



**Коммерциялық емес
акционерлік қоғам**

**АЛМАТЫ ЭНЕРГЕТИКА
ЖӘНЕ БАЙЛАНЫС
УНИВЕРСИТЕТІ**

Электр машиналары және
электр жетегі кафедрасы

АВТОМАТТЫ БАСҚАРУ ЖҮЙЕЛЕРІ

5B071800 – Электр энергетикасы мамандығының студенттері үшін
зертханалық жұмыстарын орындауға арналған әдістемелік нұсқаулықтар

Алматы 2018

ҚҰРАСТЫРҒАНДАР: Ю.А. Цыба, Ж.Ж. Тойгожинова, Д.М. Чныбаева. Автоматты басқару жүйелері. 5B071800 – Электр энергетикасы мамандығының студенттері үшін зертханалық жұмыстарын орындауға арналған әдістемелік нұсқаулықтар - Алматы: АЭЖБУ, 2018. – 38 б.

Әдістемелік нұсқау MATLAB Simulink бағдарламасында жұмыстарды орындаудан, жұмысты жүргізу және дайындау әдістерінен алынған нәтижелерді талдаудан тұрады.

Әдістемелік нұсқау 5B071800 – Электр энергетикасы мамандығының студенттеріне зертханалық жұмыстарды орындауға арналған.

Суреттер 19, кесте 6, әдеб. – 6 атау.

Пікір беруші: ЭСТжЖ кафедрасының доценті Курпенев Б. К.

«Алматы энергетика және байланыс университетінің» коммерциялық емес акционерлік қоғамының 2018 ж. баспа жоспары бойынша басылады.

© «Алматы энергетика және байланыс университеті» КЕАҚ, 2018 ж.

Мазмұны

Кіріспе	4
1 Зертханалық жұмыс №1. MATLAB Simulink бағдарлама жүйесінде жұмыс жасауды игеру.....	4
2 Зертханалық жұмыс №2. Автоматты басқару жүйелеріндегі типтік динамикалық буындардың өтпелі процестерін зерттеу	8
3 Зертханалық жұмыс №3. Автоматты басқару жүйесінің өтпелі процестерінің сапасын зерттеу.....	13
4 Зертханалық жұмыс №4. Автоматты басқарудың тұйықталған жүйелерінің орнықтылығын зерттеу	16
5 Зертханалық жұмыс №5. Автоматты басқару жүйесін коррекциялау.....	20
6 Зертханалық жұмыс №6. Жылдамдық бойынша кері байланыстан тұратын ЖТ-АҚ жүйесін моделдеу.....	22
7 Зертханалық жұмыс №7. «Кернеуді тиристорлы түрлендіру – фаза роторлы асинхронды қозғалтқыш» жүйесін моделдеу және зерттеу	26
8 Зертханалық жұмыс №8 СЫЗЫҚТЫ емес автоматты басқару жүйесінің автотербелісін зерттеу.....	32
А қосымшасы.....	36
Әдебиеттер тізімі	38

Кіріспе

Бұл әдістемелік нұсқау «Автоматты басқару жүйелері» (АБЖ) курсы бойынша зертханалық жұмыстарды орындауға арналған.

Жұмыстың мақсаты: студенттерді басқару жүйесін жобалауға және тәжірибе жүзінде талдауға үйрету.

Зертханалық жұмыстарды орындау барысында студенттер келесі сұрақтарды қарастырады:

- уақыттық және жиіліктік сипаттамалар бойынша автоматты басқару жүйелерінде әртүрлі буындардың динамикалық қасиеттерін оқып, игеру және сипаттамаларын тұрғызу;

- өтпелі процестердің сапасын зерттеу;

- тұйықталған жүйелердің орнықтылығын зерттеу;

- қарапайым сызықты емес буындарды оқыу және олардың шығыстық сипаттамаларын зерттеу.

Зертханалық жұмыстарды орындауда кең тараған MATLAB моделдеу пакетін Control System Toolbox және Simulink қосымшасымен пайдаланамыз. Әр жұмыс тапсырмаларды орындау үшін қолданылатын MATLAB командаларының түсініктемесінен тұрады.

1 Зертханалық жұмыс №1. MATLAB Simulink бағдарлама жүйесінде жұмыс жасауды игеру

Мақсаты: моделдейтін MATLAB бағдарламалық пакетпен жұмыс жасауды толық игеру.

1.1 Қысқаша теориялық кіріспе

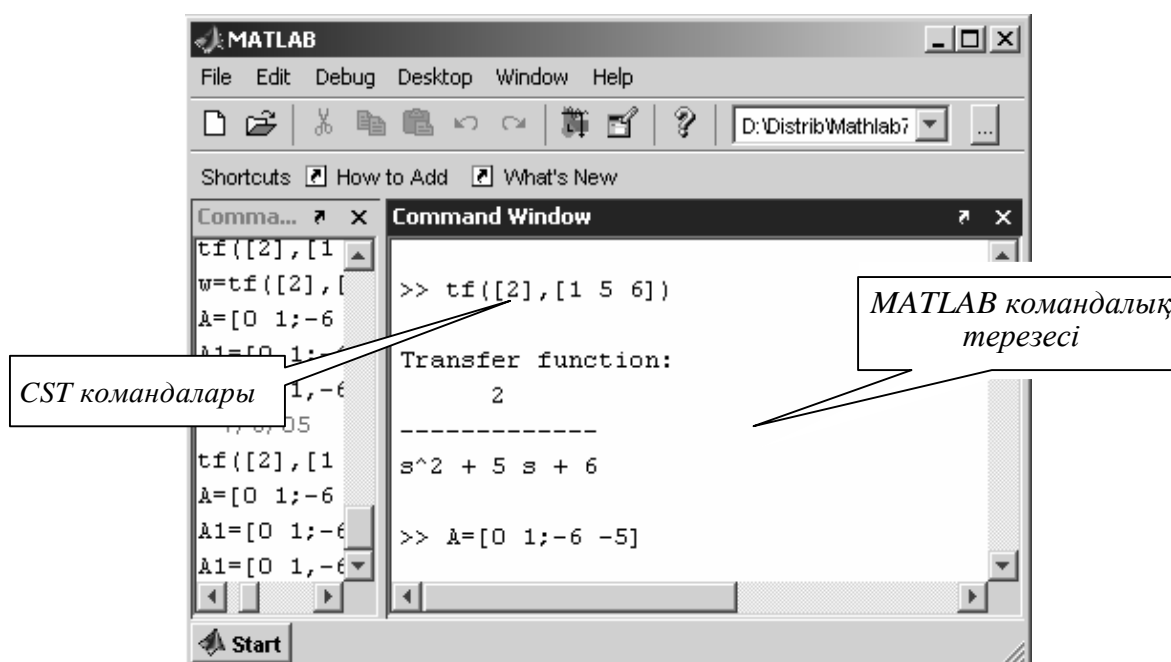
MATLAB – әртүрлі есептеулерді орындау үшін кең көлемді командалар жиынтығынан тұратын, деректердің құрылымын беруге және ақпаратты сызбалық бейнелеуге арналған жоғарғы деңгейдегі бағдарламалау жүйесі. Атап айтқанда, басқару жүйесінің LTI-моделімен (Linear Time Invariant Models) жұмыс жасауға арналған Control System Toolbox қолданбалы бағдарламалар пакетінің командалары пайдаланылады.

MATLAB Simulink - кітапхана блоктарымен динамикалық жүйелерді модельдеу, талдау және синтездеу үшін интерактивті құрал. Simulink MATLAB-тың дербес жеткілікті құралы, бірақ MATLAB функцияларына және оның басқа да құралдарына қатынау ашық болып қалады. Сонымен қатар әртүрлі аймақта қолданылатын қосымша кітапхана блоктарынан (электр техникалық құрылғыларды моделдеу, сандық құрылғыларды және т.б. өңдеу үшін блоктардың жиынтығынан) тұрады.

1.2 Жұмысты жасаудың негізгі принциптері және моделдеу

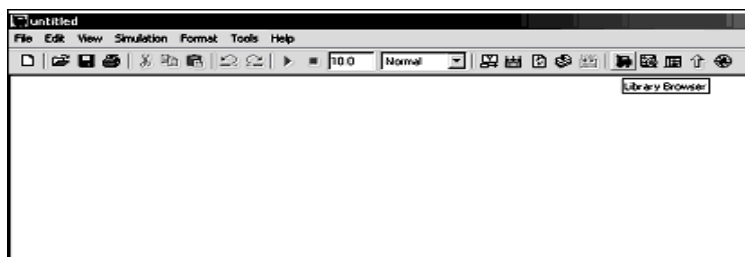
Берілген нұсқаулықтағы зертханалық жұмыстар CST командасы немесе MATLAB Simulink операциялық блоктарымен орындалады.

CST командасымен жұмыс жасау үшін алдымен MATLAB бағдарламасын қосу қажет, одан кейін зертханалық жұмыстарда көретілген MATLAB бағдарламасындағы командалық терезедегі (1.1 сурет) командаларды теруді қолданып жұмыс жасалынады.



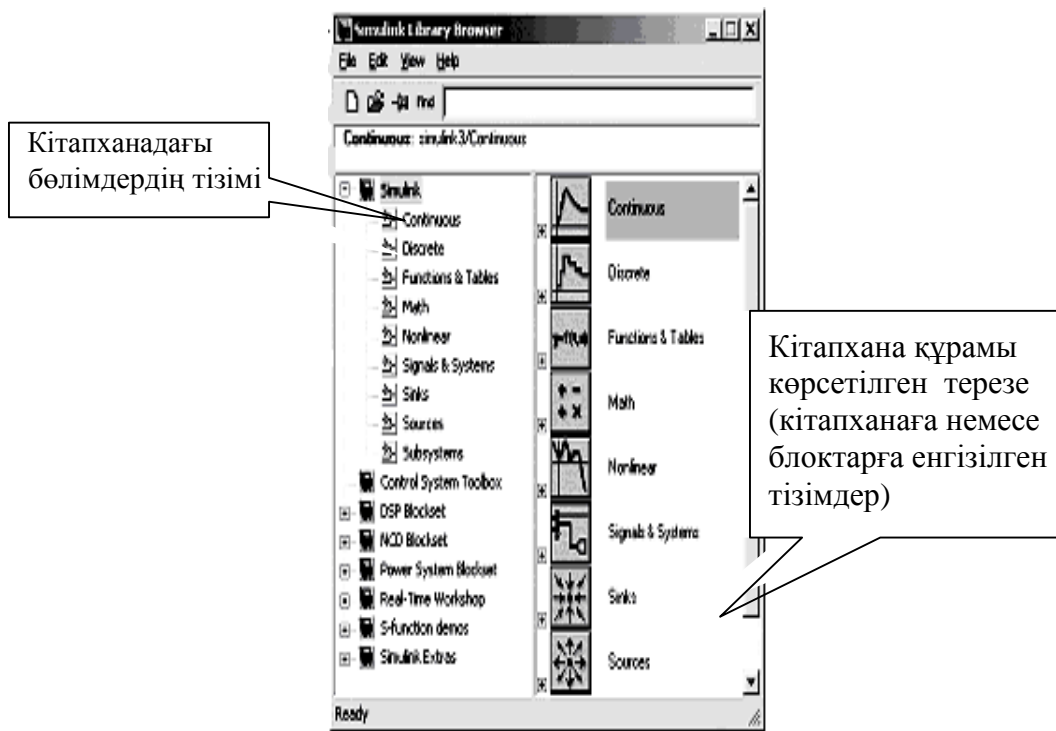
1.1 сурет – MATLAB-тың команда терезесі

MATLAB бағдарламасын қосқаннан кейін MATLAB Simulink-пен жұмыс жасау үшін File→New→Model мәзірін ашу қажет. Ашылған терезеде (1.2 сурет) Simulink кітапханасындағы операциялық блоктардың көмегімен жүйенің моделі құрылады.



1.2 сурет - MATLAB Simulink терезесі

Кітапханадағы блоктардың терезесі Simulink мәзіріндегі Library Browser батырмасын басқаннан кейін іске қосылады. Ол әртүрлі қолданбалы бөлімдерден тұрады (1.3 сурет).



1.3 сурет – MATLAB Simulink кітапханасы

1.3 Әдістемелік нұсқаулық мысалы

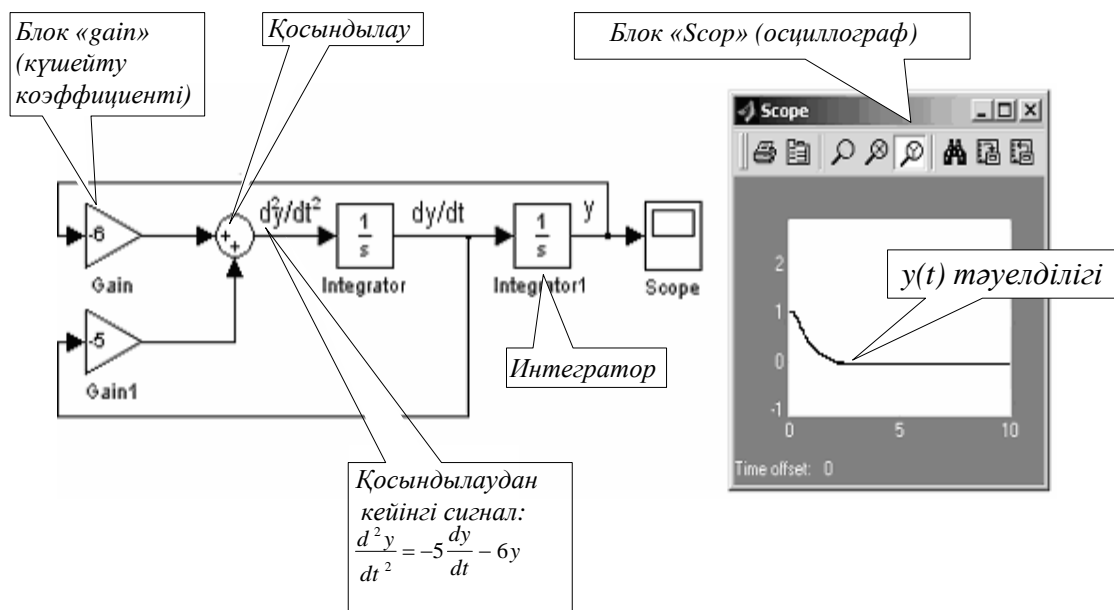
MATLAB құралдарын қолданып бастапқы шартпен n ретті теңдеулерді моделдеу.

