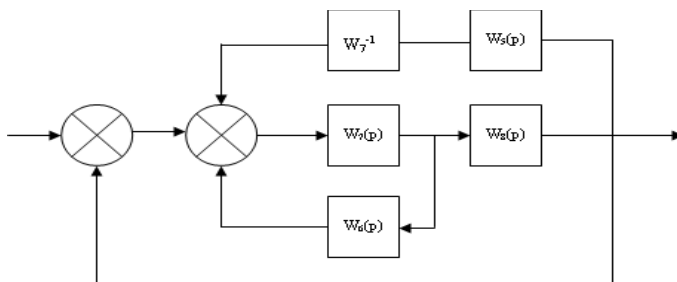
$$x_2(p) = \frac{W_2^{-1}(p)}{1 \pm W_1^{-1}(p)W_2^{-1}(p)}$$

1 мысал.



4.14-сурет. Жүйенің құрылымдық сұлбасы

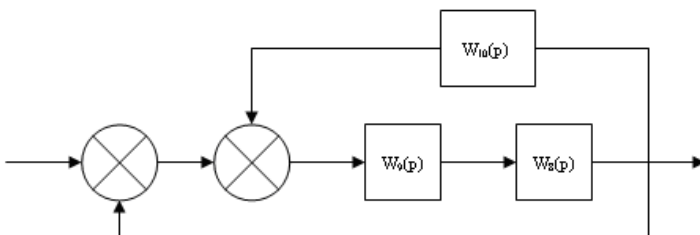
$$W_7(p) = W_1(p)W_2(p); \quad W_8(p) = W_3(p) + W_4(p)$$



4.15-сурет. Түрлендірілген сұлба

$$W_9 = \frac{W_7(p)}{1 + W_6(p)W_7(p)}$$

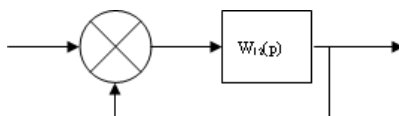
$$W_{10} = \frac{W_5(p)}{W_7(p)}$$



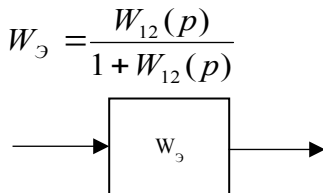
4.16-сурет. Түрлендірілген сұлба

$$W_{11}(p) = W_8(p)W_9(p)$$

$$W_{12}(p) = \frac{W_{11}(p)}{1 + W_{11}(p)W_{10}(p)}$$



4.17-сурет. Түрлендірілген сұлба

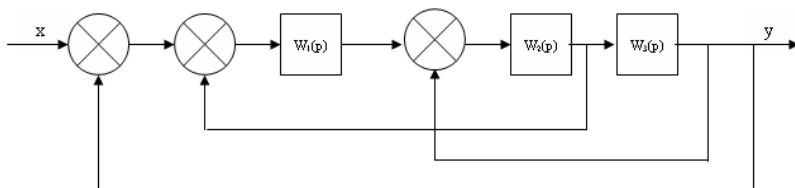


4.18-сурет. Түрлендірілген сұлба

$$\begin{aligned}
 W_{\vartheta} &= \frac{W_{12}(p)}{1 + W_{12}(p)} = \frac{\frac{W_{11}(p)}{1 + W_{11}(p)W_{10}(p)}}{1 + \frac{W_{11}(p)}{1 + W_{11}(p)W_{10}(p)}} = \frac{W_{11}(p)}{1 + W_{11}(p)W_{10}(p) + W_{11}(p)} = \\
 &= \frac{W_8(p)W_9(p)}{1 + W_8(p)W_9(p) \frac{W_5(p)}{W_7(p)} + W_8(p)W_9(p)} = \\
 &= \frac{(W_3(p) + W_4(p))(\frac{W_7(p)}{1 + W_6(p)W_7(p)})}{1 + (W_3(p) + W_4(p))(\frac{W_7(p)}{1 + W_6(p)W_7(p)}) \frac{W_5(p)}{W_7(p)} + (W_3(p) + W_4(p))(\frac{W_7(p)}{1 + W_6(p)W_7(p)})} = \\
 &= \frac{(W_3(p) + W_4(p))(\frac{W_1(p)W_2(p)}{1 + W_6(p)W_1(p)W_2(p)})W_1(p)}{W_1(p)W_2(p) + (W_3(p) + W_4(p))(\frac{W_1(p)W_2(p)}{1 + W_6(p)W_1(p)W_2(p)})W_5(p)(W_3(p) + W_4(p)) + (W_3(p) + W_4(p))(\frac{W_1(p)W_2(p)}{1 + W_6(p)W_1(p)W_2(p)})}
 \end{aligned}$$

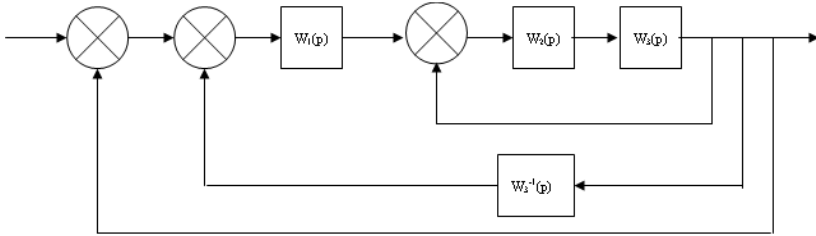
$$\begin{aligned}
 & \frac{W_1^2(p)W_2^2(p)W_3(p) + W_1^2(p)W_2^2(p)W_4(p)}{1 + W_6(p)W_1(p)W_2(p)} \\
 = & \frac{W_1(p)W_2(p) + W_1^2(p)W_2^2(p)W_6(p) + W_1(p)W_2(p)W_3(p)W_5(p) + W_2(p)W_3(p)W_5(p) + W_1(p)W_2(p)W_3(p) + W_1(p)W_2(p)W_3(p)W_6(p) + W_1(p)W_2(p)W_4(p)}{1 + W_6(p)W_1(p)W_2(p)} \\
 = & \frac{W_1^2(p)W_2^2(p)W_3(p) + W_1^2(p)W_2^2(p)W_4(p)}{W_1(p)W_2(p)(1 + W_1(p)W_2(p)W_6(p) + W_3(p)W_5(p) + W_4(p)W_5(p) + W_3(p)W_6(p) + W_4(p)W_6(p))} \\
 = & \frac{W_1W_2(W_3(p) + W_4(p))}{1 + W_1(p)W_2(p)W_6(p) + W_3(p)W_5(p) + W_4(p)W_5(p) + W_3(p) + W_4(p)}
 \end{aligned}$$

2 мысал



4.19-сурет. Жүйенің құрылымдық сұлбасы

Түйінді W_3 үзбесі арқылы тасымалдап келесі құрылымдық сұлбаны аламыз:



4.20-сурет. Түрлендірілген сұлба

Алынған құрылымдық сұлба бойынша келесі беріліс функциясын аламыз:

$$\hat{O}(p) = \frac{W_1 W_2 W_3}{1 + W_1 W_2 + W_2 W_3 + W_1 W_2 W_3}$$

4.5. Жұмыс тапсырмасы

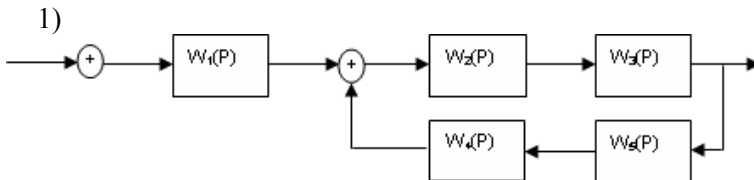
1. Алдын ала дайындық ретінде типтік динамикалық үзбелердің және тұйық контурдың беріліс функцияларын табу ережелері бойынша теориялық материалды оқу.

2. Оқытушыдан тапсырма нұсқасын алып, күрделі жүйенің түрлендіру функциясын алу, құрылымдық түрлендірудің алгебрасының ережелерін модельдеу.

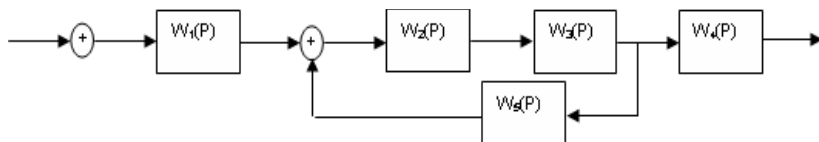
3. Шығыс мәліметтері ретінде күрделі жүйенің түрлендіру функциясының параметрлерін алу.

4. Жұмысты орындау барысында алынған сипаттамаларды келтіру және оларға түсініктемелер жазу, есеп беруді рәсімдеу.

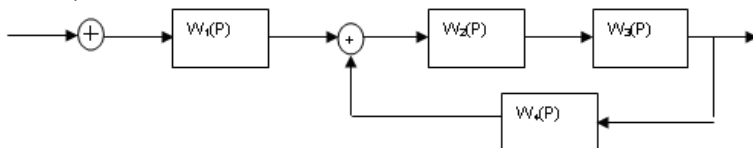
Тапсырма нұсқалары:



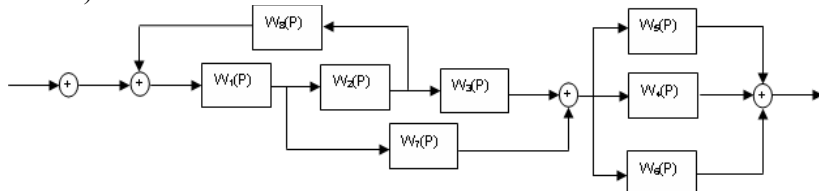
2)



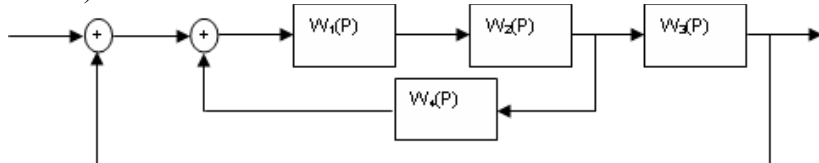
3)



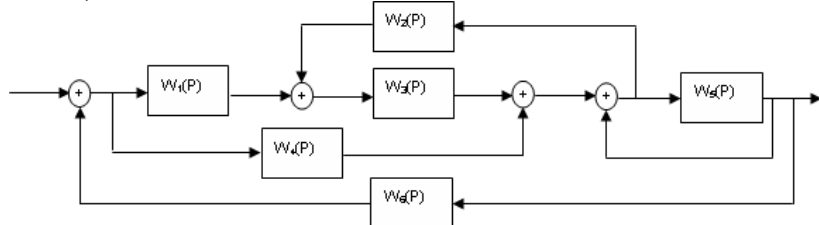
4)



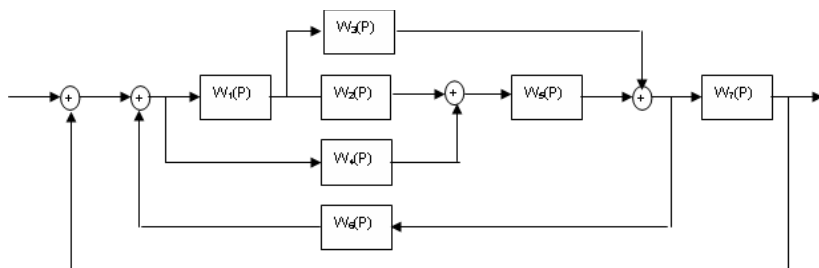
5)



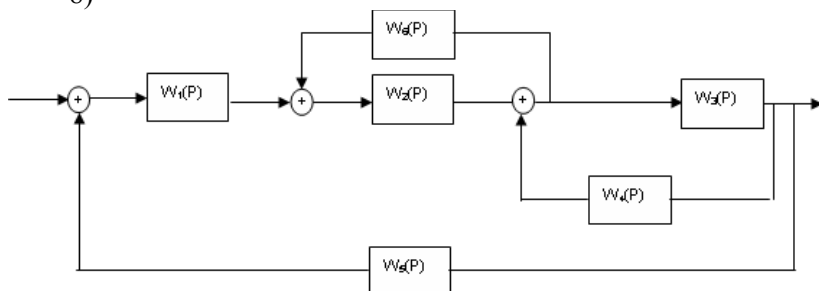
6)



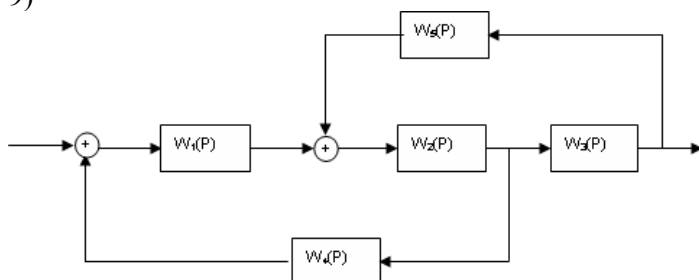
7)



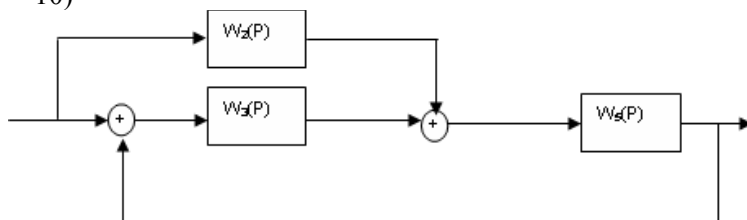
8)



9)



10)

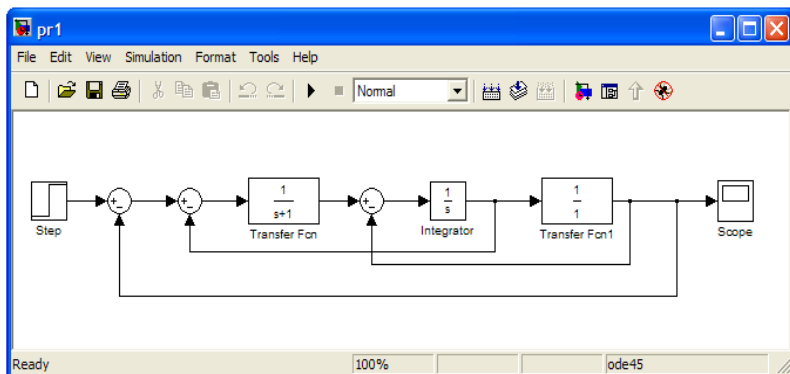


4.6. Программалық қамтама мен жұмысты орындау барысы

Бұл зертханалық жұмыс Matlab ортасында орындалады. Тапсырма нұсқасына сәйкес құрылымдық түрлендірудің алгебрасының ережелерін қолдана отырып, құрылымдық сұлбаны құру және эквивалентті түрлендіру функцияларын алу.

