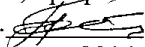


Коммерциялық емес акционерлік қоғамы
«АЛМАТЫ ЭНЕРГЕТИКА ЖӘНЕ БАЙЛАНЫС УНИВЕРСИТЕТІ»


Кафедра: Өнеркәсіп қондырғыларының автоматтандырылуы және электр жетек

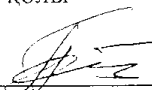
Мамандығы: 6M071800 – Электрэнергетикасы

Қорғауға жіберіл,
кафедра меңгеруші
техн.ғыл.д-ры, профессор
Сағитов.П.И. 
« ____ » маусым 2014ж

МАГИСТЕРЛІК ДИССЕРТАЦИЯ
түсініктеме жазба

Тақырыбы: Екі қозғалтқышты электр жетегінің басқару
жүйесін жетілдіру және ортадан тепкіш сорғының
параметрлерін талдау

Магистрант 
колы Алмуратова Н.К.
(А.Ж.Т.)

Ғылыми жетекшісі 
колы техн.ғыл.д-ры Сағитов П.И.
(А.Ж.Т.)

Пікір беруші техн.ғыл.канд. Ақпанбетов Д.Б.
колы (А.Ж.Т.)

Алматы, 2014ж.

Коммерциялық емес акционерлік қоғамы
«АЛМАТЫ ЭНЕРГЕТИКА ЖӘНЕ БАЙЛАНЫС УНИВЕРСИТЕТІ»

Факультет Электрэнергетика
Мамандығы 6M071800 – Электрэнергетикасы
Кафедра Өнеркәсіп қондырғыларының автоматтандырылуы және электр жетегі

магистрлік диссертацияны орындауға
ТАПСЫРМА

Магистрантка Алмуратова Нургүль Канаевна
(аты, жөні, тегі)

Диссертация тақырыбы Екі қозғалтқышты электр жетегінің басқару жүйесін жетілдіру және ортадан текіші сорғының параметрлерін талдау

Университеттің Ғылыми кеңесімен бекітілген № « » 2012ж.

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі: «05» маусым 2014ж.

Зерттеу мақсаты: – Сорти стандарттарға сәйкес АЭЖ-дің жұмыс режимдерін талдау; ЖЭТ-тің сербасын жетілдіру; электр жетегінің параметрлерін талдау және т.б.

Магистрлік диссертациядағы әзірленуі тиіс сұрақтар тізімі немесе магистрлік диссертацияның қысқаша мазмұны:

Диссертацияның мақсаты сорти стандарттарына сәйкес АЭЖ-дің жұмыс режимдерін талдау және т.б. АЭЖ-дің жұмыс режимдерін басқару жүйесін жетілдіру және т.б. АЭЖ-дің жұмыс режимдерін талдау және т.б.

Сызба материалдарының тізімі (міндетті түрде дайындалатын сызуларды көрсет тізімі) Сорти стандарттарына сәйкес АЭЖ-дің жұмыс режимдерін талдау және т.б. АЭЖ-дің жұмыс режимдерін басқару жүйесін жетілдіру және т.б. АЭЖ-дің жұмыс режимдерін талдау және т.б.

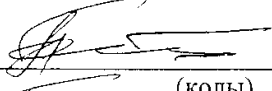
Негізгі ұсынылатын әдебиеттер

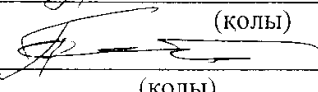
Бару А.О., Шығайев Ю.А., Сағал Е.И., Лурманов В.И. Энергетика. Энергетикалық жүйелердің автоматтандырылуы. Энергетика. 2003-ж., Сағал Е.И., Шығайев Ю.А., Лурманов В.И. Энергетика. Энергетикалық жүйелердің автоматтандырылуы. Энергетика. 2003-ж.

Магистрлік диссертацияны дайындау
КЕСТЕСІ

Тарау аттары, әзірленетін сұрақтардың тізімі	Ғылыми жетекшіге ұсыну мерзімдері	Ескерту
Екі қозғалыстың сарға меншіктерінің қарғы неге байланысты.		
Суреттердегі суреттердің үлгісіз талқылауы қарғы.		
Сарға меншіктерінің қарғы неге байланысты.		
Сурет қозғалыстарының неге.		
Екі қозғалыстың асимметриялық неге меншіктерінің неге.		
АС ЖА әр өсімшелеріне асимметриялық неге.		
Жылқы түрлерінің асимметриялық неге.		
ЖТ-ЖВ неге меншіктерінің неге.		
ЖТ-ЖВ неге меншіктерінің неге.		
ЖТ-ЖВ неге меншіктерінің неге.		
Түрлерінің неге меншіктерінің неге.		