$y(t_0) = 1, y'(t_0) = 1, t \in [t_0, +\infty], t_0 = 0$ бастапқы шарттардан тұратын төмендегі дифференциалды теңдеу берілген деп қарастырайық:

$$\frac{d^2 y(t)}{dt^2} + 5 \frac{dy(t)}{dt} + 6y(t) = 0, \quad (1.1)$$

MATLAB Simulink бағдарламасымен (1.1) теңдеуін моделдеу 1.4 суретте көрсетілген. Сұлбаны құру үшін (1.1) теңдеуін жоғарғы туындыға қатысты шешу қажет және MATLAB Simulink бағдарламасындағы стандартты блоктар қолданылады: қосындылау (*Sum*), интегратор (*Integrator*), күшейту коэффициенті (*gain*), сипаттаманы шығару блогы - осциллограф (*Scope*). Осыған сәйкес теңдеу түрі төмендегідей жазылады:

$$\frac{d^2 y}{dt^2} = -5 \frac{dy}{dt} - 6y, \quad (1.2)$$



1.4 сурет - MATLAB Simulink бағдарламасында (1.2) теңдеуін моделдеу сұлбасы

1.4 № 1 зертханалық жұмысты орындау тәртібі

1.4.1 MATLAB бағдарламасын қосып, мәзірдің құрамына кіретін мәліметтермен танысу.

1.4.2 Бастапқы шарттардың және моделденетін элементтердің параметрлерін өзгерте отырып, 1.4 суреттегі сұлбаны жинап және моделдің теңдеуін жазу қажет.

1.4.3 Бірінші және үшінші қатарлы дифференциалды теңдеулерді моделдеу төмендегі теңдеулерге қатысты орындалады:

$$\text{Бастапқы шарт } y(t) = \lambda \text{ болғанда } a_1 \frac{dy(t)}{dt} + a_2 y(t) = 0.$$

$$\text{Бастапқы шарт } y(t_0) = \lambda; \dot{y}(t_0) = \mu, \ddot{y}(t_0) = \nu \text{ болған кезде}$$

$$\frac{d^3 y(t)}{dt^3} + a_1 \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + a_2 \frac{dy(t)}{dt} + a_3 y(t) = 0.$$

Бастапқы шартын және параметрлерін оқушы өзі таңдайды немесе оқытушының таңдауымен орындалады.

1.4.4 Командалық тереземен танысу.

1.5 Бақылау сұрақтары

1.5.1 MATLAB бағдарламасының тағайындалуы.

1.5.2 MATLAB бағдарламасындағы пакеттердің құрылу принципі.

1.5.3 Control System Toolbox (CST) және MATLAB Simulink қолданбалы бағдарламалардағы пакеттердің моделдеу мүмкіншіліктері.

1.5.4 Бағдарламамен жұмыс жасаудың негізгі кезеңдері.

1.5.5 Басқару объектісі, басқару құрылғысы, автоматты басқару жүйелеріне анықтама бер.

1.5.6 Басқару объектісінің математикалық моделі деген не?

1.5.7 Статика және динамика теңдеулері.

1.5.8 Басқару объектісінің кіріс әсері және шығыс координаттары. Қоздыру әсері, басқару әсері.

2 Зертханалық жұмыс №2. Автоматты басқару жүйелеріндегі типтік динамикалық буындардың өтпелі процестерін зерттеу

Мақсаты: MATLAB-Simulink моделдеу пакетін білу. Автоматты басқарудың сызықты жүйелерінің моделдеудің негізгі әдістерін меңгеру.

2.1 Қысқаша теориялық кіріспе

Модель - айнymалылардың бір-бірімен байланысын, олардың уақыт бойынша өзгеруін, болатын заңдылықтарды табуға көмектесетін құрал іспеттес. Моделді құру кезінде зерттелетін аймақтың құрылымы түсінікті бола түседі, маңызды байланыстарды байқаймыз. Моделдеу процесінде бастапқы аймақтың қасиеттері болатын және жүйеде қалыптасқан талаптардың көзқарасымен екінші деңгейге бөліну басталады. Сонымен бірге, модель болжам сияқты, аймақтың жүрісін байқаймыз және әртүрлі басқарумен байқай отыра оларды басқаруға болатынын көрсетеді.

Моделдерлі шартты түрде үш топқа бөлуге болады: физикалық, аналогты және математикалық. Физикалық модель деп нақты аймақ оның ұлғайтылған немесе кішірейтілген көшірмесімен ауысуын айтады. Аналогты моделдеу бастапқы аймақты басқа аналогты жүріске ие физикалық табиғатпен алмастыруға негізделген. Математикалық модель нақты физикалық аймақтың математикалық сипатталуы болып табылады.

Математикалық моделмен көрсетілген аймақтың қасиеті аналитикалық және есептеу әдістерін пайдаланумен оқытылуы мүмкін. Олар бірінші және екінші ретті дифференциалдық теңдеумен сипатталатын жүйені толықтай зерттеуге мүмкіндік береді. Үшінші және төртінші ретті теңдеумен сипатталатын жүйелер аналитикалық шешімге жүгінеді, алайда жүйенің параметрлерінің әсер етуін сандық әдіспен зерттеуге тура келеді. Жоғары ретті жүйелерді тек сандық әдіспен зерттейді [1,2].

Сандық әдістер компьютерлік моделдеуге негізделген. Компьютерлік модель – бұл математикалық моделдің бағдарламамен іске асырылуы, олар әр әртүрлі қызметтік (сурет салатын, уақыт бойынша сызбасының өзгеруі сияқты) бағдарламалармен толыққан. Динамикалық жүйелерді зерттеу үшін Math Work фирмасының MATLAB – Simulink пакеті кеңінен қолданылады.

Simulink пайдалана отыра моделдеу кезінде визуалды бағдарламалау жүзеге асады, сәйкесінше қолданушы экрандағы кітапханадан стандартты блоктардан құрылғы моделін құрады және есептеулер жүргізеді. Сондай-ақ моделдеудің классикалық амалынан айырмашылығы қолданушы бағдарлама тілін және математиканың сандық әдісін толық меңгеруі қажет емес. Тек компьютерде жұмыс жасауды білетіндей жалпы білім, әрине өзі жұмыс жасайтын саланы білу жеткілікті.

Автоматты басқару жүйесінде кең тараған математикада сипатталатын әдіс төмендегілер болып табылады [1, 2]:

- осы және басқа түрде жазылатын дифференциалдық теңдеу;
- күй теңдеуі – Кошидің қалыпты түрінде жазылған дифференциалдық теңдеулер жүйесі;
- беріліс функциялары;
- жүйелік функциялар (амплитудалы-жиіліктік, фаза-жиіліктік, амплитудалы- фазалы сипаттамалар);
- нөлдер және беріліс функциялардың полюстері.

Сызықты динамикалық (немесе оның бөлігін) жүйені сипаттайтын дифференциалдық теңдеулер жалпы жағдайдағы түрі:

$$a_n \frac{d^n x}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} x}{dt^{n-1}} + \dots + a_1 \frac{dx}{dt} + a_0 x = b_m \frac{d^m u}{dt^m} + b_{m-1} \frac{d^{m-1} u}{dt^{m-1}} + \dots + b_1 \frac{du}{dt} + b_0, \quad (2.1)$$

мұндағы u - кіріс сигналы;

x - айнымалының күйі.

Осы теңдеуді операторлы түрде жазуға болады:

$$a_n s^n x + a_{n-1} s^{n-1} x + \dots + a_1 s x + a_0 x = b_m s^m u + b_{m-1} s^{m-1} u + \dots + b_1 s u + b_0 u, \quad (2.2)$$

мұндағы $s^k = \frac{d^k}{dt^k}$ - дифференциалдау операторы.

Соңғы теңдеуден шығыс сигналдың кіріс сигналына қатынасын табамыз

$$w(s) = \frac{x}{u} = \frac{b_n s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_1 s + b_0}{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0}. \quad (2.3)$$

Беріліс функциялы түріне сәйкес келетін 2.3 өрнегін операторлы беріліс функциясы деп атаймыз. Байқағанымыздай, MATLAB – Simulink пакетіндегі моделдер дифференциалдық теңдеуді операторлық түрде жазуды қажет етеді.

Күй теңдеуінің (Кошидың қалыпты түрінде жазылған дифференциалдық теңдеулер жүйесі) түрі:

$$\begin{aligned} \frac{dX}{dt} &= AX + BU; \\ Y &= CX + DU, \end{aligned} \quad (2.4)$$

мұндағы X – жүйенің кіріс жағдайының векторы;

U, Y – кіріс және шығыс векторлары;

A - коэффициенттер матрицасы;

B - басқару матрицасы;

C - шығыс матрицасы;

D - кіріс және шығыс сигналдар байланысын сипаттайтын матрица.

Кейбір жағдайларда, қарапайым жүйелерде, шығыс скаляр шама болып табылады. Бұл жағдайда матрица C – жолдың векторы, ал матрица X – бағана векторы және олардың туындысы скаляр шаманы береді.

2.1 теңдеу бойынша құралған беріліс функциясы (Лаплас бойынша түрлендірілген шығыс сигналдың Лаплас бойынша түрлендірілген кіріс сигналға қатынасы):

$$W(s) = \frac{X(s)}{U(s)} = \frac{b_n s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_1 s + b_0}{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0}, \quad (2.5)$$

мұндағы $s = a + j\omega$ – комплексті шама.

Егер $s = j\omega$ алсақ, онда жүйелік функцияны аламыз (амплитудалы-фазалық сипаттама):

$$H(j\omega) = \frac{X(j\omega)}{U(j\omega)} = \frac{b_n (j\omega)^m + b_{m-1} (j\omega)^{m-1} + \dots + b_1 (j\omega) + b_0}{a_n (j\omega)^n + a_{n-1} (j\omega)^{n-1} + \dots + a_1 (j\omega) + a_0}. \quad (2.6)$$

Жүйелік функция алгебралық немесе көрсеткіш түрінде жазылуы мүмкін:

$$H(j\omega) = R[H(j\omega)] + \text{Im}[H(j\omega)] = A(\omega)e^{j\varphi(\omega)}, \quad (2.7)$$

мұндағы

$$A(\omega) = \sqrt{R_e[H(j\omega)]^2 + \text{Im}[H(j\omega)]^2}, \quad (2.8)$$

амплитудалы-жиіліктік сипаттама,

$$\varphi(\omega) = \text{arctg} \frac{\text{Im}[H(j\omega)]}{R_e[H(j\omega)]}, \quad (2.9)$$

фазалы-жиіліктік сипаттама.

Беріліс функцияның (2.5) алымы мен бөлімі s айнымалының полиномын көрсетеді. Алымының полином түбірлері нөл өрнегіне келеді және сондықтан нөл (Zero) деп атайды, ал бөлімінің полином түбірлері шексіздікке ұмтылады және беріліс функцияның полюстері (Pole) деп атайды. Нөлдер (z) мен полюстерді (p) пайдалана жазылған беріліс функциясы келесі түрде болады:

$$W(p) = K \frac{(s - z_m)(s - z_{m-1}) \dots (s - z_1)}{(s - p_n)(s - p_{n-1}) \dots (s - p_1)}, \quad (2.10)$$

мұндағы K – күшейту коэффициенті.

2.2 Жұмыс бағдарламасы

2.2.1 Оқытушы көрсеткен нұсқа бойынша 2.1 - кестеден тапсырманы аламыз және MATLAB-Simulink пакеті көмегімен автоматты басқарудың сызықты жүйелерінің моделдеу сұлбасын жинаймыз.

2.2.2 Моделдеуді бастапқы нөл болғандағы шарттар үшін жүргіземіз және кірісіне бірлік сатылы сигналды – жүктеме бойынша қарсы әсер – (Sources кітапханасындағы Step блогы) $u = 1(t)$ және синусоидалы сигнал (Sources кітапханасындағы Sine Wave блогы) $u = 2\cos(t)$ береміз.

2.2.3 Моделдің шығысын жұмыс терезесіне (Sinks кітапханасындағы To Workspace блогы) және сызбалық дисплейге (Sinks кітапханасындағы Scope блогы) қосамыз. Сызбалық дисплейде сигналдар $y(t)$ және $u(t)$ шығады. Уақыт аралығын өздеріңіз таңдайсыздар.

2.2.4 Нөлге тең және нөлге тең емес бастапқы шарттармен жүйенің еркін қозғалысын жүзеге асырамыз (2.2 кесте). Жүйенің $y(t)$ шығыс сипаттамасын аламыз.

2.2.5 Алынған сызбалар мен есептерді Word форматына көшіріңіз. Ол үшін File мәзірінен Print to Figure аймағын таңдаймыз. Жаңа терезеде пайда болған өтпелі процестің сызбасында Edit аймағынан Copy Figure тандап, Word құжатына Ctrl+V перделерімен сызбаны сақтап кою қажет.