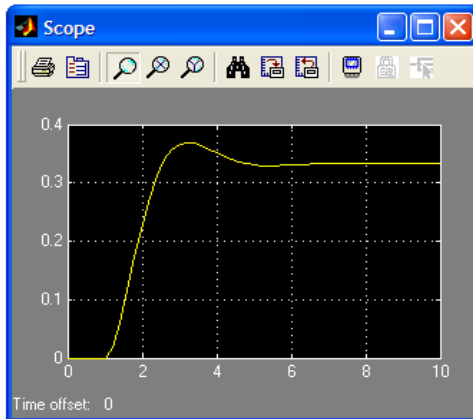
Жоғарыда келтірілген 2 мысалда $W_1 = \frac{k_1}{T_1 p + 1}$, $W_2 = \frac{k_2}{p}$,

$W_3 = k_3$ болғандағы Simulink ортасында құрылған сұлбасы келесі суретте көрсетілген:



4.21-сурет. Жүйенің Simulink ортасындағы сұлбасы

Simulation мәзірінің Start пунктін таңдап жүйенің симуляциясын орындаймыз. Нәтижесінде келесі сипаттаманы аламыз:



4.22-сурет. Симуляция нәтижесі

Осылайша, түрлендірілген сұлбаның да алынатын сипаттамасы суретте көрсетілген нәтижемен беттесетінін көруге болады.

Бақылау сұрақтары

1. АБЖ-нің құрылымдық сұлбасы дегеніміз не?
2. Құрылымдық сұлбалардың тағайындалуы қандай?
3. Жүйенің математикалық сипаттамасы қалай алынады?
4. Құрылымдық сұлбада үзбе нені бейнелейді?
5. Құрылымдық сұлбаларды түрлендіру не үшін қажет?
6. Құрылымдық сұлбаларда үзбелердің қандай қосылуын ажыратады?
7. Құрылымдық сұлбаларды түрлендірудің ережелерін атаңыз.
8. Ақпаратты алу түйінін тасымалдау ережелері қандай?
9. Қосындылау нүктесінің тасымалдау ережелері қандай?
10. Тура тізбек пен кері тізбектің үзбелерінің арасындағы орын ауыстыру ережелері қандай?

5. СЫЗЫҚТЫ АБЖ-НІҢ ОРНЫҚТЫЛЫҒЫНЫҢ АЛГЕБРАЛЫҚ КРИТЕРИЙЛЕРІ

Сызықты басқару жүйелерін зерттеу кезінде пайда болатын сұрақтардың бірі оның орнықтылығы болып табылады. Сызықты жүйе орнықты деп аталады, егер оны сыртқы әсерлермен тепе-теңдік (тыныштық) жағдайынан шығарғанда, ол оған сыртқы әсерлерді тоқтатқаннан кейін қайтып келетін болса. Жүйе дұрыс жұмыс істеуі үшін ол орнықты болуы керек, кері жағдайда онда үлкен қателер пайда болады. Орнықтылықты анықтауды әдетте басқару жүйесін құрудың бастапқы кезеңінде өткізеді. Өйткені, орнықтықты талдау қарапайым болып келеді, және де орнықсыз жүйелер түзетілуі мүмкін, демек, орнықты жүйеге арнайы түзетуші үзбелерді қосу арқылы түрлендіріледі.

Орнықтылықты алгебралық критерийлер көмегімен талдау. Жүйенің орнықтылығы оның өзіндік тербелістер сипаттамасымен байланысты. Жүйе келесі дифференциалды теңдеумен сипатталатын болсын:

$$\frac{d^n x}{dt^n} + a_1 \frac{d^{n-1} x}{dt^{n-1}} + \dots + a_n x = b_0 \frac{d^m g}{dt^m} + b_1 \frac{d^{m-1} g}{dt^{m-1}} + \dots + b_m g \quad (5.1)$$

Лаплас түрлендіруінен кейін келесіні аламыз:

$$(p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_n)x(p) = (b_0 p^m + b_1 p^{m-1} + \dots + b_m)g(p) \quad (5.2)$$

мұндағы $g(p)$ - кіріс әсері.

Орнықты жүйе, егер кіріс әсері $g(p) \equiv 0$ болса тыныштық жағдайына қайтып оралады. Осылайша, орнықты жүйе үшін $(p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_n)x(p) = 0$ біртекті дифференциалды теңдеуін шешу $t \rightarrow \infty$ болғанда нөлге ұмтылуы керек.

Егер $p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_n = 0$ сипаттамалық теңдеуінің $p_1, p_2, \dots, p_n$ түбірлері табылған болса, онда біртекті теңдеудің

шешімі $x(t) = \sum_{k=1}^n c_k e^{p_k t}$ түрінде жазылады. $p_k = a_k$ - нақты

түбір болсын. Оған $c_k e^{p_k t}$ қосындысы сәйкес келеді. $a_k < 0$

болғанда, бұл қосынды $t \rightarrow \infty$ болса нөлге ұмтылатын болады.

Егер $a_k > 0$ болса, онда $t \rightarrow \infty$ болғанда $x(t) \rightarrow \infty$. Ал, егер $a_k = 0$ болса, қарастырылатын қосынды өзгермейді және $t \rightarrow \infty$ болғанда, $x_k(t) = c_k$.

$p_k = a_k + j b_k$ – сипаттамалық теңдеудің комплексті түбірі болсын. Бұл жағдайда сипаттамалық теңдеудің түбірі $\tilde{p}_k = a_k + j b_k$. Екі комплексті жанасқан түбірге $c_k \sin b_k t e^{a_k t}$,

$c_k \cos b_k t e^{a_k t}$ түріндегі қосылғыштар сәйкес келетін болады.

Бұл кезде, егер $a_k < 0$ болса, онда жүйеде өшетін тербелістер бар, $a_k > 0$ болғанда өсетін амплитудалы тербелістер, ал $a_k = 0$ болғанда - c_k тұрақты амплитудалы тербелістер бар. Осылайша, жүйе орнықты, егер сипаттамалық теңдеудің барлық түбірлерінің нақты бөліктері теріс болса. Егер ең болмағанда бір түбірдің $a_k \geq 0$ нақты бөлігі болса, онда жүйе орнықсыз. Жүйе орнықтылық шекарасында болады, егер сипаттамалық теңдеудің ең болмағанда бір түбірінің нөлдік нақты бөлігі бар, ал қалған барлық түбірлердің нақты бөліктері теріс болса.

Жүйенің орнықтылығын анықтауға мүмкіншілік беретін келесі алгебралық критерийлер белгілі:

1. Гурвиц критерийі.
2. Лъенар-Шипар критерийі.
3. Раус критерийі.

Орнықтылық критерийлер көмегімен жүйенің тек қана орнықтылығын анықтау емес, олармен жүйенің құрылымдық өзгертулерінің және кейбір параметрлерінің орнықтылыққа әсер ететін ықпалын анықтауға болады.

Алгебралық критерийлер ішінде ең кеңінен тарағандары Гурвиц және Раус критерийлері. Орнықтылықтың алгебралық

критерийлері келесі тендеудің коэффициенттері бойынша жүйенің орнықтылығын жорамалдайды:

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

5.1. Гурвиц критеріі

Гурвиц критеріі бойынша (5.3) тендеудің коэффициенттері арқылы Гурвиц матрицасы құрылады. Матрица құру ережесі:

1. Бас диагональ бойынша сол жақтан оңға қарай барлық коэффициенттер a_1 -ден бастап, a_n -ге дейін индекстері өсу ретімен жазылады.

2. Бағандар бас диагональды элементтерінен жоғары қарай индекстері өсу ретімен, төмен қарай индекстері кему ретімен сипатталатын коэффициенттермен толтырылады.

3. Индекстері n -нан үлкен және 0 -ден кіші коэффициенттер орнына нөлдер қойылады:

$$\begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 & \dots & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & \dots & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & a_2 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & a_1 & \dots & a_n \end{vmatrix}$$

Мысалы,

егер $n=4$ болса

$$\begin{vmatrix} a_1 & a_3 & 0 & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & 0 \\ 0 & 0 & a_2 & a_4 \end{vmatrix}$$

Гурвиц критеріі бойынша $a_0 > 0$ болғанда коэффициенттің квадраттық матрицасынан табылатын барлық n анықтауыштар оң мағыналы болу керек.

$$\Delta_1 = a_1 > 0$$

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix} = a_1 a_2 - a_0 a_3 > 0$$

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 \\ 0 & a_1 & a_3 \end{vmatrix} > 0$$

$$\Delta_n = a_n \Delta_{n-1} > 0$$

Соңғы анықтауыш өзінің ішіне Гурвиц матрицасын толығымен енгізеді.

Жүйе орнықтылықтың шекарасында болады, егер $\Delta_n = 0$. Мұнда екі жағдай қарастырылады:

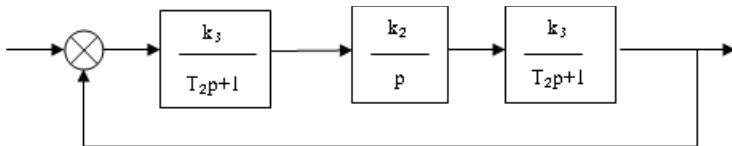
1) егер $a_n = 0$, онда жүйе апериодты орнықтылық шекарасында болады.

2) егер $\Delta_{n-1} = 0$, онда жүйе тербелмелі орнықтылықтың шекарасында болады.

Гурвиц критеріі $n \leq 4$ болғанда ғана қолданады. Егер $n \geq 5$ болса, онда басқа алгебралық критерийді қолданған ыңғайлы.

Мысал.

Бірінші ретті екі апериодтық және бір интегралдық үзбелерден тұратын жүйенің орнықтылығын тексеру керек.



5.1-сурет. Жүйенің сұлбасы

Ашық контурдың беріліс функциясы:

$$W(p) = \frac{k}{p(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)} = \frac{k}{T_1 T_2 p^3 + (T_1 + T_2)p^2 + p}$$

мұндағы

$$k = k_1 k_2 k_3.$$

Тұйықталған жүйенің беріліс функциясы:

$$\hat{O}(p) = \frac{W(p)}{1 + W(p)} = \frac{k}{T_1 T_2 p^3 + (T_1 + T_2)p^2 + p + k}$$

Сипаттамалық теңдеу:

$$a_0 p^3 + a_1 p^2 + a_2 p + a_3 = 0$$

$$T_1 = 0,2c; \quad T_2 = 0,2c; \quad k = 9c^{-1} \text{ болғанда:}$$

$$a_0 = T_1 T_2 = 0,04c^2, \quad a_1 = T_1 + T_2 = 0,4c, \quad a_2 = 1, \\ a_3 = k = 9c^{-1}.$$

Үшінші ретті сипаттамалық теңдеуі бар жүйе үшін орнықтылық шарты $a_0 > 0$; $a_1 > 0$; $a_2 > 0$; $a_3 > 0$;

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix} > 0$$

Сонда

$$\Delta_2 = (T_1 + T_2)a_2 - T_1 T_2 k > 0 \quad \Delta_2 = 0,4 \cdot 1 - 0,04 \cdot 9 > 0$$

Демек, жүйе орнықты.

5.2. Раус критеріі

Жүйенің сипаттамалық теңдеуі берілген болсын:

$$G(p) = a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_{n-1} p + a_n = 0 \quad (a_0 > 0) \quad (5.4)$$

Раус критеріі бойынша жүйенің орнықтылығын зерттеу үшін келесі кесте құрылады:

3-кесте

Раус кестесі

Жұп индексті коэффициенттер	a_0	a_2	a_4	...
Тақ индексті коэффициенттер	a_1	a_3	a_5	...
$r_1 = \frac{a_0}{a_1}$	$c_{13} = a_2 - r_1 a_3$	$c_{23} = a_4 - r_1 a_5$	$c_{33} = a_6 - r_1 a_7$	...
$r_2 = \frac{a_1}{c_{13}}$	$c_{14} = a_3 - r_2 c_{23}$	$c_{24} = a_5 - r_2 c_{33}$	$c_{34} = a_7 - r_2 c_{43}$	...
$r_3 = \frac{c_{13}}{c_{14}}$	$c_{15} = c_{23} - r_3 c_{33}$	$c_{25} = c_{33} - r_3 c_{43}$	$c_{35} = c_{43} - r_3 c_{53}$	...
...	...	...	...	...

Раус кестесінің бірінші және екінші жолдарында сәйкесінше жұп және тақ индексті коэффициенттер жазылады. Жоғары жолдың сандарынан бірінші айырма нөлге тең болатындай r_i ($i = 1, 2, 3, \dots$) сандарына көбейтілген төменгі жолдың сандары алынады. Нөлдік айырма шығарылып тасталады, қалған айырмалар екінші бағаннан басталып үшінші жолда жазылады.

Жүйе орнықты болуы үшін Раус кестесінің бірінші бағанының барлық коэффициенттерінің оң болуы қажетті және жеткілікті, демек

$$r_i > 0, \quad i = 1, 2, \dots, n - 1,$$

немесе

$$a_0 > 0, \quad a_1 > 0, \quad c_{13} > 0, \quad c_{14} > 0, \dots, \quad c_{1,n+1} > 0$$

Егер (5.4) сипаттамалық теңдеуінің ең болмағанда бір коэффициенті теріс болса, жүйе орнықсыз болады.