Тапсырманың берілген уақыты 01.12.2012 не

Кафедра меңгерушісі  Сагитов П.И.
(КОЛЫ)

Ғылыми жетекшісі  Сагитов П.И.
(КОЛЫ)

Тапсырманы орындауға қабылдаған магистрант _____ Алмуратова Н.К.
(КОЛЫ)

Общая характеристика работы

Актуальность проблемы.

В диссертационной работе разработана система управления асинхронного электродвигателя насосной станции с обратной связью по скорости. С помощью программы MATLAB выполнены математическая модель, структурная схема, синтез параметров асинхронного двигателя. Рассмотрена теория устойчивости двигателя.

Так же рассматриваются системы с переменной структурой. В работе произведено математическое описание ТПН-АД (Тиристорный преобразователь напряжения – асинхронный двигатель) с обратной связью по скорости, определена устойчивость движения ТПН-АД и рассчитаны переходные процессы скорости и электромагнитного момента этой системы.

Разработана система с переменной структурой двухдвигательного электропривода с системой ТПН-АД.

При осуществлении проекта двухдвигательный электропривод обеспечивает 50% резерва. При выходе из строя одной из машин двухдвигательного электропривода можно для некоторых механизмов, обеспечить работу с меньшей производительностью за счет уменьшения полезной нагрузки либо скорости движения. Также меньшим моментом инерции при суммарной мощности двухдвигателей, что улучшает динамические свойства установки, повышает ее быстродействие.

Целью работы является разработка и синтез объектно – ориентированного ЧРП центробежных насосных агрегатов. Указанная цель определила следующие **основные задачи** диссертационной работы:

- провести исследование режимов работы электроприводов НУ, подлежащих совершенствованию и модернизации.
- провести сопоставительный анализ возможных систем регулируемого электропривода ЦН. Обосновать целесообразность ЧРП, как наиболее экономичного способа регулирования подачи и напора.
- определить рациональные схемы ЧРП для построения ПЧ с учетом существующего уровня развития силовой элементной базы.
- создать методику и алгоритмы расчета электромагнитных процессов, провести исследование и анализ процессов и энергетических показателей ЧРП в системе с асинхронным электродвигателем (АД), разработать рекомендации по расчету параметров элементов силовой схемы.
- разработать систему ЧРП для насосных агрегатов и сделать анализ параметров центробежного насоса.

Общая методика исследований. Поставленные задачи решены на основе теоретического и практического анализа работы насосных агрегатов с использованием фундаментальных положений теории автоматизированного электропривода, методов математического моделирования в программной

среде Matlab, численных методов решения задач управления и оптимизации ЧРП.

Научная новизна проведенных исследований в том, что впервые:

- в качестве ПЧ, для высоковольтного АД ЦН, применена система, как наиболее экономичная и адаптированная к особенностям режимов работы и электроснабжения НА;

- разработаны математические модели привода ЦН, позволяющие адекватно исследовать электромагнитные процессы в системе ПЧ-АД, определены оптимальные параметры регулирования систем;

- разработаны методика и алгоритмы расчета электромагнитных процессов и энергетических показателей - привода ЦН с учетом новой элементной базы ПЧ;

Апробация работы. Материалы диссертации обсуждены и доложены на международных научно-технических конференциях «МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ, АСПИРАНТОВ И СТУДЕНТОВ» «Инновация – вектор для молодежи» Посвященная 60-летию юбилею Кыргызского государственного технического университета им. И.Раззакова (г.Бишкек 2014), заочная Международная научно-практическая конференция «ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ», (г. Уфа 2014г), на ежегодной конференции магистрантов и семинарах кафедры “Электропривод и автоматизация промышленных установок” Алматинского университета энергетики и связи (г.Алматы 2014).

Публикации. По результатам исследований опубликовано 4 научных статьи по теме диссертации.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из аннотаций на трех языках, введения, трех разделов и заключения, содержит 97 страницы, список использованных источников и приложения.

Основное содержание работы

На НУ применяют следующие схемы перекачки:

- подстанционную (работа на «емкость»), когда головная или промежуточная насосная станция закидывает жидкость в емкость последующей;

- через резервуар, устанавливаемый на каждой насосной станции; жидкость в него заканчивается предыдущей насосной станцией, из него же и забирается на перекачку дальше;

- из насоса – в насос; перекачка жидкости выполняется по своему трубопроводу транзитной;

- с подключенным резервуаром перекачка жидкости при этом выполняется транзитная, резервуар выполняет роль буфера.

Первые две схемы достаточно просты в технологии перекачки жидкости, в управлении режимами работы магистрального трубопровода.

Способы регулирования режимов работы насосных агрегатов

Целью регулирования режимов работы насосных станций является поддержание постоянства напора или подачи в заданной точке трубопровода либо их изменения в соответствии с требованиями технологии и изменениями внешних факторов. Осуществить такое управление можно, целенаправленно изменяя характеристики насоса или трубопровода.