2.1 кесте – Модель параметрлерінің нұсқалары

Нұсқа	Моделдер рет, n	a_0	a_1	a_2	b_0	b_1	b_2
1	3	9	6	3	1	2	0,1
2	3	5	4	3	2,5	2	3
3	3	5	4	2	7,5	0	5
4	3	8	6	2	1	1	10
5	3	7	5	1	1	3	1,5
6	3	1	5	0	1	0,5	1
7	2	7	3	0	1	6	0
8	2	2	0,5	0	4	2	0
9	2	1	0,5	0	2	2	0
10	2	2	1	0	3	2	0
11	2	3	0,8	0	7,5	3	0
12	2	8	6	0	1	2	0
13	2	7	5	0	1	2	0
14	2	1	5	0	1	0	0
15	2	0,1	1	0	0,1	1	0

2.2 кесте – Моделдердің бастапқы шарттарының нұсқалары

Нұсқа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Моделдердің реті n	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2
$y(0)$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
$y^{(1)}(0)$	0,5	-0,2	-0,4	0,1	-0,5	0,5	0,4	1	-0,5	0	0,5	0,1	-0,5
$y^{(z)}(0)$	0	0,1	0,2	-0,1	0	0,1	-	-	-	-	-	-	-

2.3 Есеп беруге талаптар

Есеп беру келесі бөлімдерден тұруы керек:

- 1) Сыртқы беті.
- 2) Жұмыстың мақсаты мен орындалу тәртібі.
- 3) Теориялық бөлімнен қысқаша мазмұн.
- 4) Типтік динамикалық буындардың математикалық моделдері.
- 5) Көрсетілген типтік буындардың өтпелі процестерінің сызбалары.
- 6) Қорытынды.

2.4 Бақылау сұрақтары

2.4.1 MATLAB-Simulink пакеті қандай тапсырмаларды шешу үшін қолданылады?

2.4.2 Автоматты басқару жүйелерінің математикалық жазылу әдістері.

2.4.3 Типтік динамикалық буындардың уақыттық және жиіліктік сипаттамалары.

2.4.4 Негізгі типтік динамикалық буындарға мысал келтір.

2.4.5 Өтпелі сипаттамалар деген не?

2.4.6 Компьютерлік моделдеу деген не?

2.4.7 Буындардың қандай түрлері болады?

2.4.8 Беріліс функциясы.

3 Зертханалық жұмыс №3. Автоматты басқару жүйесінің өтпелі процестерінің сапасын зерттеу

Мақсаты: өтпелі процестердің сапасын зерттеу бойынша тәжірибеде үйрену және теориялық білімдерін нығайту.

3.1 Қысқаша теориялық кіріспе

Автоматты реттеу жүйелерінде (АРЖ) реттеу процестерінің орнықтылығына ғана талаптар қойылмайды. Сондай-ақ жүйенің жұмыс жасау қабілеттілігі үшін басқару процесінің белгілі бір сапа көрсеткіштерін қамтамасыз ету кезінде автоматты реттеу процесі іске асырылуы қажет. Егер зерттелінетін АРЖ орнықты болса, онда бұл жүйеде реттеу қаншалықты сапалы жүріп жатыр және ол басқару аймағының техникалық талаптарын қанағаттандыра ма деген сұрақ туады. Практикада өтпелі процестердің графигі (сызбасы) бойынша реттеу сапасы анықталады [1, 2].

Сапа көрсеткіштерінің классификациясы бірнеше топтардан тұрады:

- тура процестің өтпелі сипаттамаларсыз анықталады;
- түбірлі - сипаттаушы полином түбірлері бойынша анықталады;
- жиіліктік - жиіліктік сипаттамалары бойынша;
- интегралды - функцияларды интегралдау жолымен алынады.

Автоматты жүйелердің жұмыс режимінің өзгерісі сыртқы әсерлердің болуынан пайда болады. Сонымен бірге сыртқы қарсы әсерлер мен берілген өзгеріс заңдарына байланысты әртүрлі жүйенің жұмыс режимдері болуы мүмкін.

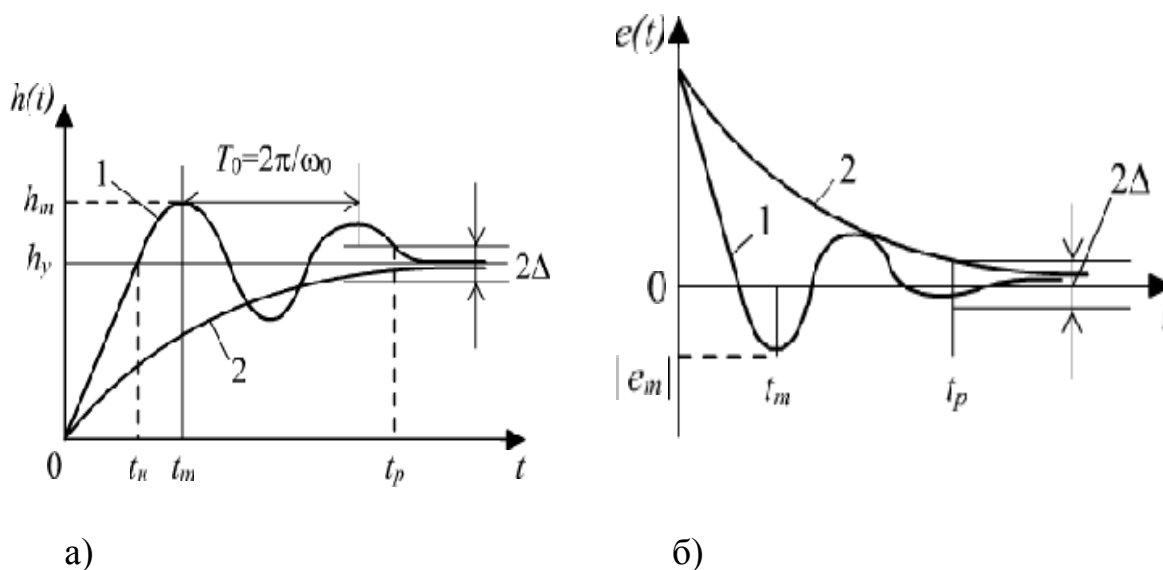
Берілген деңгейде басқарылатын айнымалыны тұрақтандыру үшін жүйеге айнымалы жүктеме түріндегі сыртқы қарсы әсер ету жеткілікті. Осыдан шығатын негізгі тапсырма осы әсер ету жеткіліксіз (әсер етпейтін) болатын жүйе құру.

Жүйенің кірісіндегі сыртқы әсер бағдарламалық және тізбектей жүйелер үшін сипатталады. Сонымен қатар, бұл әсер минималды қателікпен (ковариантная задача) жүру үшін жүйенің құрылымы мен параметрін соған орай таңдап алу қажет. Жалпы жағдайда бұл барлық әсерлер жүйеге уақыттың күрделі функциялары болып табылады.

Әдетте басқару процесінің сапасын зерттеу кезінде келесі функциялар түріндегі бірнеше типтік әсерлер қарастырылады: бірлік секірімелі түрінде, импульсті, гармоникалық және тұрақты жылдамдықты сигналдың өзгерісіне сәйкес келетін әсер. Кең тараған әсер секірімелі түрдегі функциялар болып табылады.

Жүйедегі өтпелі процесс АБЖ қасиеттерінен ғана тәуелді емес, сондай-ақ жалпы жағдайда уақыттың күрделі функциялары болатын сыртқы әсер сипатынан да тәуелді. Келесі типтік әсер етулер кезінде жүйенің жүрісі қарастырылады: бірлік сатылы функциялар $I(t)$, импульсті $\delta(t)$ және гармоникалық функциялар. $h(t)$ өтпелі процестің қисығы бойынша

сапаның тура бағалауын алады, яғни нөлдік бастапқы шарттарда және бірлік сатылы функциялар әсерлері кезінде [2].



а) шығыс координаттар үшін $h(t)$; б) қателіктер үшін $e(t)$.

3.1 сурет – Өтпелі процестер

Секірмелі түріндегі әсер кезінде өшу сипатынан тәуелді болғанда өтпелі процесс монотонды, апериодты және тербелмелі болуы мүмкін (3.1 сурет). Егер $t \rightarrow \infty$ ұмтылғанда жаңадан орнықталған мәннен басқарылатын айнымалы ауытқу тек азаятын болса, онда процесс монотонды болып табылады (2 қисық). Апериодты процесс болады, егер басқарылатын айнымалының бастапқы және соңғы мәніне қатысты бір қайта реттеу орын алған жағдайда.

Өтпелі сипаттамасыз анықталатын басқару процесінің сапасының тура көрсеткіштері болып табылады:

1) Реттеу уақыты t_p – өтпелі процесс талап етілген нақтылықта орнықталған мәнге жақын болып қалатын минималды уақыт, яғни $|e(t)| \leq \Delta$ немесе $|h(t) - h_y| \leq \Delta$ теңсіздігі орындалады, мұндағы Δ - тұрақты, h_y - дан (статикалық жүйелер үшін $h_y = K/(1+K)$), ал астатикалық жүйелер үшін $h_y = 1$) пайызбен берілетін алдын ала айтылған шама. Әдетте $\Delta = 5\%$ деп алынады.

2) Аса реттеу H_m – орнықталған мәннен өтпелі сипаттаманың максималды ауытқу, салыстырмалы бірлікте немесе пайызбен өрнектеледі:

$$H_m = \frac{(h_m - h_y)}{h_y} 100\% \text{ немесе } H_m = \frac{|e_m|}{h_y} 100\% .$$

3) Бірінші t_m максималды мәнге жету уақыты.

4) Өтпелі процестің өсу уақыты t_n – абсцисса осінің $e(y)$ қисығы немесе орнықталған мәнінің деңгейімен $h(y)$ қисықтың $h(t)$ бірінші нүктесімен қиылысу абсциссасы.

5) Тербеліс жиілігі $\omega = \frac{2\pi}{T_0}$, мұндағы T_0 – тербелмелі процестер үшін тербеліс периоды.

6) Тербеліс саны N , t_p уақыт ішінде $h(t)$ орын алады.

7) Өшу декременті – өтпелі процестің тербелмелілігінің өшу интенсивтілігіне сандық бағалауы: $\xi = \frac{h_{m1} - h_Y}{h_{m2} - h_Y}$.

Монотонды процестер үшін негізгі көрсеткіш реттеу уақыты болып табылады.

3.2 Жұмыстың бағдарламасы

3.2.1 $W(p) = \frac{k}{p(T_1p + 1)(T_2p + 1)}$ беріліс функциясымен жазылған автоматты басқару жүйелері үшін және 3.1 кестеде көрсетілген нұсқалар бойынша MATLAB-Simulink пакетін қолдана отырып, өтпелі процесті тұрғызу қажет.

3.2.2 Алынған сызбалар бойынша сапаның барлық тура көрсеткіштерін анықтау.

3.2.3 Нәтижелер бойынша қорытынды жасау.

3.1 кесте – Автоматты басқару жүйесінің параметрлері

№	$T1$	$T2$	k	№	$T1$	$T2$	k
1	0.51	0.11	0.2	11	0.45	1.0	4
2	0.35	1.0	8.56	12	0.56	0.93	5
3	0.13	0.013	13	13	0.89	0.57	89
4	0.46	0.19	3.79	14	0.65	0.3	4.2
5	0.7	0.67	6.67	15	0.2	0.01	8
6	0.98	0.23	9	16	0.54	0.91	3.4
7	0.96	0.99	8.67	17	1.0	0.63	6.7
8	0.5	1.0	3.4	18	0.3	0.44	3
9	0.39	0.83	6.12	19	1.0	0.86	3.8
10	0.99	0.92	90	20	0.34	0.28	5.54

3.3 Есеп беруге арналған талаптар

Есеп беру келесі бөлімдерден тұруы қажет:

1) Сыртқы беті.

- 2) Жұмыстың мақсаты және орындалу тәртібі.
- 3) Теориялық бөлімінен қысқаша мазмұн.
- 4) Зерттелетін АБЖ құрылымдық сұлбасы.
- 5) Өтпелі процестің сызбалары.
- 6) Жоғарыда көрсетілген сапа көрсеткіштердің есебі.
- 7) Қорытынды.

3.4 Бақылау сұрақтары

3.4.1 АБЖ сапасын зерттеу кезінде қандай типтік әсерлер қарастырылады?

3.4.2 АБЖ сапа көрсеткіштерінің топтарын атаңыз.

3.4.3 Неге осы жұмыста зерттелетін сапа көрсеткіштері тура деп аталады?

3.4.4 Келесі ұғымдарға анықтама беріңіз:

- реттеу уақыты;
- аса реттеу;
- тербеліс жиілігі;
- тербеліс саны;
- бірінші максималды мәнге жетуі.

3.4.5 Қайта реттеу қандай жіберілетін мәнді қабылдауы мүмкін?

3.4.6 Басқару жүйелерінде қандай тербеліс саны тиімді?

3.4.7 Өшу декременті деген не?

3.4.8 Өтпелі процестің өсу уақыты қалай анықталады?

4 Зертханалық жұмыс №4. Автоматты басқарудың тұйықталған жүйелерінің орнықтылығын зерттеу

Мақсаты: тұйықталған АРЖ орнықтылығын зерттеу әдістерін үйрену.

4.1 Қысқаша теориялық кіріспе

Жобаланған АРЖ қасиеттерін бағалау кезінде алдымен оның орнықтылығы түсіндіріледі. Барлық динамикалық жүйелердің және АРЖ орнықтылығы туралы түсінік оның сыртқы әсерлерінен кейінгі қозғалысымен (әрекетімен) байланысты, яғни оның бастапқы шарттарының әсерінен кейінгі еркін қозғалысы. Жүйе орнықты болады, егер сыртқы әсер тоқтағаннан соң, ол біраз уақыт өткеннен кейін өзінің бастапқы күйіне келсе. Болмаса, сызықты жүйенің орнықтылығы – бұл оның өтпелі процестерінің өшу қасиеті.

Орнықтылықты бағалау реттеуді (басқаруды) жүзеге асырудың принципіалды қабілеті болып табылады, сондықтан орнықтылықты бағалаумен және кез келген АРЖ зерттеуді бастайды [2].

Сызықты АБЖ орнықтылығы сызықты емес АБЖ қарағанда сыртқы әсерлерге тәуелді емес және жүйенің өзінің параметрлерімен анықталады. Егер сызықты жүйе тұрақты болса, яғни ол кез келген орнықтылық режимде орнықты.