Мысал.

$$W(p) = p^5 + 5p^4 + 9p^3 + 10p^2 + 6p + 2$$

$$a_0 = 1, a_1 = 5, a_2 = 9, a_3 = 10, a_4 = 6, a_5 = 2$$

Сипаттамалық теңдеуімен берілген жүйенің орнықтылығын анықтау керек. Раус кестесін құрайық:

4-кесте

Раус критеріі бойынша жүйенің орнықтылығын зерттеу

Жұп индексті коэффициенттер	$a_0 = 1$	$a_2 = 9$	$a_4 = 6$
Тақ индексті коэффициенттер	$a_1 = 5$	$a_3 = 10$	$a_5 = 2$
$r_1 = \frac{a_0}{a_1} = \frac{1}{5}$	$c_{13} = a_2 - r_1 a_3 = 9 - \frac{10}{5} = 7$	$c_{23} = a_4 - r_1 a_5 = 6 - \frac{2}{5} = \frac{28}{5}$	$c_{33} = a_6 - r_1 a_7 = 0$
$r_2 = \frac{a_1}{c_{13}} = 5$	$c_{14} = a_3 - r_2 c_{13} = 10 - 5 \cdot \frac{4}{5} = 6$	$c_{24} = a_5 - r_2 c_{33} = 2 - 5 \cdot 0 = 2$	0
$r_3 = \frac{c_{13}}{c_{14}} = \frac{1}{3}$	$c_{15} = c_{23} - r_3 c_{24} = \frac{4}{5} - 1 \cdot \frac{1}{3} = \frac{7}{15}$	$c_{25} = c_{33} - r_3 c_{34} = 0$	0
$r_4 = \frac{c_{14}}{c_{15}} = \frac{45}{7}$	$c_{16} = c_{24} - r_2 c_{25} = 1 - 0 = 1$	0	0

$$r_1 = \frac{a_0}{a_1} = \frac{1}{5} \quad r_2 = \frac{a_1}{c_{13}} = 5 \quad r_3 = \frac{c_{13}}{c_{14}} = \frac{1}{3} \quad r_4 = \frac{c_{14}}{c_{15}} = \frac{45}{7}$$

$$c_{13} = a_2 - r_1 a_3 = 9 - \frac{10}{5} = 7 \quad c_{14} = a_3 - r_2 c_{13} = 10 - 5 \cdot \frac{4}{5} = 6$$

$$c_{15} = c_{23} - r_3 c_{24} = \frac{4}{5} - 1 \cdot \frac{1}{3} = \frac{7}{15} \quad c_{16} = c_{24} - r_2 c_{25} = 1 - 0 = 1$$

$$c_{23} = a_4 - r_1 a_5 = 6 - \frac{2}{5} = \frac{28}{5} \quad c_{24} = a_5 - r_2 c_{33} = 2 - 5 \cdot 0 = 2$$

$$c_{25} = c_{33} - r_3 c_{34} = 0 \quad c_{26} = 0 \quad c_{33} = a_6 - r_1 a_7 = 0$$

$$c_{34} = 0 \quad c_{35} = 0 \quad c_{36} = 0$$

Барлық r_i коэффициенттері және a_0 оң, демек жүйе орнықты.

5.3. Лъенар-Шипар критерийі

Егер тұйықталған жүйенің сипаттамалық теңдеуінің коэффициенттері оң болып $a_0 > 0, a_1 > 0, \dots, a_n > 0$, тақ индексті Гурвиц анықтауыштары оң болса

$$\Delta_1 > 0, \Delta_3 > 0, \Delta_5 > 0, \dots,$$

онда жұп индексті Гурвиц анықтауыштары оң болады

$$\Delta_2 > 0, \Delta_4 > 0, \Delta_6 > 0, \dots,$$

және керісінше.

Сонымен АБЖ орнықты болу үшін мыналарды тексеру жеткілікті:

$$a_0 > 0, a_1 > 0, \dots, a_n > 0$$

$$\Delta_1 > 0, \Delta_3 > 0, \Delta_5 > 0$$

немесе

$$a_0 > 0, a_1 > 0, \dots, a_n > 0 \quad \Delta_0 > 0, \Delta_2 > 0, \Delta_4 > 0$$

Гурвиц критерийіне қарағанда бұл критерийді қолданғанда, есеп жұмысы екі есе аз болады.

Мысал. Жүйенің сипаттамалық теңдеуі берілген $2p^3 + 6p^2 + 10p + 15 = 0$. Жүйенің орнықтылығын анықтау керек.

Бұл сипаттамалық теңдеудің барлық коэффициенттері оң және жұп индексті Δ_2 Гурвиц анықтауышы:



Демек, жүйе орнықты.

5.4. Жұмыс тапсырмасы

1. Гурвиц, Раус, Лъенар-Шипар алгебралық критерийлері бойынша теориялық бөліммен танысып, оқытушыдан тапсырма нұсқасын алу (5 кесте). Параметрлердің мәндері 2 кестеден алынады.

2. Зертханалық жұмысты орындау үшін `gurvits.exe` бағдарламасын іске қосу керек. Бұл жұмысты орындау үшін тұйықталған жүйенің беріліс функциясын анықтау керек. Одан кейін тұйықталған жүйенің сипаттамалық теңдеуі жазылады. Бағдарламаның кіріс мәліметтері ретінде теңдеудің коэффициенттері алынады.

3. Жұмысты орындау барысында алынған нәтижелерді келтіру және оларға түсініктемелер жазу.

4. Жүйенің орнықтылығы туралы қорытынды жасау, есеп беруді рәсімдеу.

5-кесте

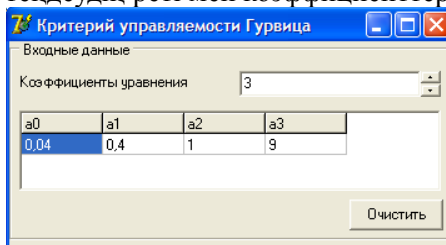
Нұсқа №	Беріліс функциясы
1	$W(P) = \frac{K}{T_1 P (T_2 P + 1) (T_3 P + 1)}, K > 0, T_i > 0, i = \overline{1,3}$
2	$W(P) = \frac{K (T_3 P + 1)}{(T_1 P + 1) (T_2 P + 1)}, K > 0, T_i > 0, i = \overline{1,3}$

5-кестенің жалғасы

3	$W(P) = \frac{K(1 + T_1 P)}{P^2(1 + T_2 P)^2(1 + P)}, K > 0, T_i > 0, i = \overline{1,2}$
4	$W(P) = \frac{KP(1 + T_1 P)}{(1 + T_2 P)(1 + T_3 P)(1 + T_4 P)}, K > 0, T_i > 0, i = \overline{1,4}$
5	$W(P) = \frac{K(T_3 p + 1)}{(T_1 P + 1)(T_2 P + 1)}, k > 0, T_i > 0, i = \overline{1,3};$
6	$W(P) = \frac{K^2}{T_1 P(T_2^2 P^2 + 1)}, k > 0, T_i > 0, i = \overline{1,2};$
7	$W(P) = \frac{K(T_1 p + 1)}{T_1 p^2(T_2 P + 1)(T_2 P + 1)}, k > 0, T_i > 0, i = \overline{1,2};$
8	$W(P) = \frac{K}{p^3(T_1 P + 1)(T_2 P + 1)}, k > 0, T_i > 0, i = \overline{1,2};$
9	$W(P) = \frac{Kp^2(T_1 p + T_2 p)^2}{p(T_1 P + 1)^2(T_2 P + 1)}, k > 0, T_i > 0, i = \overline{1,2};$
10	$W(P) = \frac{Kp(T_1 p + 1)}{(T_2 P + 1)(T_3 P + 1)(T_4 P + 1)}, k > 0, T_i > 0, i = \overline{1,4};$
11	$W(P) = \frac{K(T_1 p + 1)}{p^2(T_2 P + 1)(T_3 P + 1)}, k > 0, T_i > 0, i = \overline{1,3};$
12	$W(P) = \frac{K(T_2 p + 1)}{p^2(T_1 P + 1)(T_3 P + 1)(1 + P)}, k > 0, T_i > 0, i = \overline{1,3};$

5.5. Программалық қамтама мен жұмысты орындау барысы

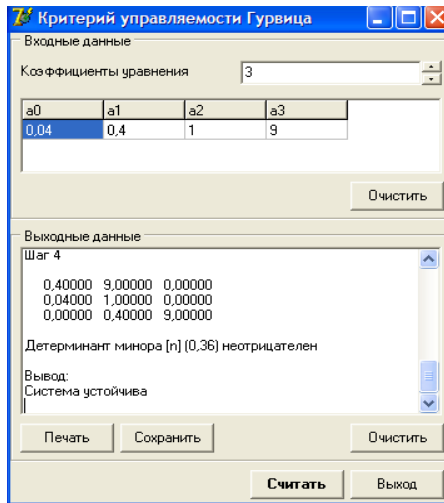
Гурвиц критеріі бойынша орнықтылықты зерттеу. Программалық қамтама Delphi объектілі-бағытталған ортасында құрылған. Жүйені Гурвиц критеріі бойынша орнықтылыққа зерттеу үшін `gurvits.exe` файлын жіберу керек. Файлды жібергеннен кейін кіріс мәліметтерін және нәтижелерді шығаруға арналған негізгі аймақтары бар терезені аламыз. Программаның кіріс мәліметтерін енгізуге арналған бөлігінде сипаттамалық теңдеудің реті мен коэффициенттері енгізіледі:



a0	a1	a2	a3
0.04	0.4	1	9

5.2-сурет. Кіріс мәліметтерін енгізу терезесі

Программа орындалғаннан кейін нәтижелері шығыс мәліметтерді шығаруға арналған терезеде жазылады. Гурвиц критеріі бойынша жоғарыда келтірілген мысалдың нәтижесі келесі суретте көрсетілген:



Критерий управляемости Гурвица

Входные данные

Коэффициенты уравнения: 3

a0	a1	a2	a3
0.04	0.4	1	9

Очистить

Выходные данные

Шаг 4

0.40000	9.00000	0.00000
0.04000	1.00000	0.00000
0.00000	0.40000	9.00000

Детерминант минора [n] (0.36) неотрицателен

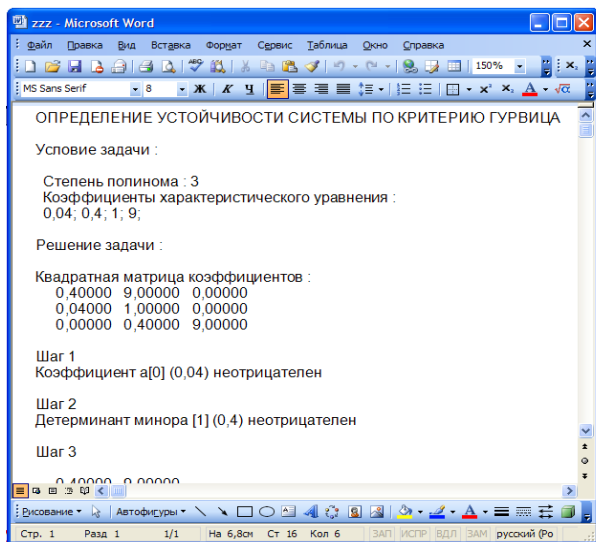
Вывод:
Система устойчива

Печать Сохранить Очистить

Считать Выход

5.3-сурет. Гурвиц критеріі бойынша жүйенің орнықтылығын зерттеу

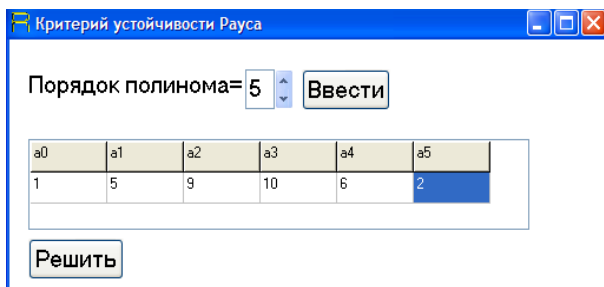
Программаның орындалу нәтижелерін бөлек файлға жазуға болады. Ол үшін программа орындалғаннан кейін сақтауға арналған батырманы басып, файлдың аты жазылады. Келесі суретте файлға жазылған программа нәтижесінің фрагменті көрсетілген:



5.4-сурет. Программаның нәтижесі

Сондай ақ, есептеу нәтижелерін принтерге шығаруға болады.

Раус критеріі бойынша орнықтылықты зерттеу. Программалық қамтама Delphi объектілі-бағытталған ортасында құрылған. Раус критеріі бойынша орнықтылықты зерттеу үшін gaus.exe файлын жіберу керек. Файлды жібергеннен кейін полином реті, сипаттамалық теңдеудің коэффициенттері енгізіледі:



5.5-сурет. Раус критеріі бойынша мәліметтерді енгізу

«Решить» батырмасын басу арқылы нәтижелер шығарылады. Жоғарыда келтірілген Раус критеріі бойынша мысалдың нәтижесі келесі суретте көрсетілген:

Критерий устойчивости Рауса

Порядок полинома= 5

a0	a1	a2	a3	a4	a5
1	5	9	10	6	2

i()	Поле	1	2	3
1	$c(1,1)=1$	$c(2,1)=9$	$c(3,1)=6$	
2	$c(1,2)=5$	$c(2,2)=10$	$c(3,2)=2$	
$i(3)=0,2$	3	$c(1,3)=7$	$c(2,3)=5,6$	$c(3,3)=0$
$i(4)=0,71428$	4	$c(1,4)=6$	$c(2,4)=2$	$c(3,4)=0$
$i(5)=1,16666$	5	$c(1,5)=3,2666$	$c(2,5)=0$	$c(3,5)=0$
$i(6)=1,83673$	6	$c(1,6)=2$	$c(2,6)=0$	$c(3,6)=0$
$i(7)=1,63333$	7	$c(1,7)=0$	$c(2,7)=0$	$c(3,7)=0$

Ответ: Система устойчива.