Анализ, проведенный в предыдущем разделе, позволяет определить варианты воздействующих параметров системы, которые подразделяются на конструкторско-технологические и оперативно – эксплуатационные.

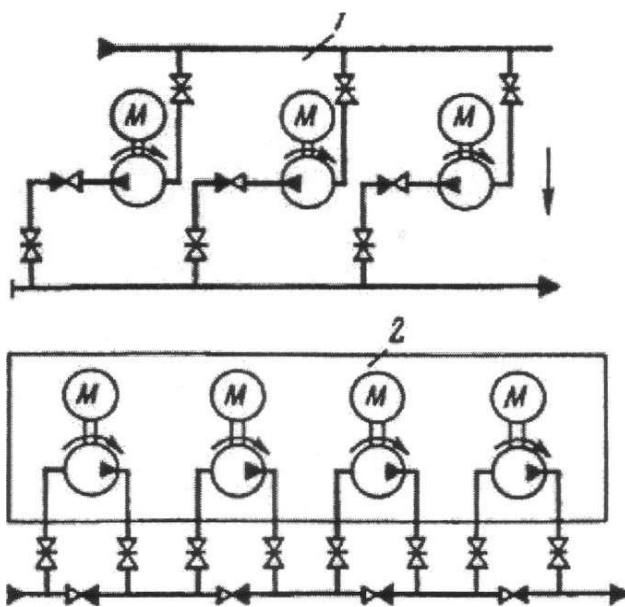
Конструкторско-технологические мероприятия (подбор параметров насоса, обточка или замена рабочего колеса насоса и др.) выполняются на стадии проекта, монтажа и наладки системы и далее не рассматриваются. В настоящее время известны четыре метода оперативного регулирования режимов работы нефтепроводов [40,41,43,45].

- регулирование методом перепуска части подачи насоса на его вход; регулирование методом последовательного (параллельного) включения насосов;

- Регулирование методом дросселирования трубопровода;

- Регулирование изменением частоты вращения рабочего колеса насоса.

- Регулирование перепуском относится к способам управления с заведомо *низким* КПД. Энергия, затрачиваемая на циркуляцию жидкости по холостому Кругу, не создает полезной работы. Проведем краткий анализ других методов регулирования режимов работы насосных агрегатов.



1 - параллельная схема соединения насосов; 2 - последовательная схема соединения насосов

Рисунок 1.6 - Схемы соединения агрегатов насосных станций

Структурная схема двухдвигательного электропривода и математическая модель в среде MATLAB

Чтобы оценить систему работы двухдвигательного электропривода надо рассмотреть структурную схему привода в среде MATLAB. (см.рисунок).