Сызықты стационарлы жүйенің орнықтылығы (асимптотикалық орнықтылығы) үшін оның сипаттамалық теңдеуінің түбірлері кері нақты бөлікке ие болуы жеткілікті. Бір ғана оң нақты бөлікке ие болса, жүйе орнықсыз болады. Жүйе орнықтылық шегінде деп айтылады, егер нөлдік түбір немесе жорамал бөліктер болған жағдайда. Жүйеде таза жорамал түбірлер болған кезде тұрақты амплитудалы өшпейтін гармоникалық тербеліске орын алады.

Іс жүзінде АРЖ орнықтылығын орнықтылық критерийлері көмегімен анықтайды, яғни жүйенің орнықтылығын сипаттамалық теңдеудің түбірлерін есептемей-ақ түсіндіруге мүмкіндік береді. Орнықтылық критерийін екіге бөледі: алгебралық және жиіліктік.

Алгебралыққа Гурвиц және Раус критерийлері, ал жиіліктіге Михайлов және Найквист критерийлері жатады.

Гурвиц критериясы (буындарсыз кешігу) жүйенің параметрлері белгілі болған жағдайда, 3 және 4 ретті жүйені зерттеуге қолайлы. Сондай-ақ, ол орнықтылыққа қандай да бір параметрдің әсер ету тәуелділігінің аналитикалық өрнегін алуға және критикалық күшейту коэффициентін табу үшін мүмкіндік береді [2, 3].

Раус критериясы жоғары ретті жүйенің орнықтылығын анықтау кезінде пайдаланылады.

Михайлов критериясы тұйықталған жүйенің сипаттамалық векторының соңын сипаттайтын, жүйенің орнықтылығын годограф бойынша түсіндіруге мүмкіндік береді.

Кез келген орнықтылық критерийін пайдалана отыра, орнықтылықтың шегін анықтауға болады.

Найквист критериясы көп қолданылады. Мұның себебі төменде:

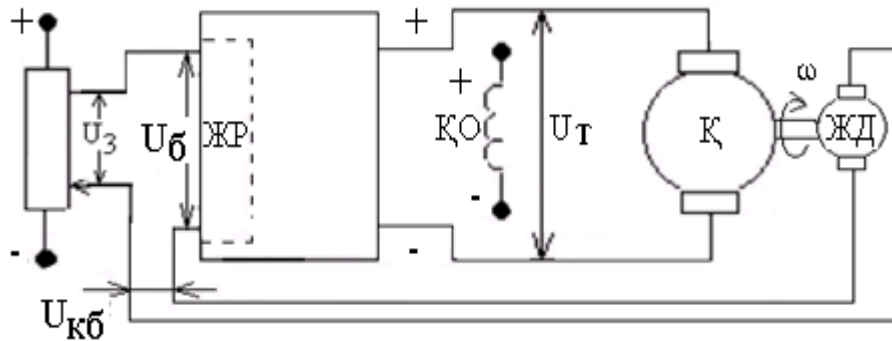
1) Тұйықталған күйдегі жүйенің орнықтылығын зерттеу оның ашық (тұйықталмаған) тізбектерінің жиіліктік беріліс функциялары бойынша зерттеуге болады, ал бұл - көбінесе қарапайым көбейткіштерден құралады. Жүйенің нақты параметрлері коэффициенттер болып табылады, оларды орнықтылық шартынан тандап алуға болады.

2) Орнықтылықты зерттеу үшін алынған нәтижелердің нақтылығын жоғарылататын жүйенің күрделі элементтерінің жиіліктік сипаттамасын пайдалануға болады.

3) Орнықтылықты зерттеуді логарифмдік жиіліктік сипаттамалар арқылы зерттеуге болады, ал оларды тұрғызу аса қиынға соқпайды.

4) Орнықтылық қорын анықтау ыңғайлы, түзету құрылғыларының синтезін іске асыру.

5) Найквист критериясы және оның түрі логарифмдік жиіліктік сипаттамасы бойынша жүйенің құрылымдық жағынан орнықсыздығы жайлы түсіндереді.



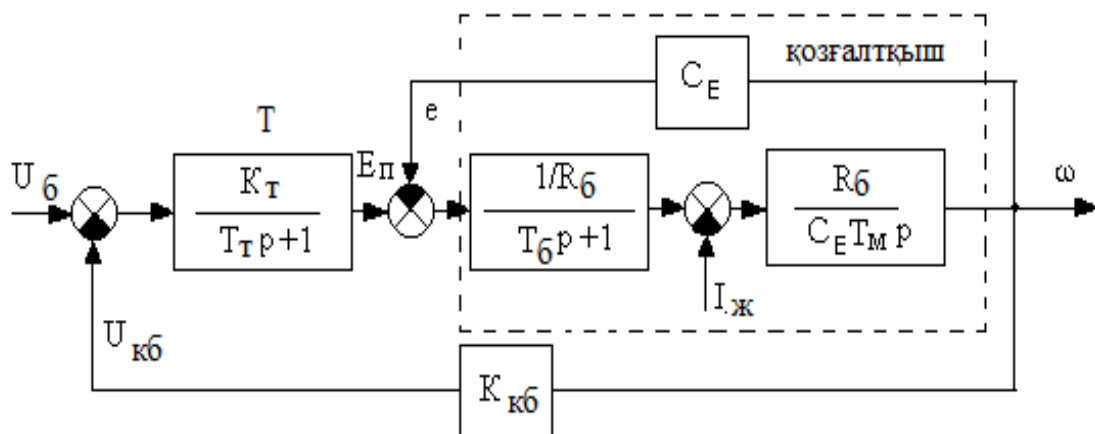
4.1 сурет – Қозғалтқыш жылдамдығын тұрақтандыру жүйесі

Құрылымдық жағынан орнықсыз жүйе параметрлерінің кез келген мәндрінде де орнықсыз болады. Тек құрылымдық сұлбаны өзгерте отыра, орнықты жасауға болады. Мысалы, бір контурлы және бір инерциялы және екі интегралданатын буыннан құралған жүйе құрылымдық жағынан орнықсыз.

Қозғалтқыштың жылдамдығын тұрақтандыратын жүйені мысалға ала отыра, АРЖ орнықтылығын қарастыралық (4.1 сурет).

Жылдамдық датчигі (ЖД) ретінде тахогенератор не тахомертлік көпір қолданылуы мүмкін. Жалпы жағдайда, түрлендіргіштің Т кіріс каскадының қызметін аралық күшейткіш – жылдамдықты реттегіш (ЖР) атқарады.

Жүйенің жылдамдығын реттейтін құрылымдық сұлбасы 4.2 суретте көрсетілген.



4.2 сурет - Жүйенің жылдамдығын реттейтін құрылымдық сұлба

Басқарушының әсері бойынша қозғалтқыштың беріліс функциясы:

$$W_k(p) = \frac{\omega(p)}{E_H(p)} = \frac{1/C_E}{T_\delta \cdot T_M \cdot p^2 + T_M \cdot p + 1} = \frac{K_k}{T^2 \cdot p^2 + 2 \cdot \xi \cdot T \cdot p + 1}, \quad (4.1)$$

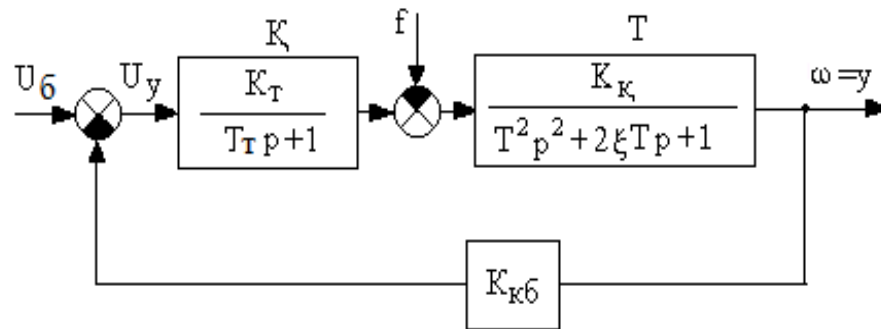
$$\text{мұндағы } T = \sqrt{T_\delta \cdot T_M}, \quad \xi = \frac{T_M}{2 \cdot \sqrt{T_\delta \cdot T_M}}, \quad K_k = 1/C_E, \quad C_E = \frac{U_H - I_H \cdot R_\delta}{\omega_H}. \quad (4.2)$$

Осыны ескере отырып, құрылымдық сұлба 4.3 суреттегі түрде құрылады.

Мұндағы K_T – жиілікті реттегіштің (ЖР) және түрлендіргіштің (Т) күшейту коэффициенттері.

Сызықты АРЖ орнықтылығы оның параметрлеріне және олардың қатынасына байланысты екені белгілі. Сондықтан осы сұлбада өтпелі процесті зерттей отырып, K_T және $K_{ЖТ}$ байланысты өтпелі процес қисығы бойынша АРЖ сапа көрсеткішінің өзгерісін бақылаймыз.

$K_k = 1$; $T = 1\text{c}$; $\xi = 0,5$; $T_T = 0,1\text{c}$ тең деп қабылдаймыз.



4.3 сурет – АРЖ түрлендірілген құрылымдық сұлбасы

4.2 Жұмыстың бағдарламасы

4.2.1 $K_{КБ} = 1$; $I_{Ж} = 0$ кезінде $K_T = 2$; 5; 8 мәндерінде $h(t) = \omega(t)$ өтпелі процесті алу. $U_B = 10\text{ В}$ (түрлендіргіш, қозғалтқыш, жылдамдық датчигін №1 лабораториялық жұмыстағы 1.2 кестеден аламыз) қою керек.

4.2.2 $U_B = 0$; $I_{Ж} = 10$ кезінде $K_T = 2$; 5; 8 үшін қарсы әсер етуге (жүктеме) қатысты өтпелі процесті алу.

4.2.3 3.2.1, 3.2.2 тармақтарын қайталап, $K_T = 1$ қойып, $K_{КБ}$ мәндерін өзгертеміз (мысалы $K_{КБ} = 2; 5$).

4.2.4 Өтпелі процесс қисығы бойынша АБЖ сапасын бағалауды жүргіземіз.

4.3 Жұмыстың орындалу тәртібі

4.3.1 Matlab Simulink бағдарламалық пакетті пайдалана отыра, қозғалтқыш жылдамдығының АРЖ моделін жинаймыз (4.3 сурет).

4.3.2 Моделдің кірісіне басқарушы сигналды U_6 береміз. Шығысына жылдамдықты бақылау үшін осциллографты қосамыз.

4.3.3 Моделдің элементтерінің керекті параметрлерін қоямыз және жұмыс бағдарламасына сәйкес сигналды орнатамыз.

4.3.4 Осциллограммадан алынған өтпелі процестерді сақтаймыз және талдау жасаймыз.

4.4 Есеп беруге талаптар

Есеп беру келесі бөлімдерден тұруы қажет:

- 1) Сыртқы беті.
- 2) Жұмыстың мақсаты және орындалу тәртібі .
- 3) Қысқаша теориялық бөлімнен мазмұны.
- 4) Зерттелетін АБЖ құрылымдық сұлбасы.
- 5) АРЖ функционалды және құрылымдық сұлбасы. Моделдің сұлбасы.
- 6) Тәжірибе нәтижелері.
- 7) Қорытынды.

4.5 Бақылау сұрақтары

4.5.1 Анықтама беріңіз:

- 1) Гурвиц критериясы.
- 2) Михайлов критериясы.

4.5.2 Амплитуда фаза жиілікті сипаттаманың (АФЖ), асимптотикалық логарифмді амплитуда жиілікті сипаттаманың (ЛАЖС) және логарифмді фаза жиілікті сипаттаманың (ЛФЖС) тұрғызылу ретін айтыңыз.

4.5.3 Асимптотикалық ЛАЖС бойынша минималды фазалы жүйе үшін беріліс функциясы қалай жазылады?

4.5.4 Асимптотикалық ЛАЖС бойынша жүйенің параметрлері: күшейту коэффициенті және уақыт тұрақтысы қалай анықталады?

4.5.5 Орнықтылық критерийіне талдау жүргізу.

4.5.6 Құрылымдық жағынан орнықсыз жүйе туралы түсінік.

4.5.7 ЛЖС арқылы Найквист критерийін түсіндіріңіз.

4.5.8 Найквист критерийін түсіндіріңіз.

5 Зертханалық жұмыс №5. Автоматты басқару жүйесін коррекциялау

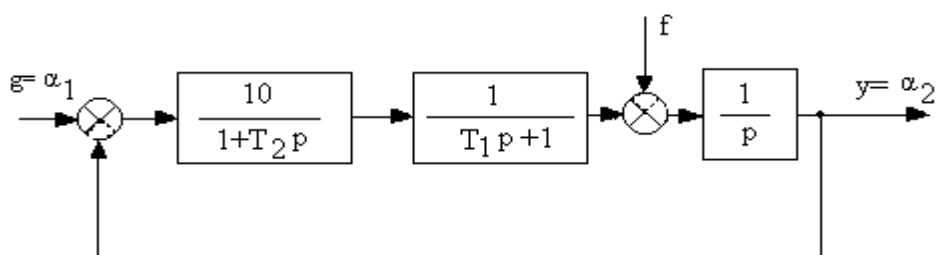
Мақсаты: теориялық нәтижелердің және коррекцияның тиімділігін моделде (ЭЕМ-де) тәжірибеде тексеру.

5.1 Қысқаша теориялық кіріспе

5.1 суретте коррекциялаушы буын болмаған жағдайдағы тізбектей қосылған жүйенің құрылымдық сұлбасы көрсетілген [4]. Тұйықталған кездегі түзетілмеген бақылаушы (тізбектей) жүйенің беріліс функциясы

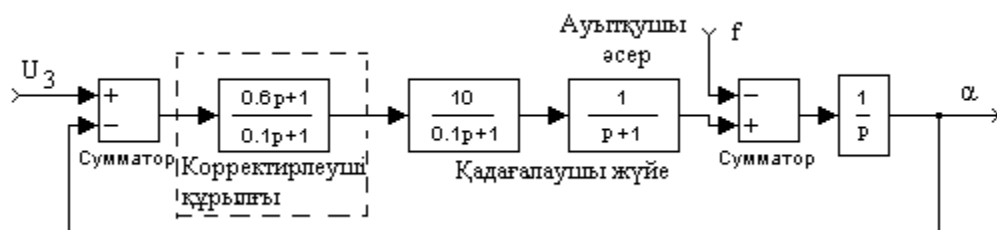
$$W_p(p) = \frac{K_p}{p(1+T_1p)(1+T_2p)}, \quad (5.1)$$

мұндағы $T_1 = 1\text{c}$; $T_2 = 0,1\text{c}$; $K_p = 10$.