5.6-сурет. Раус критеріі бойынша жүйенің орнықтылығын зерттеу

Бақылау сұрақтары

1. Қандай сызықты жүйелер орнықты деп аталады?
2. Жүйенің орнықты болуы не үшін қажет?
3. Алгебралық критерийлер тұрғысынан жүйе орнықты болуы үшін қандай шарт орындалуы керек?
4. Алгебралық критерийлер тұрғысынан қандай жүйелер орнықсыз және орнықтылық шекарасында болады ?
5. Орнықтылықтың алгебралық критерийлері неге негізделген?
6. Гурвиц, Лъенар-Шипар критерийлері бойынша жүйе орнықты болуы үшін қандай шарттар орындалуы керек?
7. Раустың орнықтылық шартын тұжырымдаңыз.
8. Раус критеріін қолданып орнықтылықты зерттеу үшін қандай бастапқы мәліметтер болуы керек?
9. Раус және Гурвиц критерийлерінің артықшылығы неде?

10. Лъенар-Шипар орнықтылық критерийінің жоғары ретті жүйелердің орнықтылығын зерттеу кезінде қолданылу себебі неде?

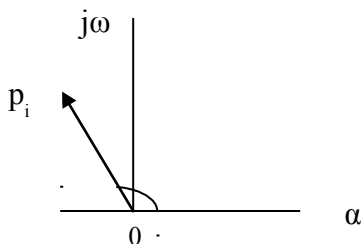
6. ОРНЫҚТЫЛЫҚТЫҢ ЖИІЛІКТІК КРИТЕРИЙЛЕРІ. МИХАЙЛОВ КРИТЕРИИ

6.1. Орнықтылықты жиіліктік критерийлер көмегімен талдау

Орнықтылықтың жиіліктік критерийлері автоматты басқару жүйесінің орнықтылығын олардың жиіліктік сипаттамаларының түрі бойынша анықтауға мүмкіндік береді. Бұл критерийлер графоаналитикалық болып табылады және кеңінен таралған, өйткені жоғары ретті жүйелердің де орнықтылығын зерттеуге мүмкіндік береді, сондай ақ геометриялық интерпретациясы қарапайым және көрнекі болып келеді.

n -ші дәрежелі $D(p) = a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_n$ полиномы берілген болсын. Бұл полиномды $D(p) = a_0(p - p_1)(p - p_2) \dots (p - p_n)$ түрінде беруге болады, мұндағы $p_i = \alpha_i + j\omega_i$ - $D(p) = 0$ теңдеуінің түбірлері.

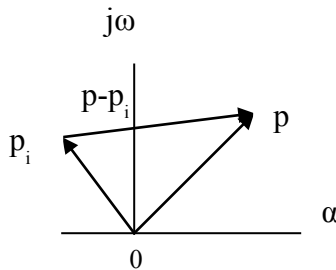
Комплексті жазықтықта әрбір түбір геометриялық түрде координата басынан p_i нүктесіне жүргізілген вектормен бейнеленуі мүмкін.



6.1-сурет. Комплексті жазықтықта түбірдің геометриялық бейнеленуі

Бұл вектордың ұзындығы P_i комплексті санының модуліне тең, демек, $|P_i|$, ал, векормен түзілген бұрыш - P_i комплексті санының аргументі немесе фазасына, демек, $Argp_i$ тең.

$(p - p_i)$ шамалары геометриялық түрде P_i нүктесінен кез келген P нүктесіне жүргізілген векторлармен бейнеленеді (6.2-сурет)

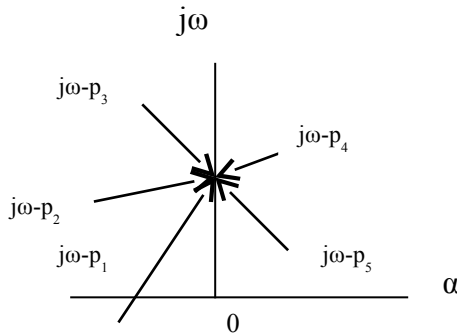


6.2-сурет. Шамалардың геометриялық түрде бейнеленуі

$p = j\omega$ болғанда

$D(j\omega) = a_0(j\omega - p_1)(j\omega - p_2)...(j\omega - p_n)$ аламыз.

$j\omega - p_j$ элементарлы векторлардың ұштары жорамал осьтің $p = j\omega$ нүктесінде болады (6.3-сурет)



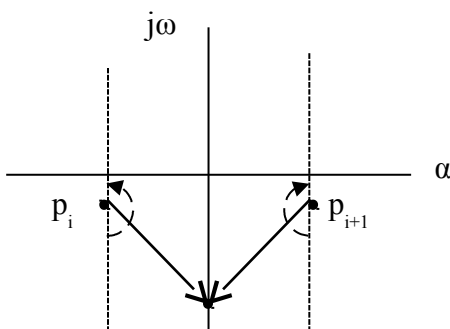
6.3-сурет. Комплексті жазықтықта векторларды бейнелеу $D(j\omega)$ векторының модулі:

$$D(j\omega) = a_0 |j\omega - p_1| |j\omega - p_2| \dots |j\omega - p_n|$$

ал аргумент немесе фазасы:

$$\text{Arg}D(j\omega) = \text{Arg}(j\omega - p_1) + \text{Arg}(j\omega - p_2) + \dots + \text{Arg}(j\omega - p_n)$$

Сағат тіліне қарсы айнаруды оң деп есептейік. Сонда ω - ∞ -тен ∞ -ке дейін өзгергенде әрбір элементарлы вектор, егер оның басы (p_i түбірі) жорамал осьтің сол жағында орналасқан болса π бұрышына, ал егер түбір жорамал осьтің сол жағында орналасқан болса $-\pi$ бұрышына бұрылады.



6.4-сурет. Жиілікке байланысты векторлардың өзгеруі

$D(p)$ полиномының m оң және $n-m$ сол түбірлері бар делік. Сонда ω - ∞ -тен ∞ -ке дейін өзгергенде $D(j\omega)$ векторының аргументінің өзгеруі $\Delta \text{Arg}D(j\omega) \Big|_{\omega=\infty}^{\omega=\infty} = \pi(n - m) - \pi m = \pi(n - 2m)$ түрінде анықталады. Осыдан келесі ереже шығады: ω жиілігінің $-\infty$ -тен ∞ -ке дейін өзгерген кезіндегі $D(j\omega)$ аргументінің өзгеруі π -ге көбейтілген $D(p)=0$ тендеуінің сол және оң түбірлерінің сандарының айырмасына тең.

ω жиілігінің 0-ден ∞ -ке дейін өзгерген кезінде $D(j\omega)$ векторының аргументінің өзгеруі екі есе аз болады:

$$\Delta \text{Arg} D(j\omega) \Big|_{\omega=0}^{\omega=\infty} = \frac{\pi}{2} (n - 2m) \quad (6.1)$$

Бұл ереже барлық жиіліктік критерийлер негізіне салынған. Михайлов орнықтылық критеріі тұйық жүйелерге арналған. Жүйенің сипаттамалық теңдеуі берілген болсын:

$$D(p) = a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_n. \quad (6.2)$$

$p = j\omega$ болғанда

$$D(j\omega) = a_0 (j\omega)^n + a_1 (j\omega)^{n-1} + \dots + a_n = X(\omega) + jY(\omega) = D(\omega) e^{j\psi(\omega)} \quad (6.3)$$

мұндағы

$$X(\omega) = a_n - a_{n-2}\omega^2 + a_{n-4}\omega^4 - \dots$$

$$Y(\omega) = \omega(a_{n-1} - a_{n-3}\omega^2 + a_{n-5}\omega^4 - \dots)$$

ω жиілігі өзгергенде $D(j\omega)$ векторы комплексті жазықтықта Михайлов қисығын (годограф) сипаттайды.

(6.1) сәйкес $D(p)$ полиномының оң түбірлер санын анықтаймыз:

$$m = \frac{\pi n / 2 - \Delta \text{Arg} D(j\omega) \Big|_{\omega=0}^{\omega=\infty}}{2} \quad (6.4)$$

(6.4) көрінетіндей, оң түбірлер саны

$$\Delta \text{Arg} D(j\omega) \Big|_{\omega=0}^{\omega=\infty} = \frac{\pi n}{2} \quad (6.5)$$

шартында ғана нөлге тең болады.

(6.4) орнықтылықтың қажетті бірақ жеткіліксіз шарты болып табылады. Жүйенің орнықтылығы үшін сипаттамалық теңдеудің барлық n түбірлерінің сол болуы қажетті және жеткілікті, демек:

$$D(j\omega) \neq 0 \quad (6.6)$$

шарты да орындалуы керек.

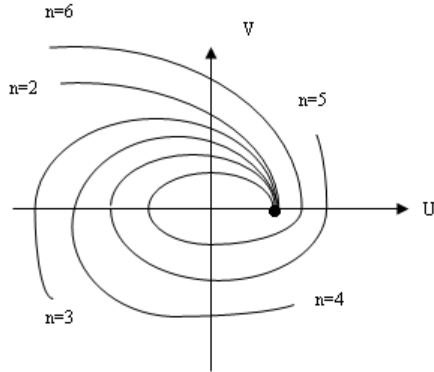
(6.4) және (6.5) орнықтылықтың Михайлов критериінің математикалық амалы болып табылады: автоматты басқару жүйесі орнықты болуы үшін, $D(j\omega)$ Михайлов қисығының векторының ω жиілігінің 0-ден ∞ -ке дейін өзгерген кезінде, ешқандай жерде нөлге тең болмай, координата басының маңынан сағат тіліне қарсы $\pi n/2$ бұрышына бұрылуы қажетті және жеткілікті, мұндағы n - сипаттамалық теңдеудің реті.

Орнықты жүйелер үшін Михайлов қисығы $\omega = 0$ кезінде нақты оң жарты осьте басталады. Сондай-ақ, кәдімгі дифференциалдық теңдеумен сипатталатын орнықты жүйелер үшін фаза жиіліктің өсуімен монотонды өсуі керек, демек $D(j\omega)$ векторы тек қана сағат тіліне қарсы бұрылуы керек.

Жоғарыда айтылғандарды ескеріп, Михайловтың орнықтылық критериін келесідей сипаттауға болады: *автоматты басқару жүйесі орнықты болуы үшін, ω жиілігінің $\omega = 0$ кезінде нақты оң жарты осьтен басталып 0-ден ∞ -ке дейін өзгерген кезінде, Михайлов қисығының (годограф) тек қана координатты жазықтықтың n квадранттарын тізбекті түрде сағат тіліне қарсы айналуы қажетті және жеткілікті, мұндағы n - сипаттамалық теңдеудің реті.*

Орнықты жүйелер үшін Михайлов годографы әрқашанда бірқалыпты спиральді түрде болады және оның соңғы кешендік жазықтықта сипаттамалық теңдеудің дәрежесіне тең нөмірлі квадрантта шексіздікке ұмтылады (6.5-сурет).

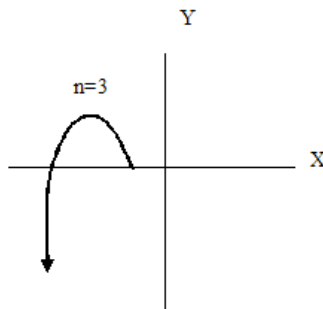
Михайлов годографы жиіліктің $\omega = 0$, $\omega = \infty$ аралықтағы бірнеше мәндеріне құрылады. Одан кейін сол нүктелер бірқалыпты қисықпен қосылады. Годографтың бас нүктесі $\omega = 0$ болғанда координат басынан a_n бос мүшеге тең қашықтыққа нақты осінде жатады.



6.5-сурет. Михайлов годографы

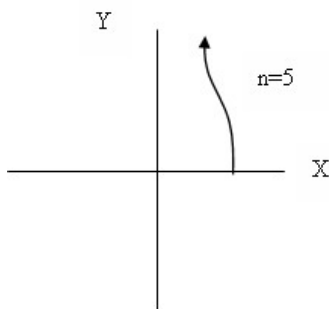
Жүйенің орныксыздық белгісі болып квадранттардың саны мен оларды өту тізбегінің сақталмауы болып табылады. Орныксыз жүйелер үшін Михайлов годографының мысалдарын қарастырайық.

1. Михайлов қисығы теріс нақты жарты осьте басталса, жүйе орныксыз болады. Мұндай жүйе үшін Михайлов қисығы келесі суретте көрсетілген:



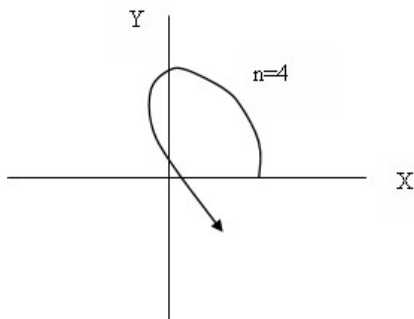
6.6-сурет. $n=3$ болғандағы орныксыз жүйенің годографы

2) Теңдеудің реті $n=5$, ал Михайлов қисығы бір квадрантта ғана орналасқан, сондықтан жүйе орныксыз. Мұндай жүйе үшін Михайлов қисығы келесі суретте көрсетілген:



6.7-сурет. $n=5$ болғандағы орныксыз жүйенің годографы

3) Квадранттарды өту тізбегі сақталмайды, сондықтан жүйе орныксыз. Мұндай жүйе үшін Михайлов қисығы келесі суретте көрсетілген:



6.8-сурет. Орныксыз жүйенің годографы

Мысал.

$$D(p) = 3p^4 + 5p^3 + 8p^2 + 2p + 2 = 0$$

$$D(j\omega) = 3(j\omega)^4 + 5(j\omega)^3 + 8(j\omega)^2 + 2j\omega + 2 = 0$$

$$D(j\omega) = 3\omega^4 - j5\omega^3 + 8\omega^2 + 2j\omega + 2 = 0$$

$$U(\omega) = 3\omega^4 - 8\omega^2 + 2 = 0$$

$$V(\omega) = -5\omega^3 + 2\omega$$

ω	0	0,2	0,5	0,55	0,6	1	1,5	∞
U	2	1,68	0	-0,15	-0,491	-3	0	∞
V	0	0,36	0,375	0,27	0	-3	-13,9	$-\infty$

$$3\omega^4 - 8\omega^2 + 2 = 0$$

$$\omega^2 = a$$

$$3a^2 - 8a + 2 = 0$$

$$D = 64 - 24 = 40$$

$$a_{1,2} = \frac{8 \pm \sqrt{40}}{6} = 2,3; 0,3$$

$$\omega_{1,2} = \pm 1,5$$

$$\omega_{3,4} = \pm 0,5$$

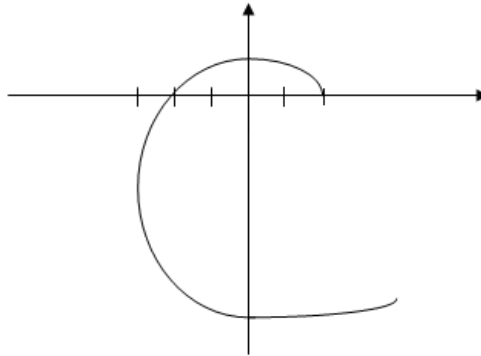
$$-5\omega^3 + 2\omega = 0$$

$$\omega(-5\omega^2 + 2) = 0$$

$$\omega_1 = 0$$

$$5\omega^2 = 2$$

$$\omega_{1,2} = \pm 0,6$$



6.9-сурет. Михайлов қисығы

Есептеу нәтижесі бойынша Михайлов қисығы нақты осьтің оң бөлігінде ($\omega = 0, a_n = 2$) басталып, 4-ші ширекті басып өтіп, 4-ші ширекте ∞ - ке кетеді. Сондықтан жүйе орнықты.