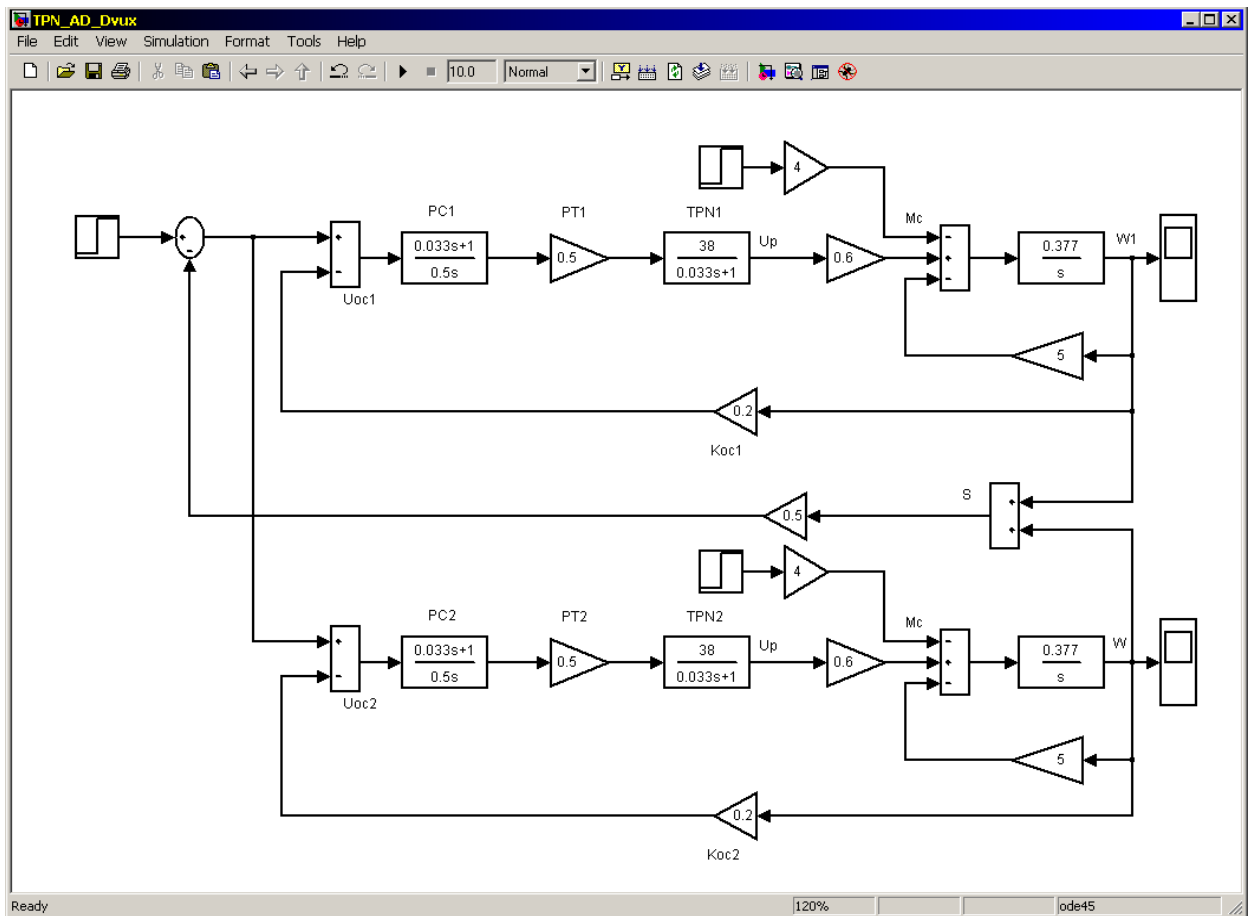


Рисунок - Структурная схема двухдвигательного электропривода

Как видно из рисунка, двухдвигательный электропривод имеет два обратных связи по скорости в системе ТПН-АД. На входе ТПН-АД сигналы суммируются и полученный сигнал подается на вход подключенным элементам. Так же, можно посмотреть динамику устойчивости с помощью компьютерной технологии в среде MATLAB. Программа динамической устойчивости показана на следующем рисунке

```
>> n = [0.377];
>> m = [1 0];
>> W1 = tf(n,m)
```

Transfer function:

$$\frac{0.377}{s}$$

s

```
>> Q1 = feedback(W1,[5])
```

Transfer function:

$$\frac{0.377}{s + 1.885}$$

```
>> n2 = [38*0.6];  
>> m2 = [0.033 1];  
>> W2 = tf(n2,m2)
```

Transfer function:

$$\frac{22.8}{0.033 s + 1}$$

```
>> n3 = [0.06 1];  
>> m3 = [0.2 0];  
>> W3 = tf(n3,m3)
```

Transfer function:

$$\frac{0.06 s + 1}{0.2 s}$$

```
>> G1 = Q1*W2*W3
```

Transfer function:

$$\frac{0.5157 s + 8.596}{0.0066 s^3 + 0.2124 s^2 + 0.377 s}$$

```
>> Q2 = feedback(G1,[0.3])
```

Transfer function:

$$\frac{0.5157 s + 8.596}{0.0066 s^3 + 0.2124 s^2 + 0.5317 s + 2.579}$$


```
>> G2=Q2
```

Transfer function:

$$\frac{0.5157 s + 8.596}{0.0066 s^3 + 0.2124 s^2 + 0.5317 s + 2.579}$$

```
>> G2=Q2
```

Transfer function:

$$\frac{0.5157 s + 8.596}{0.0066 s^3 + 0.2124 s^2 + 0.5317 s + 2.579}$$

```
>> S1 = parallel(Q2,G2)
```

Transfer function:

$$\frac{0.006808 s^4 + 0.3326 s^3 + 4.201 s^2 + 11.8 s + 44.33}{4.356e-005 s^6 + 0.002804 s^5 + 0.05215 s^4 + 0.26 s^3 + 1.378 s^2 + 2.742 s + 6.65}$$

```
>> h1 = [0.006808 0.3326 4.201 11.8 44.33];  
>> z1 = [4.356e-5 0.002804 0.05215 0.26 1.378 2.742 6.65];  
>> W4 = minreal(S1)
```

Transfer function:

$$\frac{156.3 s + 2605}{s^3 + 32.19 s^2 + 80.56 s + 390.7}$$

```
>> P = [1 32.19 80.56 390.7];  
>> r = roots(P)
```

r =

-29.9348

$$\begin{aligned} & -1.1276 + 3.4322i \\ & -1.1276 - 3.4322i. \end{aligned}$$

Рисунок – Определение программы устойчивости динамики системы ТПН-АД с отрицательной обратной связью по скорости двухдвигательного электропривода

Если корень характеристического уравнения $s^3 + 32.19 s^2 + 80.56 s + 390.7=0$ является корнем отрицательной части двухдвигательного электропривода, то движение устойчивое.