5.1 сурет – Реттелмеген бақылаушы жүйенің құрылымдық сұлбасы

ЛАЖ сипаттама көмегімен берілген автоматты реттеу жүйесі үшін (А қосымша) түзетуші буынның синтезі іске асырылады. Алынған буынның беріліс функциясы бақылаушы жүйенің құрылымына енгізілген және Matlab Simulink элементтерімен көрсетілген (5.2 сурет).



5.2 сурет – Түзетілген бақылаушы жүйе моделінің сұлбасы

5.2 Жұмыстың бағдарламасы

5.2.1 Matlab Simulink блогын қолданып, бақылаушы жүйенің құрылымдық сұлбасының (5.1 сурет) моделін құру қажет. $U_0 = 10\text{ В}$ болғандағы өтпелі процесті алып, нәтижелерін сақтаңыз.

5.2.2 Түзетілген жүйе моделінің сұлбасын жинап, $U_0 = 10\text{ В}$ болған кездегі өтпелі процесті алып, нәтижелерді сақтаңыз.

5.2.3 Сапа көрсеткіштерін салыстырыңыз. Қорытынды жасаңыз.

5.3 Есеп беруге талаптар

Есеп беру келесі бөлімдерден тұрады:

- 1) Сыртқы беті.
- 2) Жұмыстың мақсаты мен орындалу тәртібі.
- 3) Теориялық бөлімінен қысқаша мазмұн.
- 4) АРЖ құрылымдық сұлбасы. Модулдердің сұлбасы.
- 5) Алынған нәтижелер.
- 6) Қорытынды.

5.4 Бақылау сұрақтары

- 5.4.1 КҚ синтездеу әдісі.
- 5.4.2 ЛАЖС көмегімен синтездеу ретін айтыңыз.
- 5.4.3 Қалаулы ЛАЖС тұрғызу реті.
- 5.4.4 ЛАЖС бойынша КҚ беріліс функциясын анықтаңыз.
- 5.4.5 КҚ түрлері.
- 5.4.6 Коррекциялаушы құрылғыларға түсініктеме беріңіз.
- 5.4.7 Автоматты реттеу жүйесіне түсініктеме беріңіз.
- 5.4.8 Ауытқушы әсер деген не?

6 Зертханалық жұмыс № 6. Жылдамдық бойынша кері байланыстан тұратын ЖТ-АҚ жүйесін моделдеу

Мақсаты:

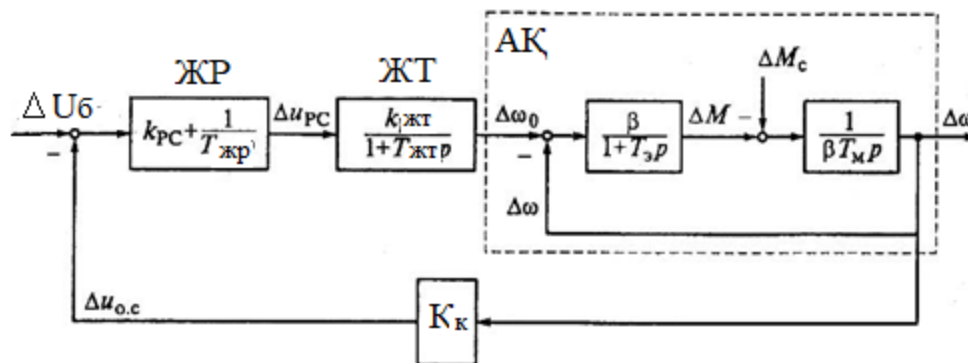
- 1) Статордағы кернеуі реттелетін асинхронды электр жетегін моделдеудің құрылымдық сұлбасын оқу.
- 2) Жиілігі реттелетін асинхронды электр жетекті моделдеудің құрылымдық сұлбасын оқу.
- 3) Тиристорлы кернеу түрлендіргіші – асинхронды қозғалтқыш жүйе динамикасының өтпелі процесін зерттеу.
- 4) «Жиілікті түрлендіргіш - асинхронды қозғалтқыш» жүйе динамикасының өтпелі процесін зерттеу.

6.1 Қысқаша теориялық кіріспе

Қазіргі уақытта өнеркәсіптің түрлі салаларында асинхронды қозғалтқыштан тұратын айнымалы тоқты электр жетегі кең қолданылады. Бұл қозғалтқыштар пайдалануға сенімді, жоғарғы температурада және жоғарғы жылдамдықта жұмыс жасай алады, салмағы, көлемі және бағасы төмен болып келеді. Сонымен қатар кернеу мен жиілікті басқарылатын түрлендіргіштері кең көлемде құрылуының салдарынан асинхронды электр жетектерінің реттеу жүйелері және мүмкіндіктері кеңейуде. Асинхронды қозғалтқыштың

статорындағы кернеудің өзгеруі оның электр магнитті моментінің өзгеруіне әкеледі, нәтижесінде қозғалтқыштың бұрыштық жылдамдығы өзгереді. Осыған сәйкес қозғалтқыштағы кернеудің жиілігі желідегі стандарттық 50 Гц жиілікке тең және тұрақты болады. Қазіргі уақытта АҚ статорындағы кернеуді реттеу үшін тез әсерлі және ПӘК жоғары болып келетін кернеуді тиристорлы реттеу (КТР) әдісі кең қолданылады. Бірақ, «КТР – АҚ-тың» ажыратылған жүйесінде жылдамдықты бұл әдіспен реттеу тиімділігі қозғалтқыштың тұрақты жұмыс режимдерінде өте аз аралықта орындалатындықтан шектелген. Осыған байланысты әртүрлі кері байланыстарға, мысалы АҚ статорындағы токқа, жылдамдыққа және кернеуге байланысты техникалық талаптарға сәйкес, жиілікті басқаруды қолдану тиімді болып келеді. Асинхронды қозғалтқышты жылдамдық бойынша реттеу аралығын кеңейтуді жылдамдық бойынша теріс кері байланысты енгізу арқылы орындауға болады.

Жылдамдық бойынша кері байланыстан тұратын «ЖТ – АҚ» жүйесінің құрылымдық сұлбасы 6.1 суретте көрсетілген.



6.1 сурет – Жылдамдық бойынша кері байланыстан тұратын «ЖТ – АҚ» жүйесінің құрылымдық сұлбасы

Сұлбада (6.1 сурет) төмендегі белгілеулер қолданылады:

β - асинхронды қозғалтқыштың сызықты механикалық сипаттамасының қатандық модулі ($\beta = 2M_k / (\omega_{ном} S_k)$);

$T_э$ - асинхронды қозғалтқыштың статор және ротор тізбегіндегі балама электр магнитті тұрақты уақыт, $T_э = 1 / (\omega_{ном} S_k)$ теңдеумен анықталады;

мұндағы $\omega_{ном}$ - асинхронды қозғалтқыштың номиналды қоректендіру жиілігі $f_{ном} = 50$ Гц болғандағы электр магнитті өрісінің бұрыштық жылдамдығы ($\omega_{эл.ном} = 2\pi f_{ном}$);

T_M – электр механикалық тұрақты уақыт;

$K_{ЖТ}$ – беріліс коэффициенті;

$T_{ЖТ}$ – ЖТ-тің (жиілікті түрлендіргіш) басқару тізбегіндегі тұрақты уақыт;

ЖР – параметрлері $T_{ЖР}$ тұрақты уақыт және $K_{ЖР}$ беру коэффициенті болатын ЖР (жылдамдықты реттеу).

Жылдамдықтың ПИ – реттегішінің беріліс функциясы төмендегідей теңдеумен жазылады:

$$W_{ЖР}(p) = \Delta u_{ЖР} / \Delta u_Y = k_{ЖР} + 1/(T_{ЖР} p). \quad (6.1)$$

Қозғалтқыш жылдамдығы бойынша кері байланыс тізбегінің беріліс функциясы:

$$W_{К.Б}(p) = \Delta u_{К.Б} / \Delta \omega = k_{К.Б}. \quad (6.2)$$

Электр жетекті басқарудың номиналды сигналы $u_{3.С.НОМ}$ тең болғандағы және асинхронды қозғалтқыштың номиналды жылдамдығына сәйкес жүйенің кері байланысы бойынша коэффициенті:

$$k_{кб} = u_{3.С.НОМ} / \omega_{НОМ}. \quad (6.3)$$

АҚ құрылымдық сұлбасына сәйкес, оның $\Delta \omega_0$ ауытқуына қатысты нәтижелік беріліс функциясы:

$$W_{к}(p) = \Delta \omega / \Delta \omega_0 = 1/(T_{\vartheta} T_M p^2 + T_M p + 1). \quad (6.4)$$

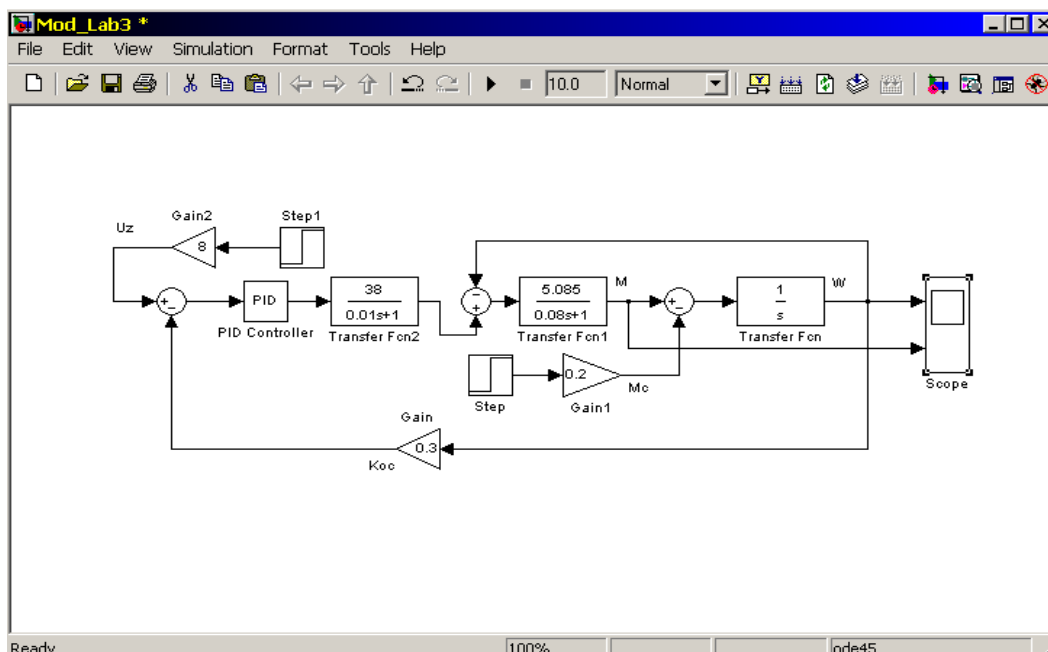
$T_M \geq 4T_{\vartheta}$ болғанда $W_{к}(p) = 1/(T_{01} p + 1)(T_{02} p + 1)$,

мұндағы

$$\frac{1}{T_{01}} = \frac{1}{2T_{\vartheta}} \left(1 + \sqrt{1 - \frac{4T_{\vartheta}}{T_M}} \right); \quad \frac{1}{T_{02}} = \frac{1}{2T_{\vartheta}} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{4T_{\vartheta}}{T_M}} \right).$$

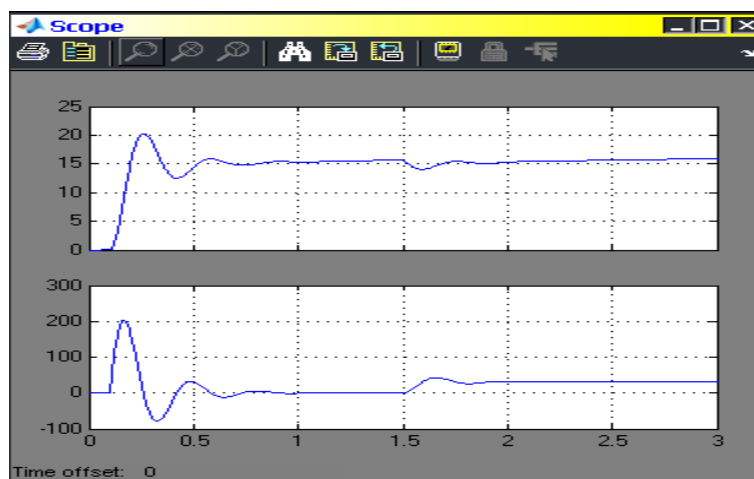
6.2 «ЖТ – АҚ» жүйесін моделдеу

MATLAB бағдарламасындағы жылдамдық бойынша кері байланыстан тұратын «ЖТ – АҚ» жүйесінің моделі 6.2 суретте көрсетілген.



6.2 сурет – ЖТ – АҚ жүйе моделінің құрылымдық сұлбасы

«ЖТ – АҚ» жүйесінің өтпелі процесі 6.3 суретте көрсетілген.



6.3 сурет – «ЖТ – АҚ» жүйесінің өтпелі процесі

Автоматты басқару жүйесінің параметрлері нұсқа бойынша 6.1 кестеде келтірілген.