Сипаттамалық теңдеудің бос мүшесі $a_n = 0$ болғанда Михайлов қисығы координат бас нүктесінен басталады. Осындай жағдайда жүйе апериодтықтың орнықтылық шекарасында болады.

6.2. Жұмыс тапсырмасы

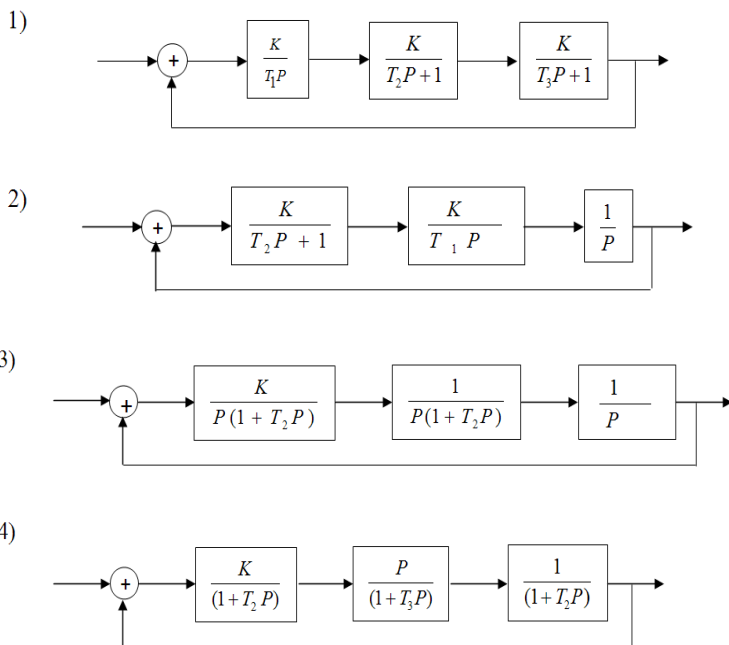
1. Михайлов критеріі бойынша теориялық бөліммен танысып, оқытушыдан тапсырма нұсқасын алу.

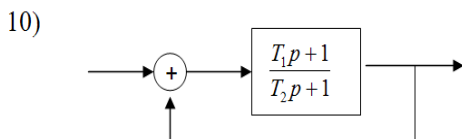
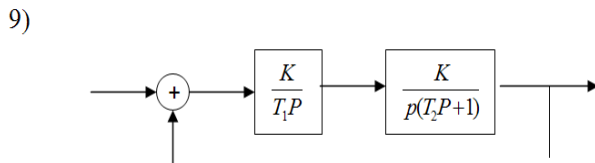
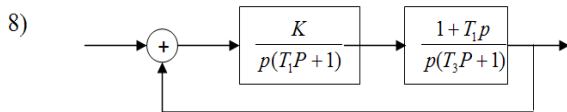
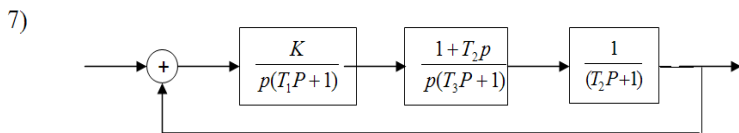
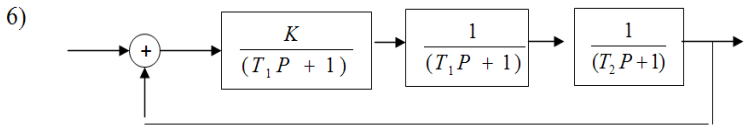
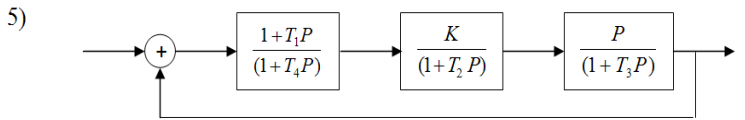
2. Зертханалық жұмысты орындау үшін michailov.exe бағдарламасын іске қосу керек. Нұсқа нөмірі бойынша параметрлердің мәндері енгізіледі.

3. Жұмысты орындау барысында алынған сипаттамаларды келтіру және оларға түсініктемелер жазу.

4. Жүйенің орнықтылығы туралы қорытынды жасау, есеп беруді рәсімдеу.

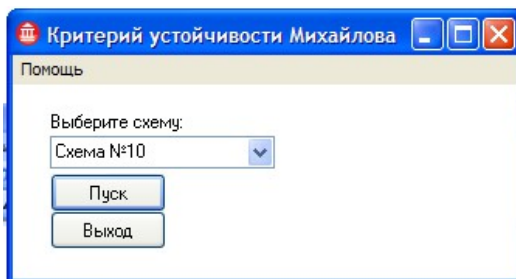
Динамикалық жүйелерді Михайлов критеріі бойынша орнықтылыққа тексеру нұсқалары:





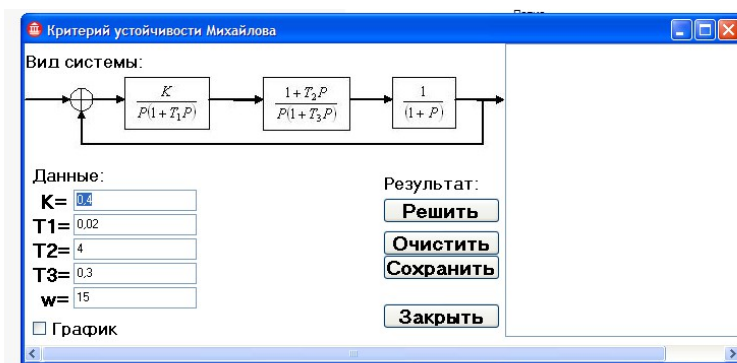
6.3. Программалық қамтама және жұмысты орындау барысы

Программалық қамтама Delphi объектілі-бағытталған ортасында құрылған. Программамен жұмыс істеу үшін michailov.exe файлын жіберу керек. Пайда болған терезеде сәйкес сұлба таңдалады:



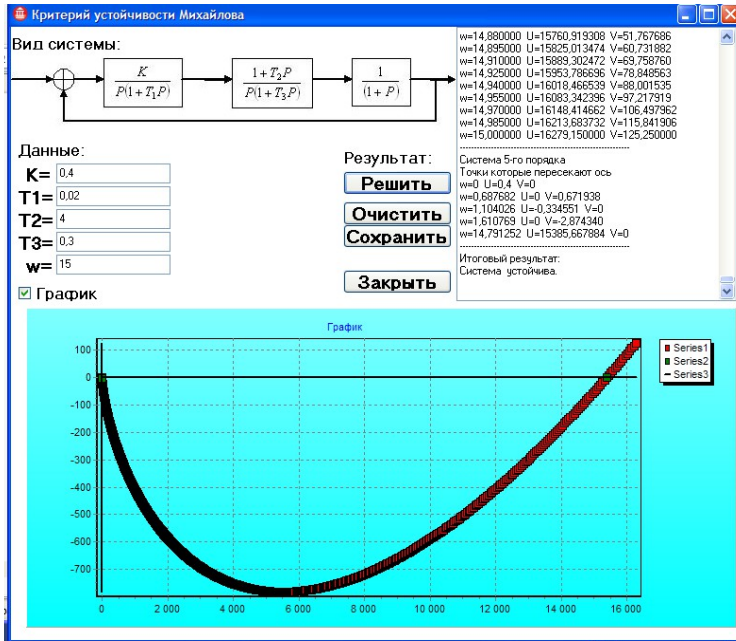
6.10-сурет. Сұлбаны таңдау терезесі

«Пуск» батырмасын басқаннан кейін параметрлердің мәндерін енгізу мен есептеу нәтижелерін шығаруға арналған аймағы бар терезе пайда болады. Келесі суретте параметрлердің мәндерін енгізетін терезе көрсетілген:



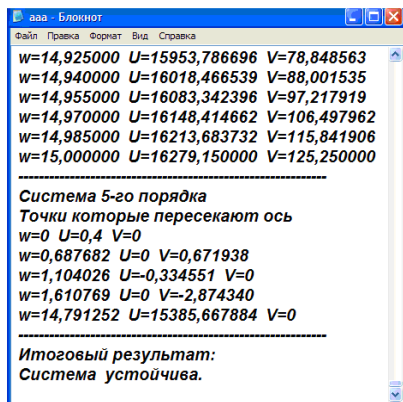
6.11-сурет. Параметрлерді енгізу

Нәтижені шығару үшін «График» пунктін белгілеп, «Решить» батырмасын басу керек. Нәтижесінде есептеу нәтижелері мен Михайлов қисығын аламыз:



6.12-сурет. Михайлов критеріі бойынша орнықтылыққа тексеру

Есептеу нәтижелерін бөлек файлға жазуға да болады. Ол үшін программа орындалғаннан кейін сақтауға арналған батырманы басып, файлдың атын жазу немесе үнсіздік бойынша ұсынылатын файлдың аты таңдалады. Келесі суретте файлға жазылған есептеу нәтижелерінің фрагменті көрсетілген:



6.13-сурет. Михайлов критеріі бойынша есептеу нәтижелері

Бақылау сұрақтары

1. Орнықтылықтың жиіліктік критерийлері қандай принципке негізделген?
2. Жиіліктік критерийлердің алгебралық критерийлерден айырмашылығы неде?
3. Годограф дегеніміз не?
4. Михайлов годографын салудың қандай тәсілдерін білесіз?
5. Михайловтың орнықтылық критеріінің математикалық амалын көрсетіңіз.
6. Михайлов критеріі бойынша жүйенің орнықтылығы қалай анықталады?
7. Орнықты жүйелер үшін Михайлов годографы қандай түрде болады?
8. Орнықсыз жүйелер үшін Михайлов қисықтарының мысалын келтіріңіз.
9. Тұйықталған жүйенің орнықтылығы үшін қажетті және жеткілікті шартты сипаттаңыз.
10. Михайловтың орнықтылық критеріін қандай жүйелерге қолданған орынды?

7. ОРНЫҚТЫЛЫҚТЫҢ ЖИІЛІКТІК КРИТЕРИЙЛЕРІ. НАЙКВИСТ КРИТЕРИЙ

Бұл критерий тұйықталған жүйенің орнықтылығын тұйықталмаған жүйенің амплитудалық фазалық сипаттамасы бойынша бағалауға мүмкіндік береді. Тұйықталмаған жүйенің беріліс функциясы келесідей болсын:

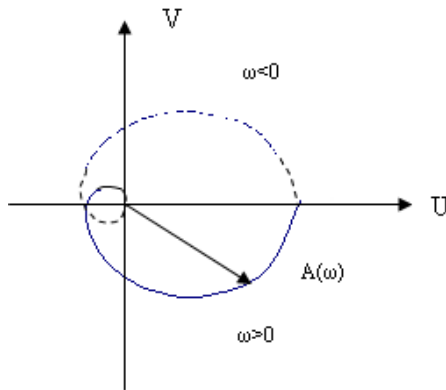
$$W(p) = \frac{R(p)}{Q(p)} = \frac{b_0 p^m + b_1 p^{m-1} + \dots + b_m}{c_0 p^n + c_1 p^{n-1} + \dots + c_n}, \quad m \leq n \quad (7.1)$$

$p = j\omega$ болса,

$$\begin{aligned} W(j\omega) &= \frac{R(j\omega)}{Q(j\omega)} = \frac{b_0 (j\omega)^m + b_1 (j\omega)^{m-1} + \dots + b_m}{c_0 (j\omega)^n + c_1 (j\omega)^{n-1} + \dots + c_n} = \\ &= U(\omega) + jV(\omega) = A(\omega)e^{j\psi(\omega)} \end{aligned} \quad (7.2)$$

мұндағы, $U(\omega)$ және $V(\omega)$ сәйкес жиіліктік беріліс функциясының нақты және жорамал бөліктері және

$$A(\omega) = \sqrt{U^2(\omega) + V^2(\omega)}; \quad \psi(\omega) = \text{Arctg} \frac{V(\omega)}{U(\omega)}.$$



7.1-сурет. Тұйықталмаған жүйенің АФС

Егер ω жиілігі 0-ден ∞ -ке дейін өзгерсе, онда $W(j\omega)$ шамасы мен фазасы бойынша өзгереді. Комплексі жазықтықта бұл вектордың ұшымен сипатталатын қисық тұйықталмаған жүйенің амплитудалық фазалық сипаттамасы деп атайды.