Математическая характеристика переходного процесса двухдвигательного асинхронного электропривода в системе ТПН-АД

Уравнение скоростной динамики для начальной системы ТПН-АД:

$$\frac{d\Delta\omega_1}{dt} = \frac{k_u}{I} \Delta U_1 - \frac{k_\omega}{I} \Delta\omega_1. \quad (1)$$

$\Delta U_1 = k_{\text{ПН}} k_{\text{РТ}} \Delta\Delta U_{\text{РС}}$, учитывая дифференциальные уравнения сглаживающего звена (ПИ регулятор), производная $d\Delta U_1 / dt$:

$$\begin{aligned} \frac{d\Delta U_1}{dt} = & \frac{k_{\text{ПН1}} k_{\text{РТ2}}}{T_2} \Delta U_{\text{ЗС}} - \frac{T_1 k_{\text{ОС1}} k_u k_{\text{ПН1}} k_{\text{РТ1}}}{T_2 I_1} \Delta U_1 - \\ & \left(\frac{k_{\text{ОС1}} k_{\text{ПН}} k_{\text{РТ}}}{T_2} - \frac{T_1 k_\omega k_{\text{ОС1}} k_{\text{ПН}} k_{\text{РТ}}}{T_2 I_1} \right) \Delta\omega_1, \end{aligned} \quad (2)$$

Для вторичной системы ТПН-АД (вторичная система так же как и первая) дифференциальное уравнение:

$$\frac{d\Delta\omega_2}{dt} = \frac{k_u}{I_2} \Delta U_2 - \frac{k_\omega}{I_2} \Delta\omega_2; \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \frac{d\Delta U_2}{dt} = & \frac{k_{\text{ПН1}} k_{\text{РТ2}}}{T_2} \Delta U_{\text{ЗС}} - \frac{T_1 k_{\text{ОС1}} k_u k_{\text{ПН1}} k_{\text{РТ1}}}{T_2 I_1} \Delta U_2 - \\ & \left(\frac{k_{\text{ОС2}} k_{\text{ПН2}} k_{\text{РТ2}}}{T_2} - \frac{T_1 k_\omega k_{\text{ОС2}} k_{\text{ПН2}} k_{\text{РТ2}}}{T_2 I} \right) \Delta\omega_2, \end{aligned} \quad (4)$$

Правую часть переменных с уравнении 1, 2, 3, 4 запишем в виде:

$$a_1 = \frac{k_u}{I_1}; \quad a_2 = \frac{k_{\omega 1}}{I_1};$$

$$\begin{aligned}
a_3 &= \frac{k_{\text{ПН}}k_{\text{РТ1}}}{T_2}; & a_4 &= \frac{T_1k_{\text{OC1}}k_{u1}k_{\text{ПН1}}k_{\text{РТ1}}}{T_2}; \\
U &= \left(\frac{k_{\text{OC1}}k_{\text{ПН1}}k_{\text{РТ1}}}{T_2} - \frac{T_1k_{\omega}k_{\text{OC1}}k_{\text{ПН1}}k_{\text{РТ1}}}{T_2I_1} \right); \\
a_6 &= \frac{k_{u2}}{I_2}; & a_7 &= \frac{k_{\omega}}{I_2}; \\
a_8 &= \frac{k_{\text{ПН}}k_{\text{РТ}}}{T_2}; & a_9 &= \frac{T_1k_{\omega}k_{\text{OC2}}k_{\text{ПН}}k_{\text{РТ}}}{T_2I_2}; \\
a_{10} &= \left(\frac{k_{\text{OC2}}k_{\text{ПН}}k_{\text{РТ}}}{T_2} - \frac{T_1k_{\omega}k_{\text{OC2}}k_{\text{ПН}}k_{\text{РТ}}}{T_2I_1} \right); \tag{5}
\end{aligned}$$

где T_1 и T_2 - постоянная времен передаточной функции по скорости:

$$W_{\text{PC}}(P) = \frac{T_1P + 1}{T_2P}; \quad P = \frac{d}{dt}. \tag{6}$$

Дифференциальное уравнение характеризующие динамику двухдвигательного электропривода запишем в виде:

$$\begin{aligned}
\frac{d\Delta\omega_1}{dt} &= a_1\Delta U_1 - a_2\Delta\omega_1; \\
\frac{d\Delta U_1}{dt} &= a_3\Delta U_{3.C} - a_4\Delta U_1 - a_5\Delta\omega_1; \\
\frac{d\Delta\omega_2}{dt} &= a_6\Delta U_2 - a_7\Delta\omega_2; \\
\frac{d\Delta U_2}{dt} &= a_8\Delta U_{3.C} - a_9\Delta U_1 - a_{10}\Delta\omega_2;
\end{aligned} \tag{7}$$

или

$$\begin{aligned}
\frac{dx_1}{dt} &= a_1x_2 - a_2x_1; \\
\frac{dx_2}{dt} &= a_3U - a_4x_2 - a_5x_1; \\
\frac{dx_3}{dt} &= a_6x_4 - a_7x_3; \tag{8}
\end{aligned}$$

$$\frac{dx_4}{dt} = a_8 U - a_9 x_4 - a_{10} x_3;$$

Где $x_1 = \Delta\omega_1$; $x_2 = \Delta U_1$; $x_3 = \Delta\omega_2$; $x_4 = \Delta U_2$; $U = \Delta U_{3.C}$.