6.1 кесте – Автоматты басқару жүйесінің параметрлері

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
S_K	0.17	0.29	0.53	0.037	0.45	0.55	0.6	0.7	0.4	0.3
M_K	0.43	0.6	0.29	0.57	0.26	0.47	0.23	0.40	0.77	1.2
T_M	0.12	0.08	0.02	0.07	0.18	0.25	0.04	0.1	0.15	0.3
$K_{ЖТ}$	10	20	30	12	16	19	32	35	38	15
$T_{ЖТ}$	0.01	0.08	0.05	0.07	0.04	0.02	0.06	0.03	0.09	0.1
$T_{ЖР}$	0.45	0.56	0.89	0.65	0.2	0.54	1.0	0.3	0.34	0.2
$K_{ЖР}$	4	5	4.2	3.4	6.7	3	3.8	0.3	0.8	2

6.3 Бақылау сұрақтары

- 6.3.1 Кернеуді тиристормен реттеу.
- 6.3.2 КТР – АҚ жүйесін толық сипаттаңыз.
- 6.3.3 Беріліс функциясы қалай анықталады?
- 6.3.4 ЖТ – АҚ жүйе моделінің құрылымдық сұлбасына және буындарына анықтама бер.
- 6.3.5 ЖТ – АҚ жүйесінің өтпелі процесі.
- 6.3.6 Кері байланыс деген не?
- 6.3.7 Ажыратылған және тұйықталған жүйе деген не?
- 6.3.8 АҚ қолданылу аймағы.

7 Зертханалық жұмыс № 7. «Кернеуді тиристорлы түрлендіру – фаза роторлы асинхронды қозғалтқыш» жүйесін моделдеу және зерттеу

Мақсаты:

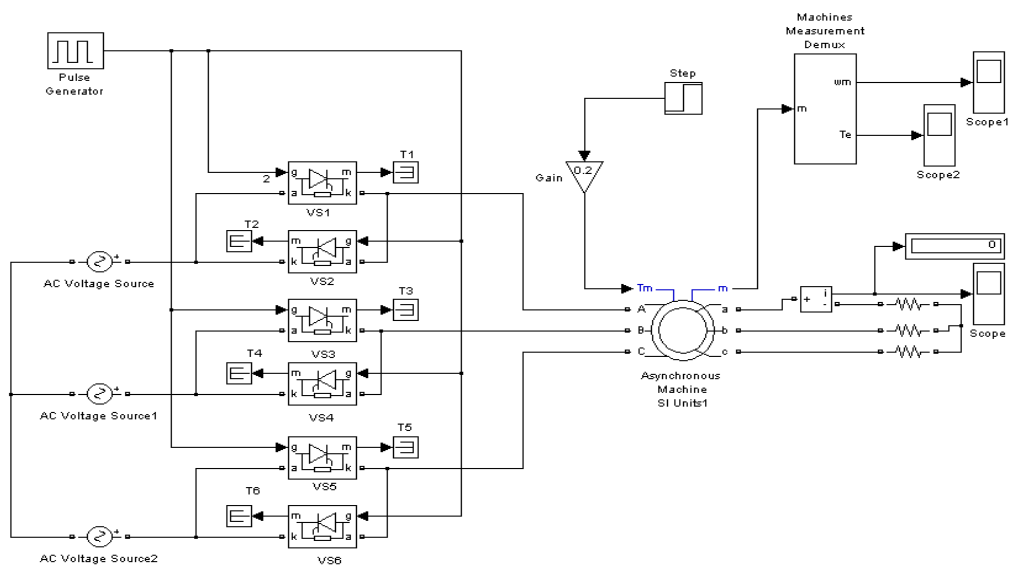
- 1) «Кернеуді тиристормен түрлендіру – асинхронды қозғалтқыш» жүйесінің симметриялы және симметриялы емес түрімен танысу.
- 2) Matlab бағдарламасындағы моделмен «кернеуді тиристормен түрлендіру – асинхронды қозғалтқыштың симметриялы» жүйесін зерттеу.
- 3) Matlab бағдарламасындағы моделмен кернеуді тиристормен түрлендіру – асинхронды қозғалтқыштың симметриялы емес» жүйесін зерттеу.

7.1 Қысқаша теориялық кіріспе

«Кернеуді тиристормен түрлендіру – асинхронды қозғалтқыш» (КТТ - АҚ) жүйесінің кең көлемде таралған күштік құрылымы 7.1 суретте көрсетілген. Жүйе асинхронды қозғалтқыш статорының үш фазалы тізбегіне қарама қарсы және параллель жұптармен қосылған алты тиристорлардан тұрады. Мұндай түрлендіргіш бірінші немесе негізгі қозғалтқышты қоректендіретін (тиристорлардың ашылу α бұрышына сәйкес кернеудің өзгерісі $\alpha = \varphi$ -дан $\alpha = 180^\circ$ -қа дейінгі аралықта) гармониканы реттеу үшін арналған. Бұл жағдайда бірінші гармониканың қолданыстағы фазалық кернеуі $U_1 = U_{1ном}$ бастап (мұндағы $U_{1ном}$ - желіні қоректендіретін қолданыстағы фазалық номиналды кернеу; φ – синусоидалы қоректендіру кезіндегі кернеуен токтың қалу бұрышы) $U_1 = 0$ дейін өзгереді. Негізгі гармониканың айнымалы кернеуінің жиілігі тұрақты және желі жиілігіне тең $f_1 = f_{1ном}$ болады. Мұндай басқару кезінде асинхронды қозғалтқыштың синхронды жылдамдығы және критикалық сырғуы тұрақты болады, бірақ қозғалтқыштың моменті реттеледі $M = f(U_1^2)$. Асинхронды қозғалтқыштың жұмысы реттеу сипаттамасында $U_1 < U_{1ном}$ болғанда токтардың үзіліс режимінде орындалады. Бұл жағдайда синусоидалды емес мерзімді ток спектрінде статор орамы нөлдік сымсыз жұлдызша жалғанғанда, мерзімді синусоидалы емес токта негізгі гармоникадан басқа тақ гармоникалар болады: 5-ші, 7-ші, 11-ші, 13-ші және т. б. Мұндай тәсілмен басқару кезінде асинхронды қозғалтқышқа дискретті әсер беріледі және 0,02 с ішінде $f_{1ном} = 50$ Гц кернеумен қоректендіру кезінде қозғалтқыштың статор тізбектерін үшфазалы желілерге қосудың сұлбалары кезектестірілуі жүзеге асырылады. Осыған байланысты, орныққан режимде де қозғалтқыш моментінің лүпілі байқалады. Алайда, моменттің лүпілді аймағы электр жетегінің динамикасы мен жылдамдығының тербелісіне іс жүзінде әсер етпейді.

7.2 Кернеуді симметриялы тиристормен түрлендіруден тұратын асинхронды қозғалтқыштың моделі

Симметриялы тиристорлы түрлендіргіштен тұратын асинхронды қозғалтқыштың моделі 7.1. суретте көрсетілген. Фаза роторлы асинхронды қозғалтқыш (Asynchronous Machine SI Units1) айнымалы кернеу (AC Voltage Source) көзімен қоректенеді. АҚ-тың ротор тізбегіне активті кедергі қосылған. Үш фазалы КТТ фазаларының әрқайсысына екі тиристор (VS1, VS2; VS3, VS4; VS5, VS6) кернеу желісінде қосалқы жартылай периодта токтың жүктеме арқылы өтуін қамтамасыз ететін, қарама қарсы – параллель сұлба бойынша қосылады. Тиристорлар импульсті – фазалық басқару (ИФБ) жүйесі арқылы сыртқы U_y сигнал функциясын α басқару бұрышына ығыстыратын басқару импульстерін алады. α басқару бұрышын 0-ден 180° -қа дейін өзгерте отырып, статордағы кернеуді желідегі толық кернеуден нөлге дейін реттеуге болады. Біздің жағдайды тиристормен басқару импульсі Pulse Generator блогы арқылы құрылады, сонымен қатар тиристормен басқару бұрышының шамасы генератордың ұзақ фазалық тежелуімен (Phase Delay) анықталады.

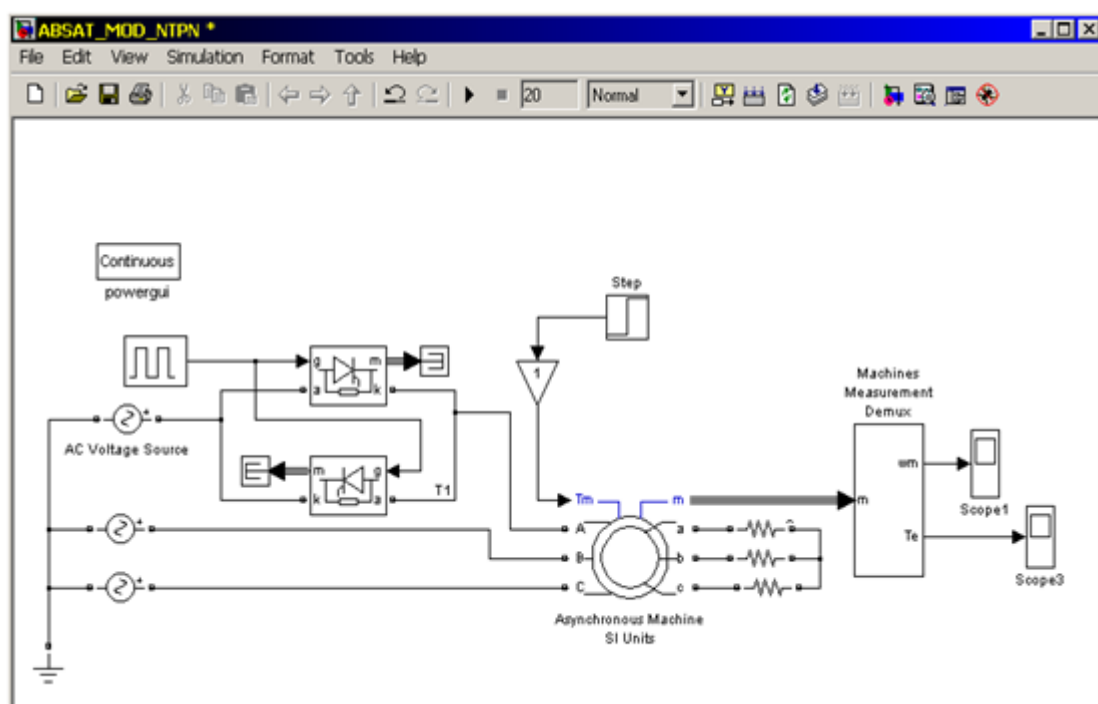


7.1 сурет – Кернеуді симметриялы тиристормен түрлендіруден тұратын асинхронды қозғалтқыштың имитациялық моделі

Имитациялық моделде фаза роторлы асинхронды қозғалтқыштың айнымалыларын өлшеу үшін айнымалыларды өлшеу блогы қолданылады (Machines Measurement Demux). Scope1 – қозғалтқыш жылдамдығын бейнелеуге арналған осциллограф, ал Scope2 – қозғалтқыш моментін бейнелеуге арналған осциллограф. Бұдан басқа АС ротор тізбегінде сандық ток мәнін шығару үшін сандық дисплей қолданылады.

7.3 Кернеуді симметриялы емес тиристорлы түрлендіруден тұратын асинхронды қозғалтқыштың моделі

Алайда, симметриялы емес кернеуді түрлендіруден тұратын асинхронды қозғалтқыштар, әсіресе крандық механизмдердің динамикасын зерттеуде және жобалау кезінде аз таралған. Кернеуді симметриялы емес тиристорлы түрлендіруден тұратын асинхронды қозғалтқыштың имитациялық моделі 7.2 суретте көрсетілген.



7.2 сурет - Симметриялы емес КТТ-ден тұратын асинхронды қозғалтқыштың имитациялық моделі

7.4 Зертханалық жұмыстардың мазмұны

7.4.1 Кернеуді симметриялы тиристорлы түрлендіруден тұратын фаза роторлы асинхронды қозғалтқышты зерттеу.

7.4.1.1 Статор фазасының әрқайсысы $0,36U_H$ және $0,5U_H$ ($U_H = 220$ В) кернеу болып келетін, айнымалы ток көзімен қоректенетін фаза роторлы асинхронды қозғалтқыштың моделін зерттеу. Асинхронды қозғалтқыштың жылдамдық және момент бойынша өтпелі процестерін алу қажет.

7.4.2 Ротор тізбегі бойынша асинхронды қозғалтқышты зерттеу.

7.4.2.1 Статор фазасының әрқайсысы $0,36U_H$ кернеумен қоректенген кездегі және ротор тізбегіндегі кедергілер $R_1 = R_2 = R_3 = 17$ Ом болғандағы асинхронды қозғалтқыштың өтпелі сипаттамаларын алу.

7.4.2.2 Статор фазасының әрқайсысы $0,36 U_n$ кернеумен қоректенген кездегі және ротор тізбегіндегі кедергілер $R_1 = R_2 = R_3 = 37$ Ом болғандағы асинхронды қозғалтқыштың өтпелі сипаттамаларын алу.

7.4.2.3 Статор фазасының әрқайсысы $0,3 U_n$ кернеумен қоректенген кездегі және ротор тізбегіндегі кедергілер $R_1 = R_2 = R_3 = 17$ Ом болғандағы асинхронды қозғалтқыштың өтпелі сипаттамаларын алу.

4.4.2.4 Статор фазасының әрқайсысы $0,3 U_n$ кернеумен қоректенген кездегі және ротор тізбегіндегі кедергілер $R_1 = R_2 = R_3 = 37$ Ом болғандағы асинхронды қозғалтқыштың өтпелі сипаттамаларын алу.

7.4.3 Кернеуді симметриялы емес тиристорлы түрлендіруден тұратын фаза роторлы асинхронды қозғалтқышты зерттеу.

7.4.3.1 Статор фазасының әрқайсысы $0,36 U_n$ және $0,5 U_n$ ($U_n = 220$ В) кернеу болып келетін, айнымалы ток көзімен қоректенетін фаза роторлы асинхронды қозғалтқыштың моделін зерттеу. Асинхронды қозғалтқыштың жылдамдық және момент бойынша өтпелі процестерін алу қажет.