Амплитудалық фазалық сипаттама нақты оське қатысты симметриялы, сондықтан әдетте оның оң жиіліктерге $\omega > 0$ сәйкес келетін бөлігін ғана сызады, ал теріс жиіліктерге сәйкес келетін бөлігі нақты оське қатысты оң жиіліктерге сәйкес келетін бөліктің теріс бейнесі ретінде табылуы мүмкін.

$$\phi(p) = 1 + W(p) = 1 + \frac{R(p)}{Q(p)} = \frac{Q(p) + R(p)}{Q(p)} = \frac{D(p)}{Q(p)} \quad (7.3)$$

функциясын қарастырайық, мұндағы, $D(p) = Q(p) + R(p) = a_0 p^n + a_1 p^{n-1} + \dots + a_n$ - тұйықталған жүйенің сипаттамалық полиномы; $Q(p) = c_0 p^n + c_1 p^{n-1} + \dots + c_n$ - тұйықталмаған жүйенің сипаттамалық полиномы; $R(p) = b_0 p^m + b_1 p^{m-1} + \dots + b_m$ - m дәрежелі полином.

$p = j\omega$ деп алып келесіні аламыз:

$$\phi(j\omega) = 1 + W(j\omega) = 1 + \frac{R(j\omega)}{Q(j\omega)} = \frac{Q(j\omega) + R(j\omega)}{Q(j\omega)} = \frac{D(j\omega)}{Q(j\omega)} \quad (7.4)$$

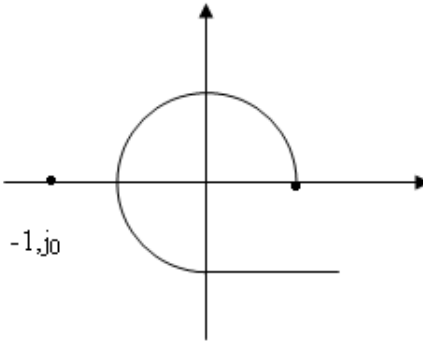
Демек, $1 + W(j\omega)$ векторы тұйықталған және тұйықталмаған жүйенің қасиеттерінен тұрады, және $(-1, j0)$ -ге қатысты $W(j\omega)$ -ның тәртібі бойынша тұйықталған жүйенің орнықтылығы туралы қорытынды жасауға болады.

Найквист критерийін келесідей тұжырымдауға болады: тұйықталған жүйенің орнықтылығы үшін, басы $(-1, j0)$ нүктесінде, ал, соны, тұйықталмаған жүйенің амплитудалық фазалық сипаттамасының бойынша жылжитын $1 + W(j\omega)$

векторы, ω жиілігінің 0-ден ∞ -ке дейін өзгерген кезінде $(-1, j0)$ нүктесін қамтымауы қажет.

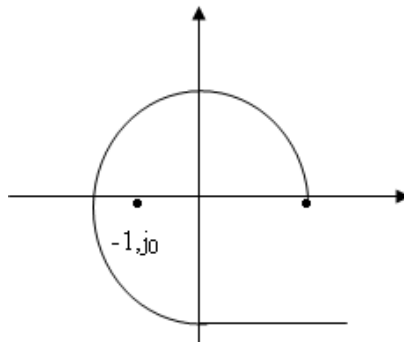
Найквист критеріі тұйықталмаған жүйенің жиіліктік сипаттамаларына негізделеді. Найквист критеріі:

1. Егер тұйықталмаған жүйе орнықты болса, онда тұйықталған жүйе орнықты болу үшін тұйықталмаған жүйенің АФЖС-ы $(-1, j_0)$ координатасы нүктені қамтымауы тиісті.



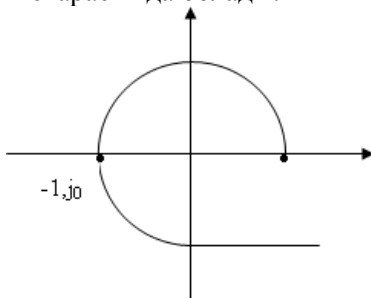
7.2-сурет. Орнықты жүйенің АФЖС

2. Егер АФЖС-ы $(-1, j_0)$ нүктені қамтыса, онда жүйе орнықсыз



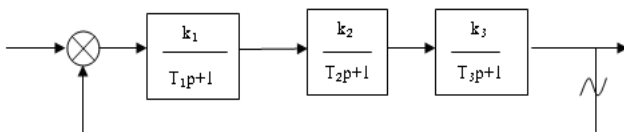
7.3-сурет. Орнықсыз жүйенің АФЖС

3. Егер АФЖС-ы $(-1, j_0)$ нүктесі арқылы өтсе, онда жүйе орнықтылықтың шекарасында болады.



7.4-сурет. Орнықтылықтың шекарасындағы жүйенің АФЖС

Мысал.



7.5-сурет. Жүйенің сұлбасы

$$k = k_1 k_2 k_3 = 20$$

$$T_1 = 90c$$

$$T_2 = 10c$$

$$T_3 = 3c$$

$$W(j\omega) = \frac{k}{(1 + j\omega T_1)(1 + j\omega T_2)(1 + j\omega T_3)} * \frac{(1 - j\omega T_1)(1 - j\omega T_2)(1 - j\omega T_3)}{(1 - j\omega T_1)(1 - j\omega T_2)(1 - j\omega T_3)}$$

$$= \frac{k(1 - j\omega T_1)(1 - j\omega T_2)(1 - j\omega T_3)}{(1 + T_1^2 \omega^2)(1 + T_2^2 \omega^2)(1 + T_3^2 \omega^2)} = \frac{k(1 - jT_2\omega - jT_1\omega - T_1T_2\omega^2)(1 - jT_3\omega - jT_1\omega - T_1T_3\omega^2)}{(1 + T_1^2 \omega^2)(1 + T_2^2 \omega^2)(1 + T_3^2 \omega^2)}$$

$$= \frac{20 - 24000\omega^2}{(1 + 8100\omega^2)(1 + 100\omega^2)(1 + 9\omega^2)} + j \frac{-20(103\omega - 2700\omega^3)}{(1 + 8100\omega^2)(1 + 100\omega^2)(1 + 9\omega^2)}$$

$$U(\omega) = \frac{20 - 24000\omega^2}{(1 + 8100\omega^2)(1 + 100\omega^2)(1 + 9\omega^2)};$$

$$V(\omega) = \frac{-20(103\omega - 2700\omega^3)}{(1 + 8100\omega^2)(1 + 100\omega^2)(1 + 9\omega^2)};$$

$$20 - 24000\omega^2 = 0$$

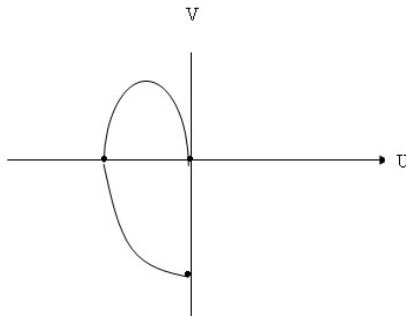
$$\omega_{1,2} = \pm 0,3$$

$$-20\omega(103 - 2700\omega^2) = 0$$

$$\omega_1 = 0$$

$$\omega_{2,3} = \pm 0,2$$

ω	0	0,1	0,2	0,25	0,3	∞
U	$-\infty$	-1,2	-4,3	-0,3	0	0
V	0	-152	0	328,7	0,06	0



7.6-сурет. Жүйенің АФЖС

Жүйе орнықсыз.

7.1. Жұмыс тапсырмасы

1. Найквист критеріі бойынша теориялық бөліммен танысып, оқытушыдан тапсырма нұсқасын алу.

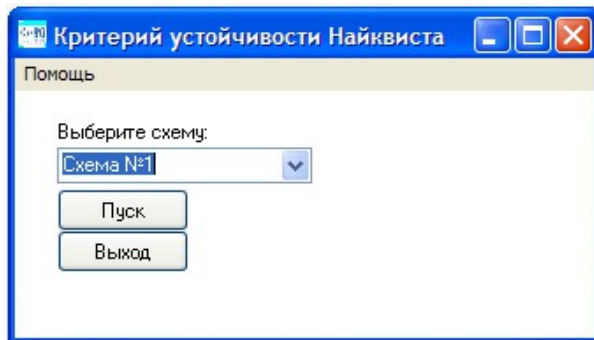
2. Зертханалық жұмысты орындау үшін Project.exe бағдарламасын іске қосу керек. Нұсқа нөмірі бойынша параметрлердің мәндері енгізіледі. Нұсқа нөмірі Михайлов критеріі бойынша берілген тапсырмадан алынады.

3. Жұмысты орындау барысында алынған сипаттамаларды келтіру және оларға түсініктемелер жазу.

4. Жүйенің орнықтылығы туралы қорытынды жасау, есеп беруді рәсімдеу.

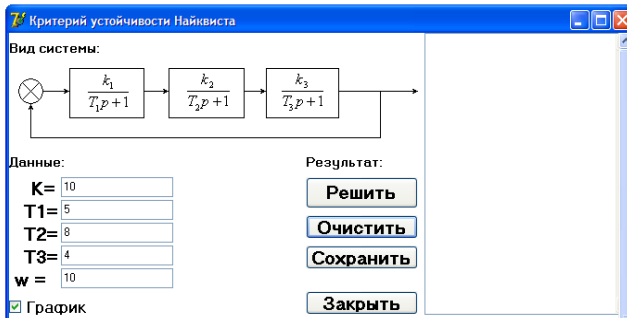
7.2. Программалық қамтама және жұмысты орындау барысы

Программалық қамтама Delphi объектілі-бағытталған ортасында құрылған. Программамен жұмыс істеу үшін Project.exe файлын жіберу керек. Онан кейінгі терезеде нұсқа нөмірі бойынша қажетті сұлба таңдалады:



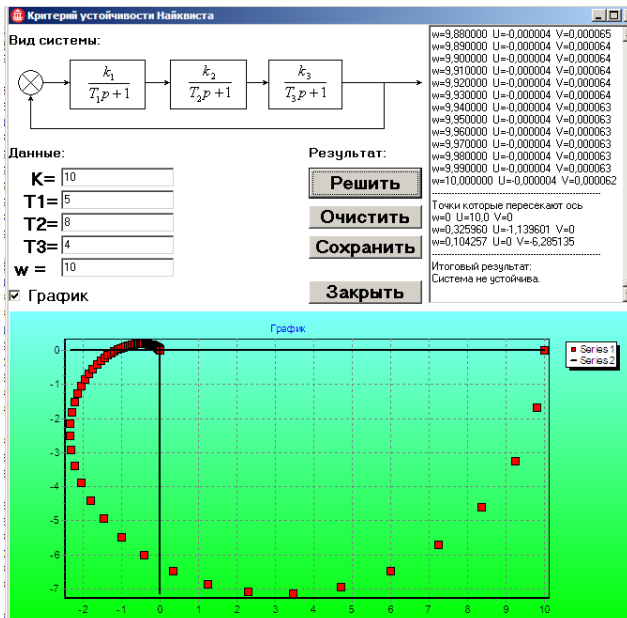
7.7-сурет. Сұлбаны таңдау терезесі

Сұлбаны таңдағаннан кейін «Пуск» батырмасы басылады. «Пуск» батырмасын басқаннан кейін параметрлердің мәндерін енгізу мен есептеу нәтижелерін шығаруға арналған аймағы бар терезе пайда болады. Бұл терезеде параметрлердің мәні енгізіледі (7.8-сурет):



7.8-сурет. Параметрлердің мәндерін енгізу терезесі

Графикалық безендіруін алу үшін «График» пункті белгіленеді. «Решить» батырмасын басу арқылы берілген жүйені Найквист критеріін қолданып орнықтылыққа тексеру нәтижесін көруге болады:



7.9-сурет. Найквист критеріі бойынша орнықтылыққа зерттеу

Есептеу нәтижелері мен жүйенің орнықтылығы туралы қорытындыны бөлек файлға жазуға болады. Ол үшін программа орындалғаннан кейін сақтауға арналған батырманы басып, файлдың атын жазу немесе үнсіздік бойынша ұсынылатын файлдың аты таңдалады.

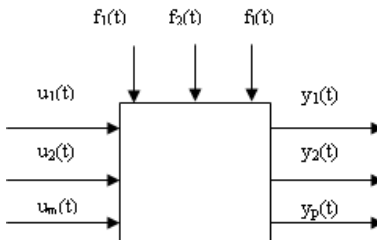
Бақылау сұрақтары

1. Найквист критеріі бойынша жүйенің орнықтылығы ненің көмегімен зерттеледі?
2. Тұйықталған жүйенің орнықтылығы үшін Найквист критеріін тұжырымдаңыз.
3. Найквист критеріінің артықшылығы неде?
4. Найквист критеріі бойынша орнықты жүйелердің мысалын келтіріңіз.
5. Тұйықталмаған жүйе орнықты болған кездегі Найквист критеріін тұжырымдаңыз.
6. Тұйықталмаған жүйе орнықсыз болған кездегі Найквист критеріін тұжырымдаңыз.
7. Тұйықталмаған жүйе орнықтылық шекарасында болған кездегі Найквист критеріін тұжырымдаңыз.
8. Найквисттің орнықтылық критеріін қандай жүйелерге қолданған орынды?

8. СЫЗЫҚТЫ СТАЦИОНАРЛЫ ЖҮЙЕЛЕРДІҢ БАСҚАРЫЛУЫ МЕН БАҚЫЛАНУЫ

Автоматты басқару теориясында көптеген мәселелерді қарастырғанда бір өлшемді немесе көп өлшемді жүйелердің теңдеулерін күй теңдеулері түрінде, басқаша айтқанда қалыпты Коши түрінде жазу ыңғайлы.

Мұндай жағдайда айнымалы параметрлі жүйелерді бір түрлі теңдеулермен бейнелеуге болады.