Структурная схема регулятора двухдвигательного электропривода по полученным управлениям переменной системы показана на рисунке

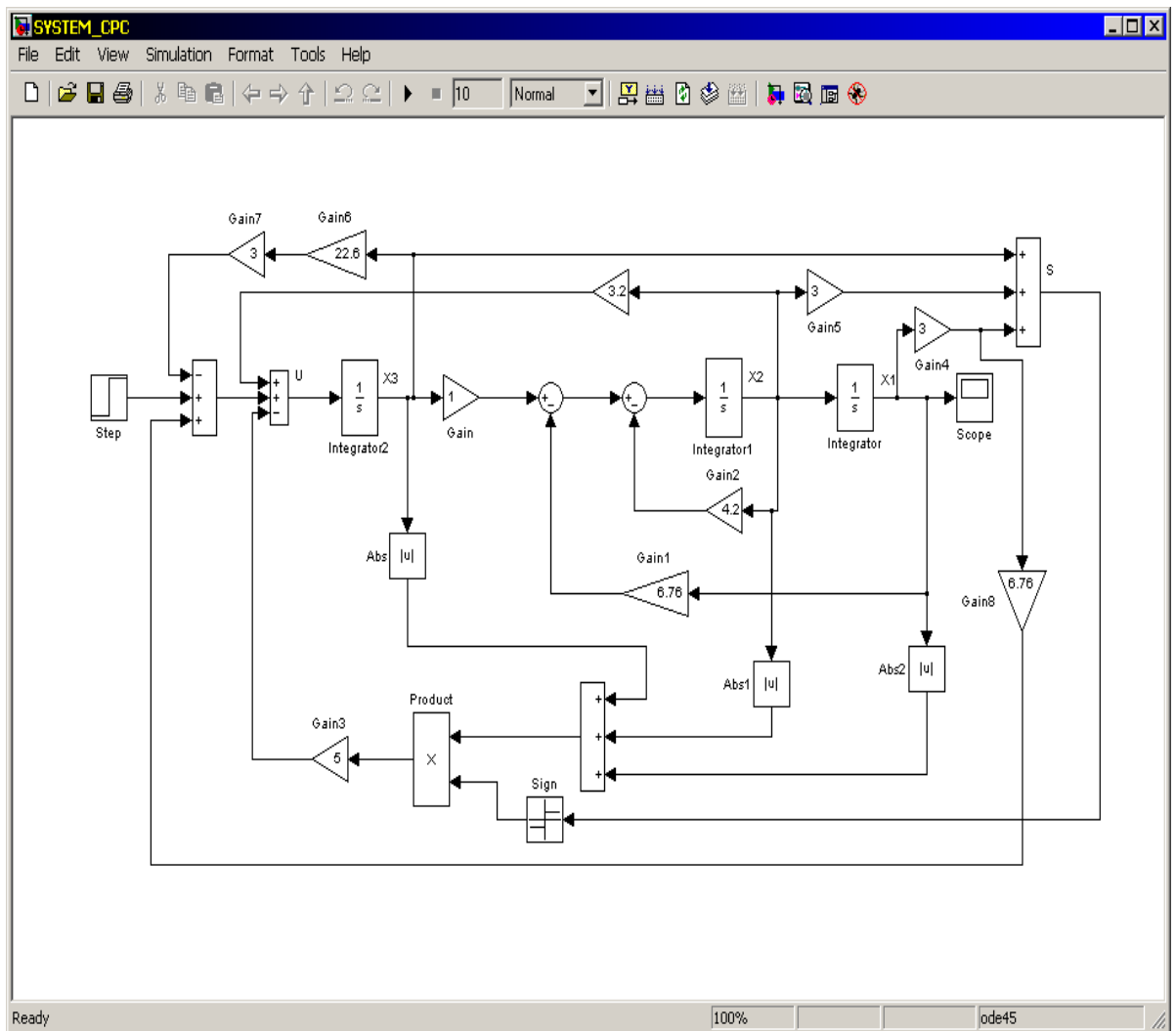


Рисунок - Структурная схема системы регулятора двухдвигательного электропривода