7.4.4 Ротор тізбегі бойынша асинхронды қозғалтқышты зерттеу.

7.4.4.1 Статор фазасының әрқайсысы $0,36 U_n$ кернеумен қоректенген кездегі және ротор тізбегіндегі кедергілер $R_1 = R_2 = R_3 = 10$ Ом болғандағы асинхронды қозғалтқыштың өтпелі сипаттамаларын алу.

7.4.4.2 Статор фазасының әрқайсысы $0,36 U_n$ кернеумен қоректенген кездегі және ротор тізбегіндегі кедергілер $R_1 = R_2 = R_3 = 26$ Ом болғандағы асинхронды қозғалтқыштың өтпелі сипаттамаларын алу.

7.4.4.3 Статор фазасының әрқайсысы $0,5 U_n$ кернеумен қоректенген кездегі және ротор тізбегіндегі кедергілер $R_1 = R_2 = R_3 = 17$ Ом болғандағы асинхронды қозғалтқыштың өтпелі сипаттамаларын алу.

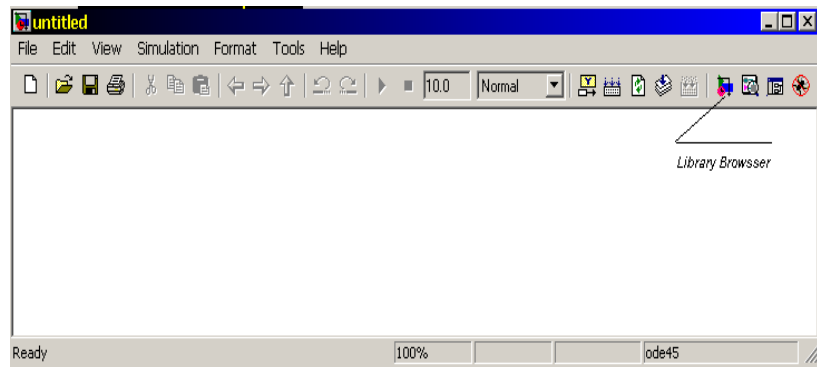
7.4.4.4 Статор фазасының әрқайсысы $0,5 U_n$ кернеумен қоректенген кездегі және ротор тізбегіндегі кедергілер $R_1 = R_2 = R_3 = 26$ Ом болғандағы асинхронды қозғалтқыштың өтпелі сипаттамаларын алу.

7.5 Зертханалық жұмысты орындауға арналған нұсқаулықтар

Кернеуді симметриялы ТТ-тен тұратын асинхронды қозғалтқыштың имитациялық моделін құру үшін Simulink блогы арқылы төмендегі қызметтерді тізбектей орындау қажет:

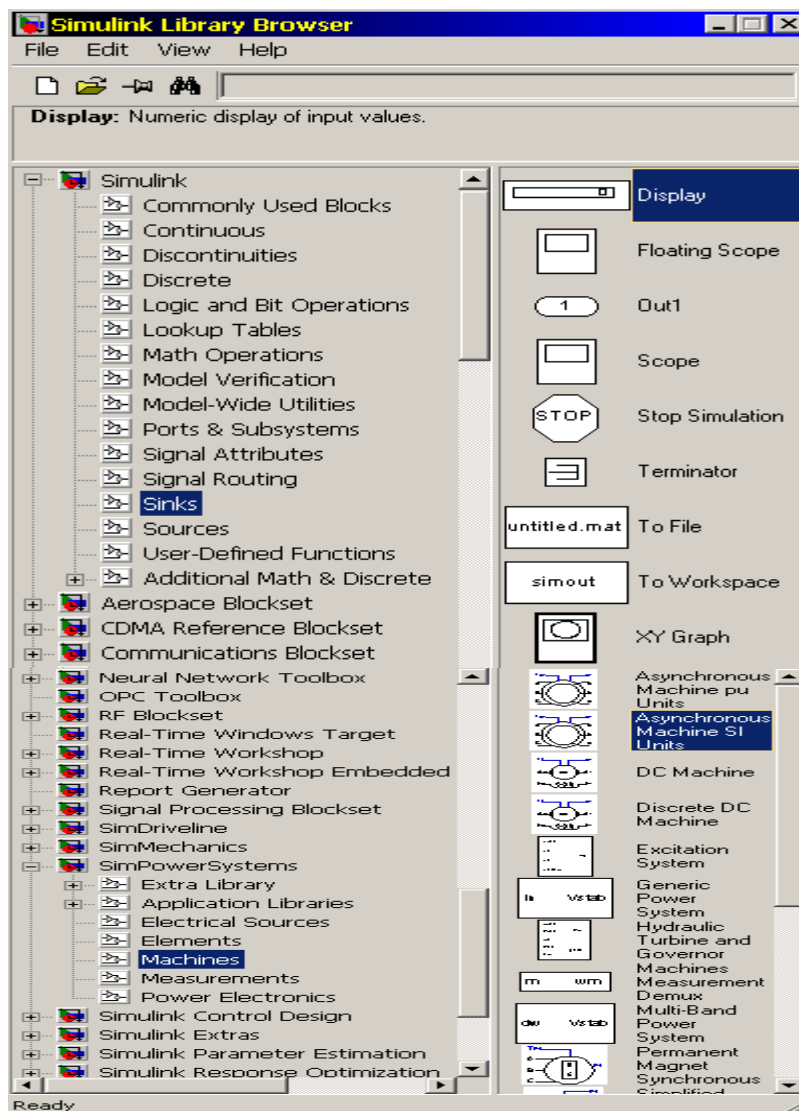
1) File – New – Model командасының (тізбектей) көмегімен моделдің жаңа файлын құр.

Моделдің құрылатын терезесі 7.3 суретте көрсетілген.



7.3 сурет – Моделдің бос терезесі

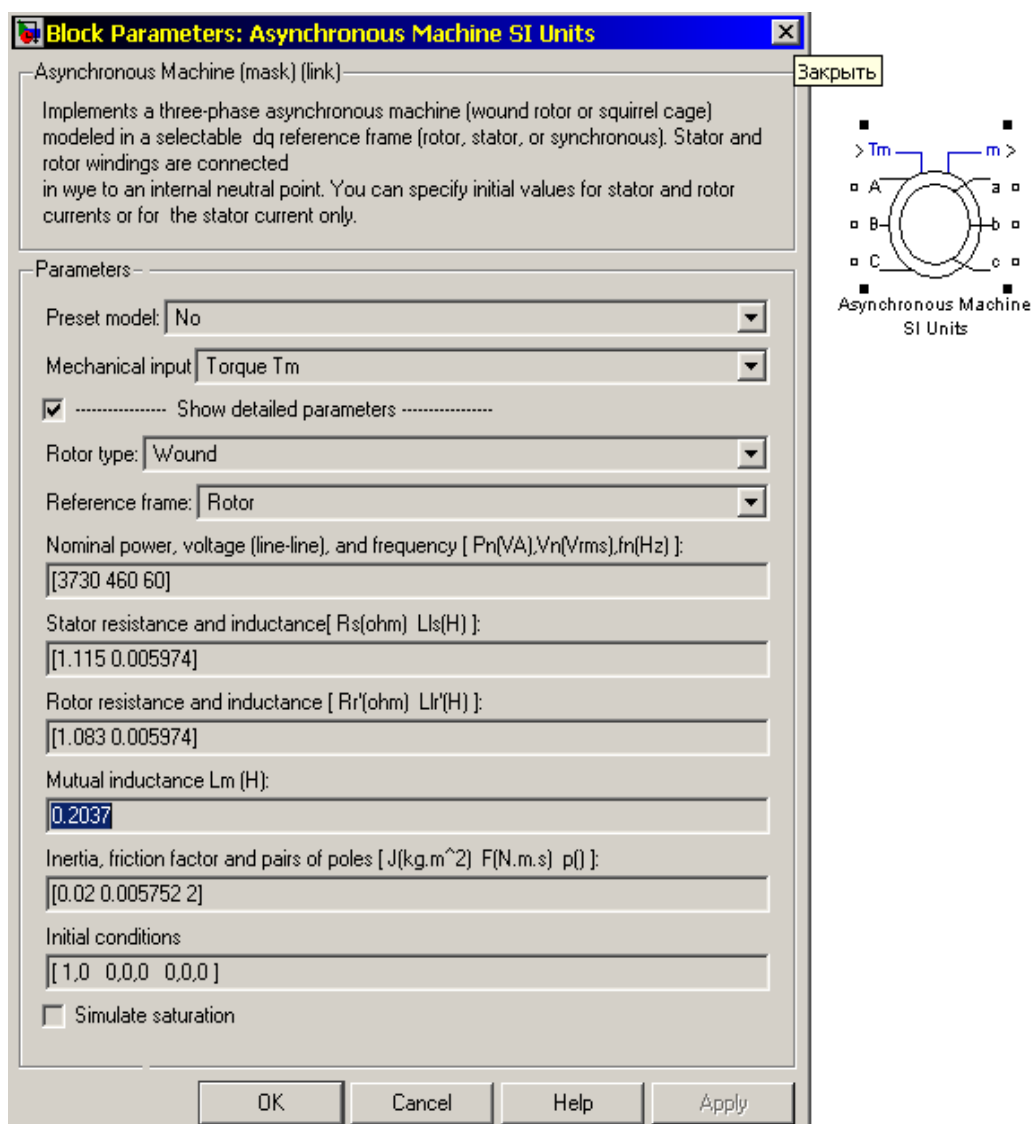
2) Құралдар панелінде көрсетілген батырма (7.3 сурет) арқылы Simulink Library Browser деген блоктардың кітапхана терезесін ашамыз, ол төмендегі элементтерден тұрады (7.4 сурет).



7.4 сурет – Кітапхана блоктарын құру

Блоктар кітапханасынан (7.4 сурет) модел терезесіне 7.1 суреттегі блокты шығар. Ол үшін кітапхананың сәйкесті бөлігін ашып, тінтуірдің сол пернесін басып, құрылған терезеге блокты «сүйреп әкеп» қою қажет. Блокты жою үшін блокты таңдап (курсормен оның бейнесін көрсетіп, тінтуірдің сол жақ пернесін бас), клавиатурадағы Delete пернесін басу қажет.

3) Блоктың параметрлерін өзгерту үшін курсормен блоктың бейнесін көрсетіп, тінтуірдің сол жақ пернесін екі рет басу қажет. Одан кейін блоктың параметрлерін өзгерту терезесі ашылады (7.5 сурет).



7.5 сурет – Асинхронды қозғалтқыш параметрлерінің блогы

Сандық параметрлерді енгізу кезінде ондық бөлгіш ретінде үтірдің орнына нүкте қолданылуы қажет. Өзгертулер енгізілгеннен кейін терезе ОК батырмасымен жабылады.

Сонымен қатар, өзгертулерді сақтау үшін терезені жаппай Apply батырмасын қолдануға болады.

Асинхронды қозғалтқыш параметрлерінің нұсқасы 7.1 кестеде көрсетілген.

7.1 кесте – Асинхронды қозғалтқыштар

Нұсқа №	Электр-қозғалтқыш	P, кВт	U _{1л} , В	R ₁	R ₂	X ₁	X ₂	X _μ	J _к , кг·м ²
1	4АНК160S4У3	14	380	0,047	0,061	0,081	0,1	3,1	0,009
2	4АНК160М4У3	17	380	0,035	0,047	0,067	0,0	2,7	0,012
3	4АНК180S4У3	22	380	0,033	0,054	0,061	0,0	2,4	0,011
4	4АНК180М4У3	30	380	0,028	0,044	0,055	0,0	2,4	0,011
5	4АНК200М4	37	380	0,029	0,035	0,065	0,1	3,2	0,014
6	4АНК200L4У3	45	380	0,029	0,036	0,084	0,1	3,4	0,014
7	4АНК225М4У3	55	380	0,031	0,035	0,084	0,1	4,2	0,015
8	4АНК180S6	13	380	0,048	0,079	0,087	0,1	2,2	0,019
9	4АНК160М6У3	18,5	380	0,044	0,077	0,071	0,1	2,6	0,024
10	4АНК200М6У3	22	380	0,032	0,043	0,073	0,12	2,8	0,038

7.6 Бақылау сұрақтары

7.6.1 Кернеуді симметриялы тиристорлы түрлендіруден тұратын КТТ-АҚ жүйе моделінің кернеуді симметриялы емес тиристорлы түрлендіру моделінен айырмашылығы қандай?

7.6.2 Фаза роторлы асинхронды қозғалтқыш моделінен қысқа тұйықталған роторлы асинхронды қозғалтқыштың моделіне өту үшін асинхронды қозғалтқыш параметрлерінің блогына қандай өзгерістер енгізу қажет?

7.6.3 Кернеуді тиристормен түрлендіргіш үшін Pulse Generator блогы қандай функцияны орындайды?

7.6.4 Machines Measurement Demux блогы моделдің қандай функциясын орындайды?

7.6.5 Автоматты басқару жүйесінің құрылымдық сұлбасы. Құрылымдық сұлбаның негізгі элементтері.

7.6.6 Динамикалық процестердің құрылымдық моделін тұрғызу алгоритмі.

7.6.7 Тәжірибе жүзінде алынған $h(t)$ өтпелі процестің параметрлері қалай анықталады?

7.6.8 Жүйенің орнықтылық шарттары.

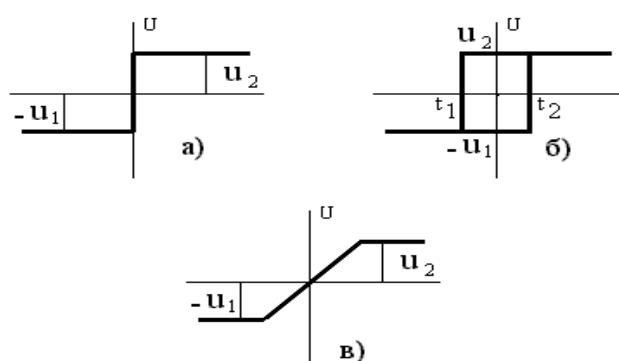
8 Зертханалық жұмыс №8. Сызықты емес автоматты басқару жүйесінің автотербелісін зерттеу

Мақсаты: сызықты емес АБЖ автотербелісінің параметрлерін теориялық және тәжірибеде анықтау.