8.1-сурет

$y_i(t), i = \overline{1, p}$ - шығу координаттары;

$u_i(t), i = \overline{1, m}$ - басқару мен тағайындалған әсерлер;

$f_i(t), i = \overline{1, l}$ - ауытқушы әсерлер;

$x_i, i = \overline{1, n}$ - жүйенің ішкі күйін сипаттайтын айнымалы шамалар немесе күй айнымалылары.

8.1. Гильберт басқарушылығы мен бақыланылуы

Сызықты стационарлы жүйенің динамикалық теңдеуі келесідей болсын:

$$\begin{aligned}\dot{X} &= AX + BU \\ Y &= C^T X\end{aligned}\tag{8.1}$$

мұндағы, X - күй векторы;

U - басқару векторы;

Y - шығу шамаларының векторы;

A, B, C - сәйкес коэффициентінің матрицасы.

Егер кейбір $U(t)$ басқару әрекетінің ықпалымен шекті уақыт аралығында жүйе қандай болмасын X_0 күйден X_1 күйге келтіретін болса, ондай қасиетті жүйе толығымен басқарылатын делінеді.

Егер жүйенің барлық координаталары бойынша мұндай қасиеті болмаса, онда ол толықсыз (жарым-жартылай) басқарылатын болады.

Шекті уақыт аралығында $y(t)$ шығу шамаларын бақылап, жүйенің барлық күй координаталарын анықтауға мүмкіншілік беретін жүйенің қасиеті оның бақылаушылығы делінеді. Мұндай жүйе толығымен бақыланатын болады.

Егер өлшенген шығу шамалары арқылы күй координаталарының барлығы анықталмаса, жүйе жартылай бақыланатын болады.

Гильберт критеріі бойынша басқарылу:

$$\begin{aligned}X^* &= \Lambda X^* + B^* U \\ B^* &= V^{-1} B \\ \Lambda &= V^{-1} A V\end{aligned}\tag{8.2}$$

(8.2) теңдеуде жүйе басқарылатын делінеді, егер B^* матрицасының элементтері 0-ге тең болмаса. Егер кез-келген бір

жол элементтері 0-ге тең болса, онда жүйе басқарылмайтын болып табылады.

Гильберт критеріі бойынша бақылану:

$$\begin{aligned} \begin{cases} X^* = \Lambda X^* + B^* U \\ C^* = C V \\ Y = C^* X \end{cases} \end{aligned} \quad (8.3)$$

(8.3)-ші жүйе бақыланатын болады, егер C^* матрицасының бағаны 0-ге тең болмаса. Егер бағанда 0-ші элементтер болса, онда жүйе бақыланбайды.

8.2. Калман басқарушылығы мен бақыланылуы

Жүйенің басқарылушылығы туралы жору белгілі Калман теоремасына негізделеді. Ол теорема бойынша $n \times n m$ өлшемді Калман матрицасы құрылады.

$$K = [B \mid AB \mid \dots \mid A^{n-1}B] \quad (8.4)$$

Егер Калман матрицасының r рангісі n -ға тең болса, онда мұндай жүйе толығымен басқарылатын болады. Егер $r=0$ болса, онда жүйе толығымен басқарылмайтын болады.

Егер K матрицасының рангісі $r < n$ болса, онда жүйе жартылай басқарылатын болады. Онда жүйенің басқарылатын r ретті бөлігін белгілеуге болады, ал қалған бөлігі басқарылмайтын болады.

Зерттелінетін жүйенің басқару әсері бірге тең болғанда, яғни $m=1$ болғанда (8.4) сәйкес K матрицасы $n \times m$ квадратты болады. Бұл жағдайда жүйе толығымен басқарылатын болу үшін K матрицасының анықтаушысы нольге тең болмау керек (яғни ол азғындалмаған болуы керек), себебі тек қана осы жағдайда матрицаның рангісі $r=n$.

Мысал.

Жүйе берілсін:

$$\begin{aligned} \dot{X} &= AX + BU \\ Y &= C^T X \end{aligned} \quad A = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 2 \\ 0 & 1 & 2 \\ 1 & 3 & 3 \end{vmatrix}; \quad B = \begin{vmatrix} 1 \\ 2 \\ 1 \end{vmatrix}; \quad C = \begin{vmatrix} 2 \\ 1 \\ 3 \end{vmatrix}^O.$$

Берілген жүйені Калман критеріі бойынша басқарылатынға және бақыланатынға тексеру.

Басқарылуға тексеру

Келесі түрдегі басқарылатын блокты матрица құрылады:

$$K_U = \begin{vmatrix} B & AB & \dots \\ A^{-1}B & \dots \end{vmatrix}, n=3, \quad (8.8)$$

сол себепті:

$$\begin{aligned} AB &= \begin{vmatrix} 1 & 0 & 2 \\ 0 & 1 & 2 \\ 1 & 3 & 3 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1 \\ 2 \\ 1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 3 \\ 4 \\ 10 \end{vmatrix}; \\ A^2 &= \begin{vmatrix} 1 & 0 & 2 \\ 0 & 1 & 2 \\ 1 & 3 & 3 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1 & 0 & 2 \\ 0 & 1 & 2 \\ 1 & 3 & 3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 3 & 6 & 8 \\ 2 & 7 & 8 \\ 4 & 12 & 17 \end{vmatrix}; \\ A^2 B &= \begin{vmatrix} 3 & 6 & 8 \\ 2 & 7 & 8 \\ 4 & 12 & 17 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 1 \\ 2 \\ 1 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 23 \\ 24 \\ 45 \end{vmatrix} \quad K_U = \begin{vmatrix} 1 & 3 & 23 \\ 2 & 4 & 24 \\ 1 & 10 & 45 \end{vmatrix} \rightarrow \\ \Delta_1 &= 1 \neq 0 \\ \Delta_2 &= 2 \neq 0. \\ \Delta_3 &= 110 \neq 0 \end{aligned}$$

$\text{rang} K_U = 3$, яғни жүйе тәртібіне тең. Сол себептен, берілген жүйе Калман критеріі бойынша толығымен басқарылады.

Жүйені бақылануына тексеру

Келесі түрдегі бақыланатын блокты матрица құрылады.

$$K_U = \begin{vmatrix} C^T & A^T C^T & \dots & (A^T)^{n-1} C^T \end{vmatrix}, n=3$$

сол себепті

$$A^T C^T = \left| \begin{array}{ccc|c} 1 & 0 & 1 & 2 \\ 0 & 1 & 3 & 1 \\ 2 & 2 & 3 & 3 \end{array} \right| = \left| \begin{array}{c} 5 \\ 10 \\ 15 \end{array} \right|;$$

$$(A^T)^2 C^T = \left| \begin{array}{ccc|c} 3 & 2 & 4 & 2 \\ 6 & 7 & 12 & 1 \\ 8 & 8 & 17 & 3 \end{array} \right| = \left| \begin{array}{c} 20 \\ 55 \\ 75 \end{array} \right|;$$

$$K^U_T = \left| \begin{array}{ccc|c} 2 & 5 & 20 \\ 1 & 10 & 55 \\ 3 & 15 & 75 \end{array} \right| 0 \rightarrow \left| \begin{array}{ccc|c} 2 & 1 & 4 & 1 \\ 1 & 2 & 11 & 2 \\ 3 & 3 & 15 & 3 \end{array} \right| \left| \begin{array}{ccc|c} 1 & 2 & 4 & 1 \\ 2 & 1 & 11 & 0 \\ 3 & 3 & 15 & 3 \end{array} \right| \left| \begin{array}{ccc|c} 1 & 2 & 4 & 1 \\ 0 & -3 & 3 & 0 \\ 3 & 3 & 15 & 3 \end{array} \right| \left| \begin{array}{ccc|c} 1 & 7 & 4 & 1 \\ 0 & 0 & 3 & 0 \\ 3 & 18 & 15 & 3 \end{array} \right|$$

$$\left| \begin{array}{ccc|c} 1 & 7 & 4 & 1 \\ 0 & 0 & 3 & 0 \\ 3 & 18 & 0 & 1 \end{array} \right| \left| \begin{array}{ccc|c} 1 & 7 & 4 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 6 & 0 & 1 \end{array} \right| \left| \begin{array}{ccc|c} 0 & 1 & 4 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 6 & 0 & 1 \end{array} \right| \left| \begin{array}{ccc|c} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right| \left| \begin{array}{ccc|c} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right|$$

$$\Delta_1 = 2 \neq 0$$

$$\Delta_2 = 15 \neq 0$$

$$\Delta_3 = 0.$$

Жүйе толығымен басқарылады және бақыланбайды.

8.3. Жұмыс тапсырмасы

1. Берілген жүйені толық басқарылу мен бақылануына Калман және Гильберт критерийлері бойынша теориялық бөліммен танысып, оқытушыдан тапсырма нұсқасын алу.

2. Зертханалық жұмысты орындау үшін moon.exe бағдарламасын іске қосу керек.

3. Берілген жүйені толық басқарылу мен бақылануына Калман және Гильберт критерийлері бойынша тапсырманы жасау.

4. Алынған нәтижелер бойынша қорытынды жасау, есеп беруді рәсімдеу.

Тапсырма нұсқалары

$$1. \dot{X} = AB + BU$$

$$y = CX \quad A = \begin{vmatrix} 5 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 5 \end{vmatrix}, \quad B = \begin{vmatrix} -1 \\ -2 \\ 3 \end{vmatrix}, \quad C = \begin{vmatrix} 0 \\ -2 \\ 3 \end{vmatrix};$$

$$2. \dot{X} = AB + BU$$

$$y = CX, \quad A = \begin{vmatrix} 3 & 2 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \\ 2 & 2 & 1 \end{vmatrix}, \quad B = \begin{vmatrix} 0 \\ -1 \\ 2 \end{vmatrix}, \quad C = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 \end{vmatrix};$$

$$3. \dot{X} = AB + BU$$

$$y = CX, \quad A = \begin{vmatrix} 5 & 1 & 0 \\ 4 & 5 & 0 \\ 1 & 3 & 5 \end{vmatrix}, \quad B = \begin{vmatrix} 1 \\ 7 \\ 5 \end{vmatrix}, \quad C = \begin{vmatrix} -1 \\ 3 \\ 2 \end{vmatrix};$$

$$4. \dot{X} = AB + BU$$

$$y = CX, \quad A = \begin{vmatrix} 3 & 1 & 1 \\ 1 & 3 & 0 \\ 1 & 0 & 3 \end{vmatrix}, \quad B = \begin{vmatrix} 1 \\ -1 \\ 2 \end{vmatrix}, \quad C = \begin{vmatrix} 3 \\ 2 \\ 1 \end{vmatrix};$$

$$5. \dot{X} = AB + BU$$

$$y = CX, \quad A = \begin{vmatrix} 3 & 0 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 0 & 3 \end{vmatrix}, \quad B = \begin{vmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{vmatrix}, \quad C = \begin{vmatrix} 0 \\ 1 \\ 2 \end{vmatrix};$$

$$6. \dot{X} = AB + BU$$

$$y = CX, \quad A = \begin{vmatrix} 4 & 2 & 2 \\ -2 & 1 & 2 \\ 2 & 2 & 4 \end{vmatrix}, \quad B = \begin{vmatrix} 3 \\ 2 \\ 4 \end{vmatrix}, \quad C = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 3 \end{vmatrix};$$

$$7. \dot{X} = AB + BU$$

$$y = CX, \quad A = \begin{vmatrix} 6 & 2 & 2 \\ 2 & 6 & 2 \\ 2 & -2 & 6 \end{vmatrix}, \quad B = \begin{vmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{vmatrix}, \quad C = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 2 \end{vmatrix};$$

$$8. \dot{X} = AB + BU$$

$$y = CX, A = \begin{bmatrix} 4 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 4 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 2 \\ 1 \\ 3 \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} 2 & 1 & 3 \end{bmatrix};$$

$$9. \dot{X} = AB + BU$$

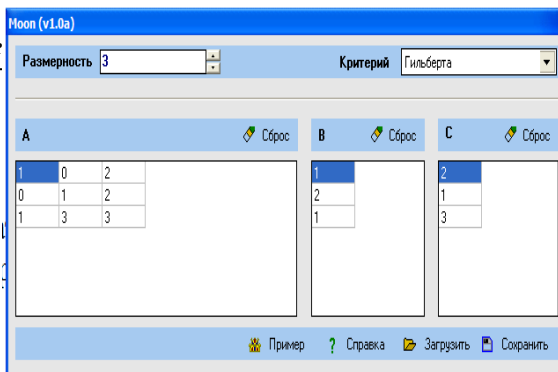
$$y = CX, A = \begin{bmatrix} 2 & 0 & 1 \\ 0 & 2 & 0 \\ 1 & 1 & 2 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} -1 \\ 2 \\ 1 \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 0 \end{bmatrix};$$

$$10. \dot{X} = AB + BU$$

$$y = CX, A = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 1 & 5 & 1 \\ 5 & 2 & 0 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} 2 & 0 & 3 \end{bmatrix};$$

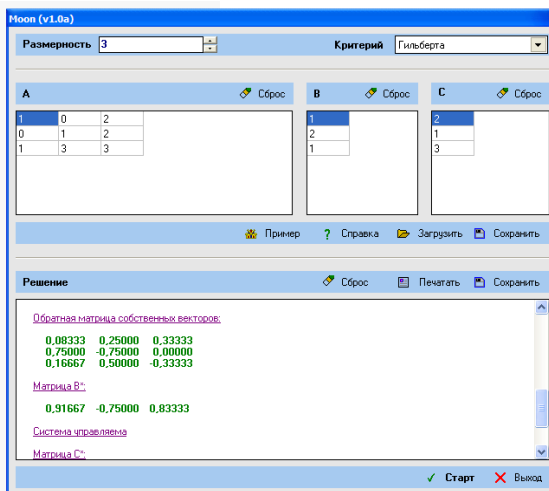
8.4. Программалық қамтама мен жұмысты орындау барысы