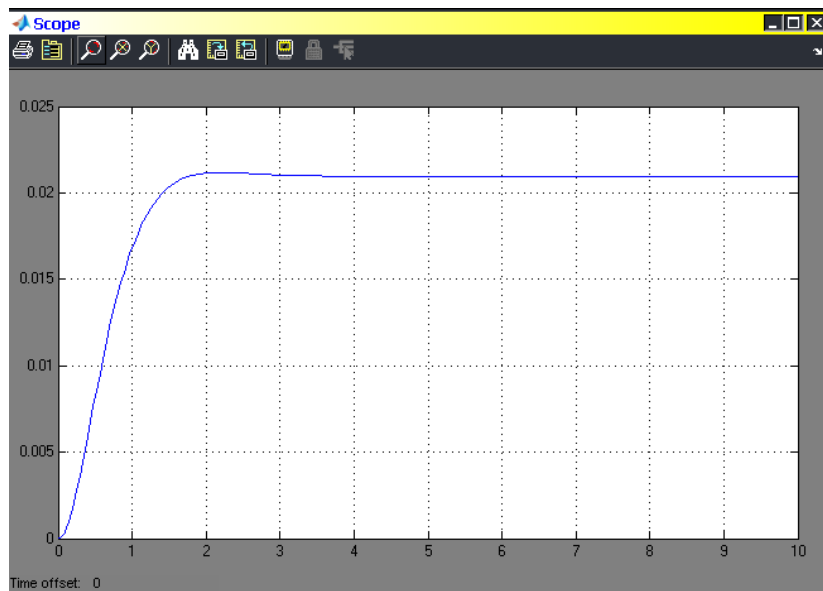


Рисунок – Переходные процессы скорости

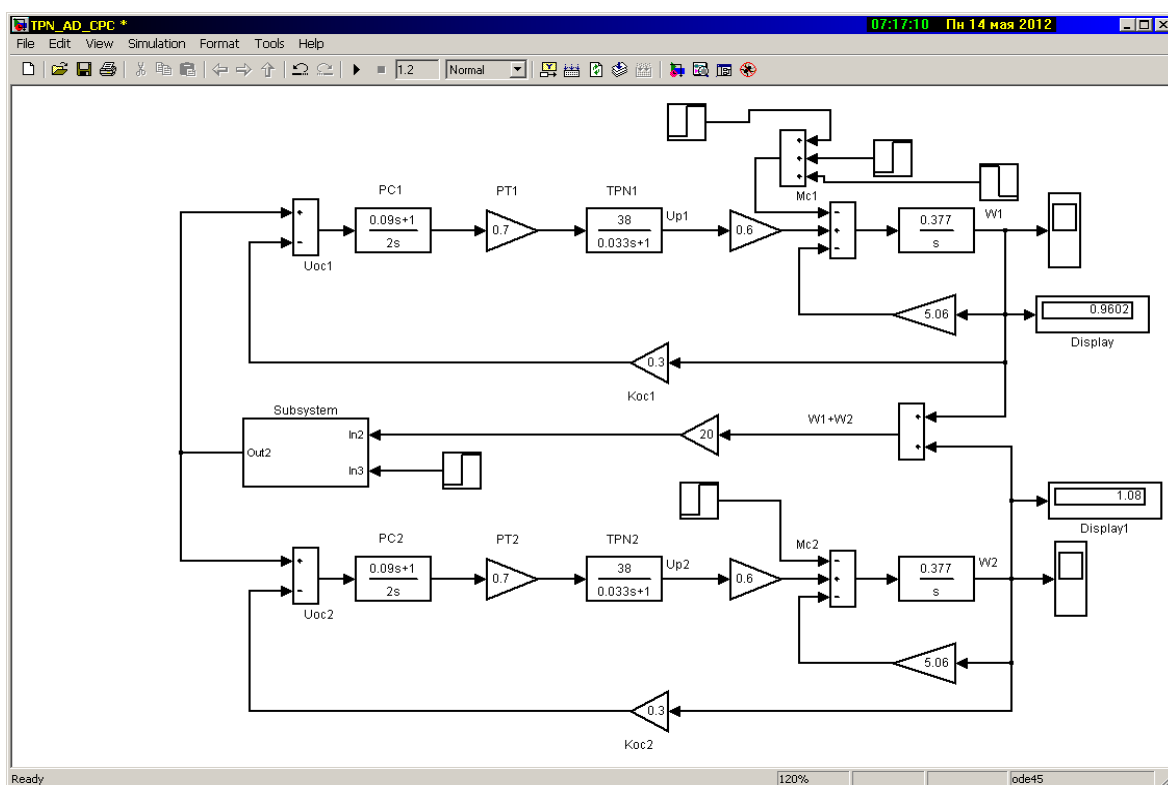


Рисунок – Структурная схема системы управления

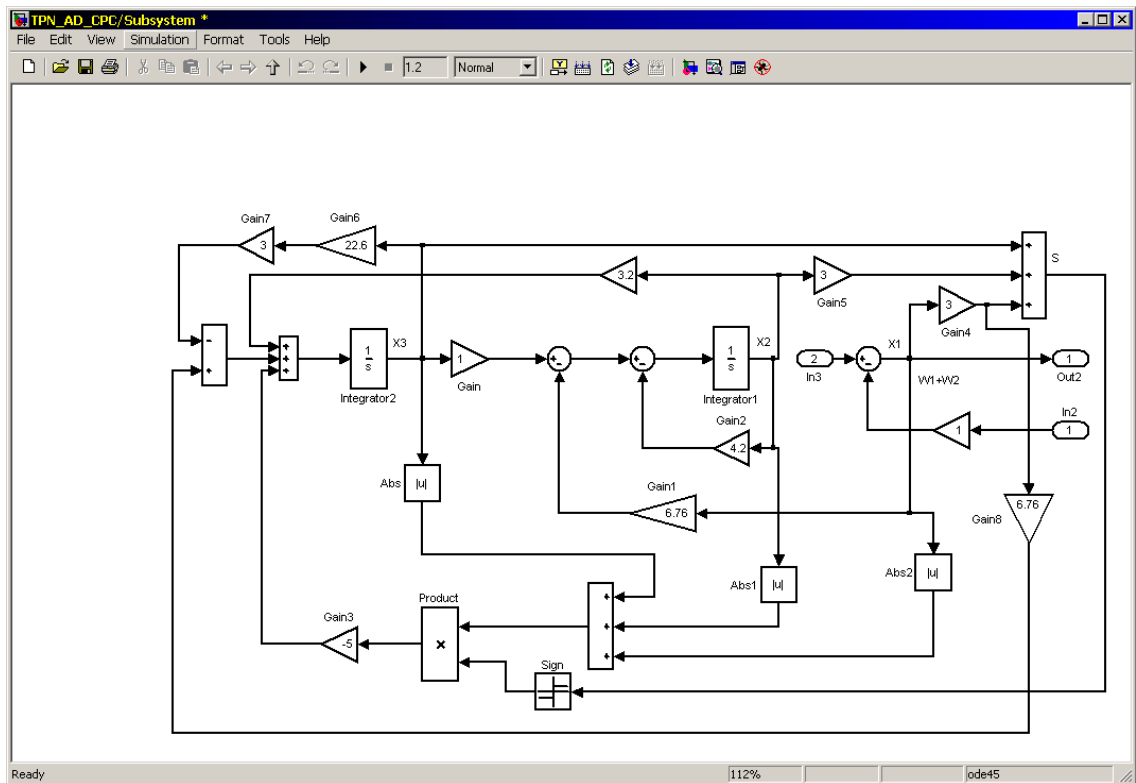