8.1 Қысқаша теориялық кіріспе

Автоматты жүйе құрамына сызықты емес элементтер кіреді, яғни сызықты теория аумағында зерттеу мүмкін емес жағдайларда жүйе сипатын өзгертетін қасиетке ие элементтер [6]. Автоматты жүйелердің сызықты емес элементтерінің арасында кешігуі байқалмайтын инерциялы емес бейсызықтылық үлкен рөл атқарады. Қарапайым (элементар) инерциялы емес буын деп шығыс айнымалысы кіріс айнымалысына тәуелді болатын, сондай-ақ сол уақытқа дейінгі кіріс айнымалысының өзгерісіне тәуелді болмайтын буынды айтамыз. Осылайша, қарапайым инерциялы емес буынның операторы кіріс және шығыс айнымалылардың арасындағы функционалды тәуелділігі болып табылады. Бұл функционалды тәуелділік қарапайым инерциялы емес буынның сипаттамасы деп аталады. Қарапайым инерциялы емес буынның сипаттамасын әлсіз және жеткілікті сызықтылық деп бөлеміз. Бірінші топқа, кіріс сигналының аз диапазонды өзгерісі кезінде немесе өзгертін орта мәнінен өзгертін оның ауытқуы кезінде сызықтымен ауыстырылатын сызықты емес сипаттамалар жатады. Екінші топқа жеткілікті сызықты емес функциялар, мысалы алшақ, алшақтыққа жақын сызықты емес функциялар жатады. Осындай элементтер үшін кіріс және шығыс айнымалылар тәуелділігі үзік-сызықты функциялар түрінде болады.

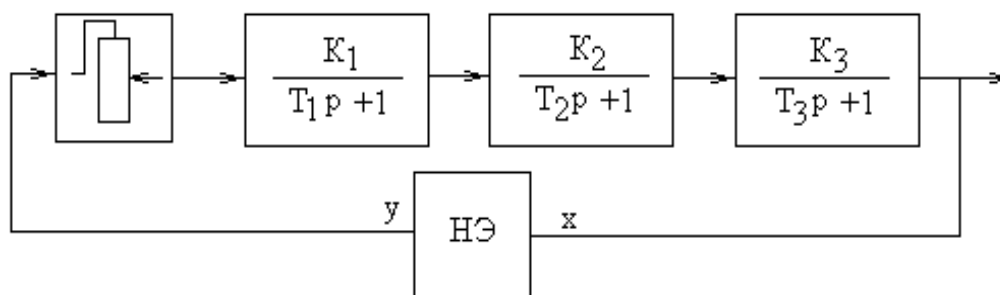
8.1 – суретте жұмыста қолданылатын сызықты емес элементтердің сипаттамалары келтірілген [5].



8.1 сурет - Сызықты емес элементтердің сипаттамасы

Автотербеліс режимін зерттеу үшін жүйенің құрылымдық сұлбасына сай сұлбаны жинау (8.2 сурет). Сызықты емес элементтің кірісінде автотербелістің жиілігі және амплитудасы, яғни АБЖ шығысында

осциллограф бойынша анықталады. Блоктар параметрі 8.1 – кестеде келтірілген.



8.2 сурет – Құрылымдық сұлба

8.2 Жұмыстың бағдарламасы

8.2.1 Сұлбаны жинау.

8.2.2 Жүйенің сызықты бөлігінің күшейту коэффициентінен АБЖ шығысында автотербеліс жиілігін және амплитуда тәуелділігін алу. Сызықты бөлігі төмен жиілікті сүзгісі (фильтр) болатынына көз жеткізу.

8.2.3 Есептеулермен тәжірибедегі тәуелділіктерді зерттеу, олардың сәйкес келуін бағалау.

8.2.4 Жұмысты орындауға арналған әдістемелік нұсқаулықтар.

8.1 кесте – Блоктардың параметрлері

Нұсқа №	T_1, c	T_2, c	T_3, c	Сызықты емес блок түрлері	U_1 U_2	t_1 t_2
1	1	0.1	0.1	Блок 2,а	50	-
2	1	1	0.1	Блок 2,а	70	-
3	0.2	0.1	0.1	Блок 2,а	60	-
4	1	0.1	0.1	Блок 2,б	50	10
5	1	1	0.1	Блок 2,б	60	5
6	1	0.5	0.1	Блок 2,в	80	-

8.3 Есеп беруге талаптар

Есеп беру келесі бөлімдерден тұрады:

- 1) Сыртқы беті.
- 2) Жұмыстың мақсаты мен орындалу тәртібі.
- 3) Теориялық бөлімнен қысқаша мазмұн.
- 4) АРЖ құрылымдық сұлбасы. Модулдердің сұлбасы.
- 5) Алынған нәтижелер.
- 6) Қорытынды.

8.4 Бақылау сұрақтары

8.4.1 Гармоникалық сызықталу әдісі қандай қателікке негізделген?

8.4.2 Жүйенің қарастырылған жұмысы үшін эквивалентті беріліс функциясы қандай түрге ие болады?

8.4.3 Гурвиц, Михайлов, Найквист критерийлері бойынша сызықты емес АБЖ-де автотербеліс параметрлерін қалай анықтаймыз?

8.4.4 Бейсызықты буындардың қандай топтары бар?

8.4.5 Типтік бейсызықтың түрлері.

8.4.6 Simulink кітапханасындағы қандай бөлік бейсызықты жүйені зерттеуге қолданылады?

8.4.7 Автоматты басқару жүйесінің бейсызықты жүйесіне мысал келтір.

8.4.8 Статистикалық сипаттамадегеніміз не?

А қосымшасы

Қазіргі уақытта түзету құрылғыларын синтездеудің әдістері қажетінше өңделген. Инженерлік тәжірибеде ажыратылған жүйенің логарифмді жиілікті сипаттамасына негізделген синтездеудің сызба-аналогты әдісі кең көлемде таралған. Сонымен қатар өтпелі процестің сапасын жанама бағалау кең қолданылады. Бұл әдіс дифференциалды теңдеуді шешуді қажет етпейді және фаза, модуль бойынша қорды, тербелісті, қиманың жиілігін жиілікті сипаттама бойынша анықтайды.

Синтездеудің басқа тобына аналогты әдіс жатады. Ол үшін жүйенің сапа көрсеткішін, түзету құрылғысының параметрімен аналогты байланыстыратын теңдеу анықталады және функциялардың тәжірибелік мәніне сәйкес келетін параметрлердің мәндері анықталады.

Бұл әдіске өтпелі процестің сапасын интегралды критериямен және орташа дәрежелі кателікпен жүйені синтездеу жатады.

Заманауи есептеу техникасының құралдарын қолдану жүйенің дифференциалдық теңдеулерін шешуге және өтпелі процестерді тұрғызуға көмектеседі.

Қолайлы сызба-аналогты әдіспен синтездеуді толық қарастырайық (логарифмді амплитудалық сипаттама әдісі). Ол амплитуда және фаза жиілікті сипаттамалардың арасында бір ғана байланыс болатын, аз фазалы АБЖ синтездеу үшін қолданылады.

Синтездеу процесі төмендегі қатардан тұрады:

- орнықты режимде жүйені берілген дәлдікпен қамтамасыз ету шартына сәйкес таңдалатын ажыратылған жүйеде талап етілген K_p күшейту коэффициентін ескере отырып түзетілмеген жүйенің $L_{HC}(\omega)$ ЛАЖС тұрғызылады;

- σ_{max} қайта реттеу, реттеу уақыты берілген сапа көрсеткіші бойынша жүйенің қалаулы $L_J(\omega)$ ЛАЖС тұрғызылады;

- қалаулы ЛАЖС-ың ординатасынан түзетілмеген жүйенің ЛАЖС-ың ординатасын есептеп алып, түзетілген құрылғының $L_K(\omega)$ ЛАЖС анықталады;

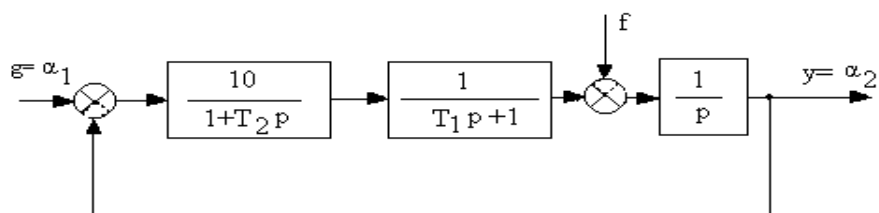
- алынған $L_K(\omega)$ арқылы $W_K(p)$ анықталады және техникалық құрылым бойынша ең қарапайым әдіс таңдалады.

Ажыратылған, түзетілмеген бақылау жүйесінің беріліс функциясы төмендегідей теңдеумен берілген деп қарастырайық:

$$W_p(p) = \frac{K_p}{p(1+T_1p)(1+T_2p)},$$

мұндағы $T_1=1c$; $T_2=0,1c$; $K_p=10$.

Осыған сәкес келетін құрылымдық сұлба төменде көрсетілген (А.1 сурет)



А.1 сурет – Құрылымдық сұлба

Келесідегідей сапа көрсеткішін қамтамасыз ету қажет: қайта реттеу $\sigma \leq 30\%$; $t \leq 1.5c$.

Тізбекті түзету құрылғысына синтез жүргіземіз.

Ажыратылған түзетілмеген жүйенің ЛАЖС тұрғызамыз. Ол үшін $20 \lg K_p = 20 \lg 10 = 20$, дБ және қилысу жиілігін анықтаймыз (А. 2 сурет):

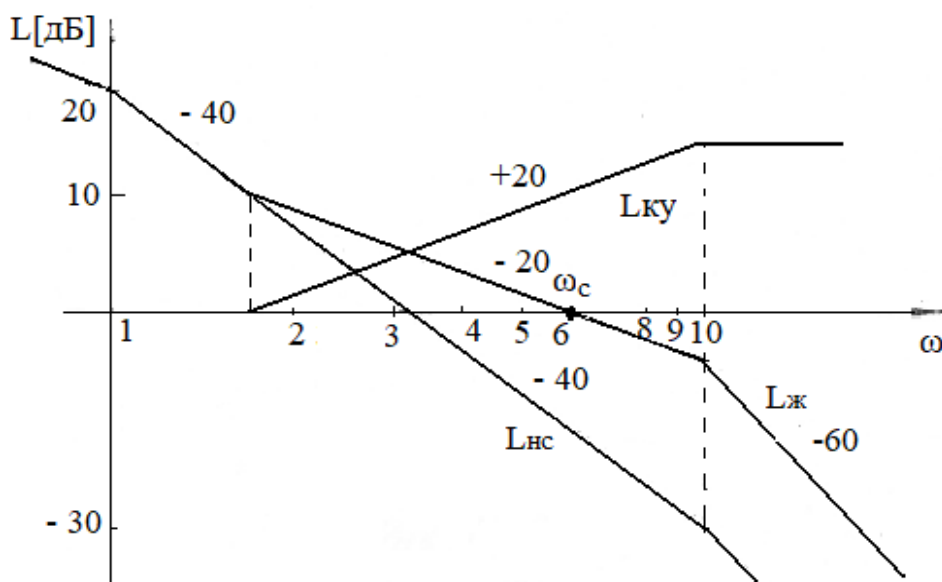
$$\omega_1 = \frac{1}{T_1} = 1c^{-1}; \quad \omega_2 = \frac{1}{T_2} = 10c^{-1}.$$

Қалаулы ЛАЖС құру үшін $L_{ж}$, қилысу жиілігін $\omega = 6 c^{-1}$, $P_{max} = 1.2$, $\Delta L = \pm 15$, $\Delta \varphi = 45^\circ$ анықтаймыз.

$L_{KV} = L_{ж} - L_{нс}$ ретінде түзету құрылғысының ЛАЖС табамыз.

Түзету құрылғысының беріліс функциясын және блок сұлбасын анықтаймыз:

$$W_{KV}(p) = \frac{1 + T_{K1}p}{1 + T_{K2}p} = \frac{1 + 0,6p}{1 + 0,1p}.$$



А.1 сурет – Логарифмді жиілікті сипаттамалар

Әдебиеттер тізімі

1 Бекбаев А., Сүлеев Д., Хисаров Б. Автоматты реттеу теориясы. – Алматы, 2005.

2 Бекбаев А., Сүлеев Д., Скормин В.А., Ширяева О.И. Басқару теориясы. – Алматы: Асем-Систем, 2008.

3 Бекбаев А., Сүлеев Д., Хисаров Б. Сызықты және бейсызықты жүйелердің автоматты реттеу теориясы. – Алматы: «ЭВЕРО», 2005.

4 Советов Б.Я. Теоретические основы автоматизированного управления. - М.: «Академия», 2006.

5 Сагитов П.И., Цыба Ю.А. Системы автоматического управления. Конспект лекций. - Алматы: АИЭС, 2006.

6 Сагитов П.И., Цыба Ю.А. Элементы теории автоматического управления. Учебное пособие. - Алматы: АИЭС, 2006.

Юрий Александрович Цыба
Жанар Жумакановна Тойгожинова
Чныбаева Дана Мксултановна

АВТОМАТТЫ БАСҚАРУ ЖҮЙЕЛЕРІ

5B071800 - Электр энергетикасы мамандығының студенттеріне
зертханалық жұмыстарды орындауға арналған әдістемелік нұсқаулықтар

Редактор Ж.Н. Ж. Н. Изтелеуова
Стандартизация бойынша маман Н.К. Молдабекова

_____ басуға қол қойылды
Таралымы 100 дана.
Көлемі 2,4 оқу – бас. әд.

Пішіні 60x84 1/16
№ 1 баспахана қағазы
Тапсырыс 1200 тг. бағасы

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