Гильберт критеріі бойынша басқарылу мен бақылануға тексеру. Гильберт критеріі бойынша басқарылу мен бақылануға тексеру үшін moop.exe программасын жіберу керек. Файлды жібергеннен кейін матрицаның өлшемі мен критерий (Гильберт немесе Калман) таңдалады. Программа бастапқы мәліметтер мен нәтижелерді шығаруға арналған негізгі терезелерден тұрады. Бастапқы мәліметтерді енгізу аймағында файлдан енгізуге, бастапқы мәліметтерді сақтауға және программа туралы анықтама алуға болады (8.2-сурет):



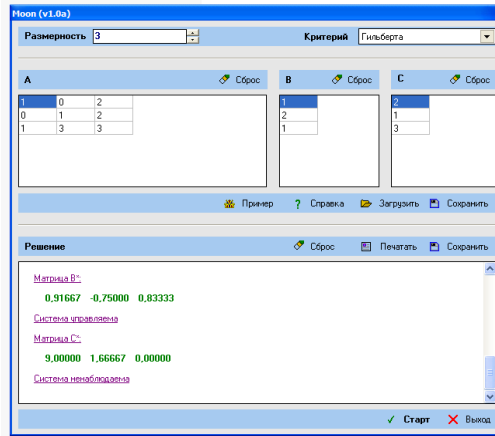
8.2-сурет. Мәліметтерді енгізу терезесі

Орындауға жіберу үшін «Старт» батырмасы басылады. Келесі суретте жоғарыда келтірілген мысал бойынша Гильберт критеріі бойынша басқарылуға зерттеу нәтижесі көрсетілген:



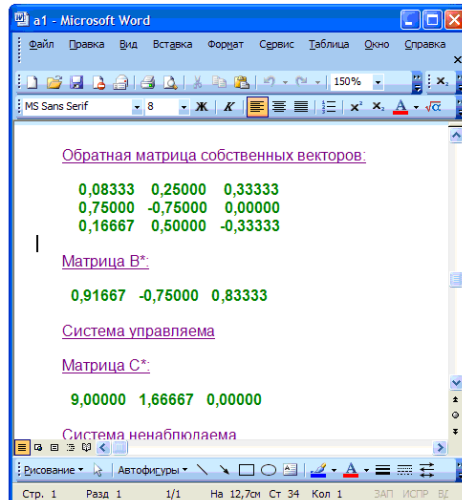
8.3-сурет. Гильберт критеріі бойынша басқарылуға тексеру

Нәтижелерді шығару аймағында мәліметтерді сақтау мен принтерге шығару мүмкіндігі бар. Келесі суретте жүйені бақылануға тексеру нәтижесі көрсетілген:



8.4-сурет. Гильберт критеріі бойынша бақылануға тексеру

Жүйені басқарылу мен бақылануға тексеру нәтижесін бөлек файлға жазуға болады. Ол үшін программа орындалғаннан кейін сақтауға арналған батырманы басып, файлдың атын жазу керек. Келесі суретте файлға жазылған есептеу нәтижелерінің фрагменті көрсетілген:



8.5-сурет. Гильберт критеріі бойынша есептеу нәтижесі

Калман критеріі бойынша басқарылу мен бақылануға тексеру. Калман критеріі бойынша басқарылу мен бақылануға тексеру үшін де moon.exe программасы қолданылады. Файлды орындауға жібергеннен кейін матрицаның өлшемі мен критерий таңдалады және А,В,С матрицаларының мәндері енгізіледі. Орындауға жіберу үшін «Старт» батырмасы басылады. Келесі суретте Калман критеріі бойынша басқарылуға зерттеу нәтижесі көрсетілген:

The screenshot shows the Moon (v1.0a) software interface. At the top, there are two dropdown menus: 'Размерность' (Size) set to 3 and 'Критерий' (Criterion) set to 'Калмана' (Kalman). Below these are three matrices labeled A, B, and C, each with a 'Сброс' (Reset) button. Matrix A is a 3x3 matrix with values: [0, 2, 3; 1, 2, 3; 3, 3, 3]. Matrix B is a 3x1 matrix with values: [2; 2; 1]. Matrix C is a 3x1 matrix with values: [1; 3; 3]. Below the matrices are buttons for 'Пример' (Example), 'Справка' (Help), 'Загрузить' (Load), and 'Сохранить' (Save). The 'Решение' (Solution) section shows the results of the Kalman method. It includes a 'Сброс' (Reset) button and buttons for 'Печать' (Print) and 'Сохранить' (Save). The results are displayed in a scrollable area with the following text: 'РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ МЕТОДОМ КАЛМАНА', 'Блочная матрица управляемости:' followed by a 3x3 matrix of values, 'Система управляема' (System is controllable), and 'Блочная матрица наблюдаемости:' followed by a 3x3 matrix of values. At the bottom right, there are two buttons: 'Старт' (Start) with a green checkmark and 'Выход' (Exit) with a red X.

A			B	C
0	2	3	2	1
1	2	3	2	3
3	3	3	1	3

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ МЕТОДОМ КАЛМАНА

Блочная матрица управляемости:

1,00000	3,00000	23,00000
2,00000	4,00000	24,00000
1,00000	10,00000	45,00000

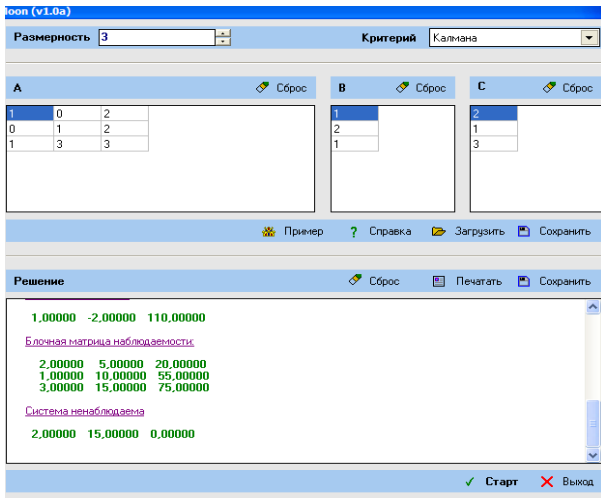
Система управляема

1,00000	-2,00000	110,00000
---------	----------	-----------

Блочная матрица наблюдаемости:

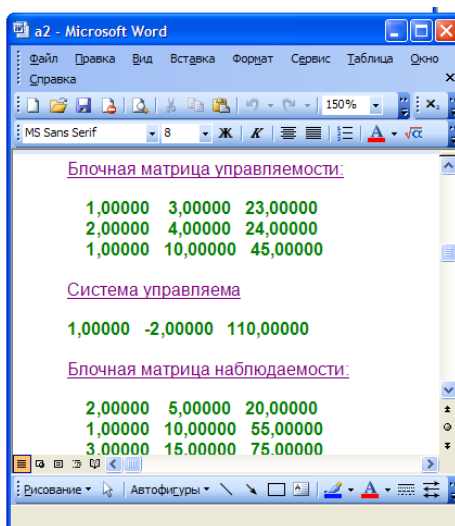
8.6-сурет. Калман критеріі бойынша басқарылуға тексеру

Калман критеріі бойынша бақылануға зерттеу нәтижесі келесі суретте көрсетілген:



8.7-сурет. Калман критеріі бойынша бақылануға тексеру

Жүйені басқарылу мен бақылануға тексеру нәтижесін бөлек файлға жазуға болады. Келесі суретте файлға жазылған есептеу нәтижелерінің фрагменті көрсетілген:



8.8-сурет. Калман критеріі бойынша есептеу нәтижесі

Бақылау сұрақтары

1. Гильберт бойынша басқарылу және бақылану критерийлерін қолданудың қандай ерекшеліктері бар?
2. Қандай жүйе толығымен басқарылатын болады?
3. Қандай жүйе толықсыз (жарым-жартылай) басқарылатын болады?
4. Қандай жүйе толығымен бақыланатын болады?
5. Қандай жүйе жартылай бақыланатын болады?
6. Калман бойынша басқарылу және бақылану критерийлерін қолданудың қандай ерекшеліктері бар?
7. Жүйенің басқарылушылығы туралы Калман теоремасы.
8. Жүйенің басқарушылығын анықтау мысалын келтіріңіз.
9. Калман критеріі бойынша басқарылуға тексеру.
10. Калман критеріі бойынша жүйені бақылануына тексеру.

БИБЛИОГРАФИЯЛЫҚ ТІЗІМ

1. Теория автоматического управления /под ред. Воронова А.А., ч.1, 2. М.: Высшая школа, 1996.
2. Солодовников В.В. и др. Основы теории и элементов САР. М.: Машиностроение, 1995.
3. Бесекерский В.А. Цифровые автоматические системы. М.: Наука, 1996.
4. Сборник задач по ТАР и управлению /под ред. Бесекерского В.А. М.: Наука, 1988.
5. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. М.: Наука, 1992.
6. Васильев Д.В., Чуич В.Г. Системы автоматического управления (примеры расчета). - М.: Высшая школа, 1967.
7. Бекбаев А.Б. Автоматика және өндірістік процестерді автоматтандыру. Алматы: Білім, 1995.
8. Қадырбеков С. Сызықты автоматты реттеу және басқару жүйелерінің теориясы. Алматы: Республикалық баспа кабинеті, 1996.
9. Бекбаев А., Сүлеев Д., Хисаров Б. Сызықты және бейсызықты жүйелердің автоматты реттеу теориясы. Алматы: «Эверо» баспаханасы, 2005. –328б.
10. Балғабаева Л.Ш., Ибрагимова Ғ.А. Жүйетехника. Тәжірибелік сабақтарға әдістемелік нұсқаулар. Алматы: ҚазҰТУ, 2005, 38 с.
11. Балғабаева Л.Ш., Шанлаякова А.С. Жүйетехника негіздері. Оқу құралы. - Алматы: ҚазҰТУ, 2007.

МАЗМҰНЫ

	Кіріспе.....	3
1.	Автоматты басқару жүйелері және оларды құру принциптері	5
1.1.	Негізгі түсініктер.....	5
1.2.	АБЖ-нің сыныпталуы	8
1.3.	Автоматты басқару жүйесінің көрсетілуі.....	9
1.4.	Автоматты реттеудің принциптері.....	11
1.5.	Автоматты жүйелердің негізгі басқару заңдары... Бақылау сұрақтары.....	13 14
2.	MatLab бағдарламасының Simulink пакетімен танысу.....	15
2.1.	Қысқаша теориялық мағлұмат.....	15
2.2.	Simulink-ті іске қосу.....	15
2.3.	Модельді құрастыру.....	18
2.4.	Басқару жүйелері модельдерінің жұмысын симуляциялау.....	22
2.5.	Жұмыс тапсырмасы.....	26
2.6.	Жұмысты орындау барысы..... Бақылау сұрақтары.....	28 28
3.	Автоматты жүйелердің математикалық сипатталуы. Типтік үзбелер.....	30
3.1.	Типтік үзбелер мен олардың сипаттамалары.....	30
3.1.1.	Пропорционалды үзбе.....	33
3.1.2.	Апериодты үзбе.....	35
3.1.3.	Тербелмелі үзбе.....	37
3.1.4.	Дифференциалдаушы үзбе.....	41
3.1.5.	Интегралдаушы үзбе.....	43
3.2.	Жұмыс тапсырмасы.....	46
3.3.	Программалық қамтама және жұмысты орындау барысы..... Бақылау сұрақтары.....	46 58
4.	Құрылымдық түрлендірудің алгебрасы.....	59

4.1.	Тізбектей қосу.....	59
4.2.	Параллель қосу.....	59
4.3.	Кері параллелді қосу.....	60
4.4.	Ақпаратты алу түйінін тасымалдау ережелері.....	61
4.5.	Жұмыс тапсырмасы.....	68
4.6.	Программалық қамтама мен жұмысты орындау барысы.....	71
	Бақылау сұрақтары.....	72
5.	Сызықты АБЖ-нің орнықтылығының алгебралық критерийлері.....	73
5.1.	Гурвиц критерийі.....	74
5.2.	Раус критерийі.....	77
5.3.	Льенар-Шипар критерийі.....	79
5.4.	Жұмыс тапсырмасы.....	80
5.5.	Программалық қамтама мен жұмысты орындау барысы.....	81
	Бақылау сұрақтары.....	84
6.	Орнықтылықтың жиіліктік критерийлері. Михайлов критерийі.....	85
6.1.	Орнықтылықты жиіліктік критерийлер көмегімен талдау.....	85
6.2.	Жұмыс тапсырмасы.....	93
6.3.	Программалық қамтама және жұмысты орындау барысы.....	95
	Бақылау сұрақтары.....	97
7.	Орнықтылықтың жиіліктік критерийлері. Найквист критерийі.....	98
7.1.	Жұмыс тапсырмасы.....	102
7.2.	Программалық қамтама және жұмысты орындау барысы.....	103
	Бақылау сұрақтары.....	104
8.	Сызықты стационарлы жүйелердің басқарылуы мен бақылануы.....	106
8.1.	Гильберт басқарушылығы мен бақыланылуы.....	106
8.2.	Калман басқарушылығы мен бақыланылуы.....	108
8.3.	Жұмыс тапсырмасы.....	110
8.4.	Программалық қамтама мен жұмысты орындау барысы.....	111

Бақылау сұрақтары.....	116
Библиографиялық тізім.....	117

Оқулық басылым

Балғабәева Ләззат Шайханқызы
Байматаева Шолпан Мұратқызы

Жүйетехника.
Зертханалық практикум

Оқу құралы

РБ бастығы	<i>З. А. Ғұбайдулина</i>
Редакторы	<i>Г. К. Оңкебаева</i>
Компьютерлік беттеу	<i>Д. Ш. Тәжіева</i>

Басуға қол қойылды ж.
Таралымы 300 дана. Пішімі 60х90 1/16. №1 баспаханалық қағаз.
Көлемі 7,5 е.-б.т. 6,9 ш.б.т. Тапсырыс № 320.
Бағасы келісімді.

Қ. И. Сәтбаев атындағы
Қазақ ұлттық техникалық университетінің басылымы,
Оқу-баспа орталығы
Алматы, Сәтбаев көшесі, 22

ISBN 978-601-228-724-0