Рисунок – Переменная структура системы

Получение модулей алгоритма управления осуществляется с помощью операции и сигналов, цифровой техники.

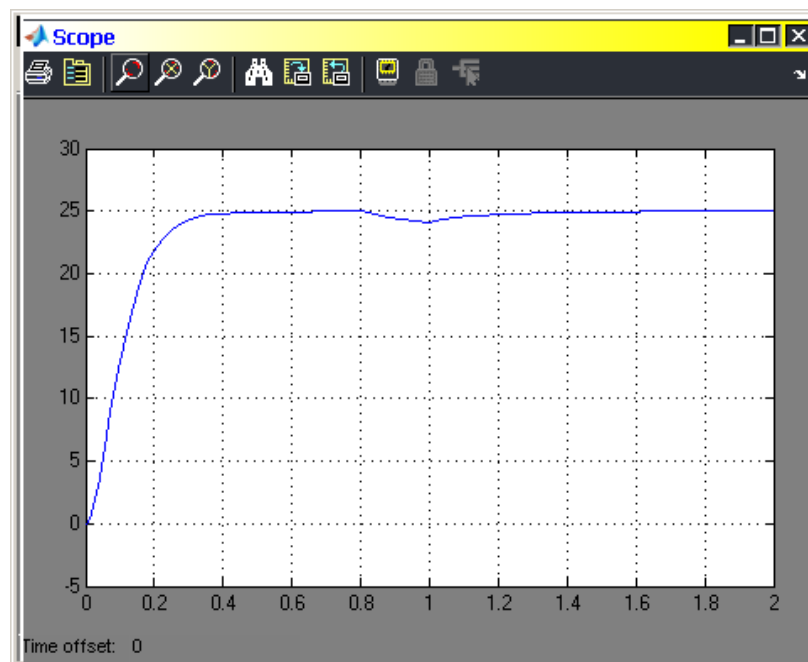


Рисунок – Переходной процесс первого двигателя

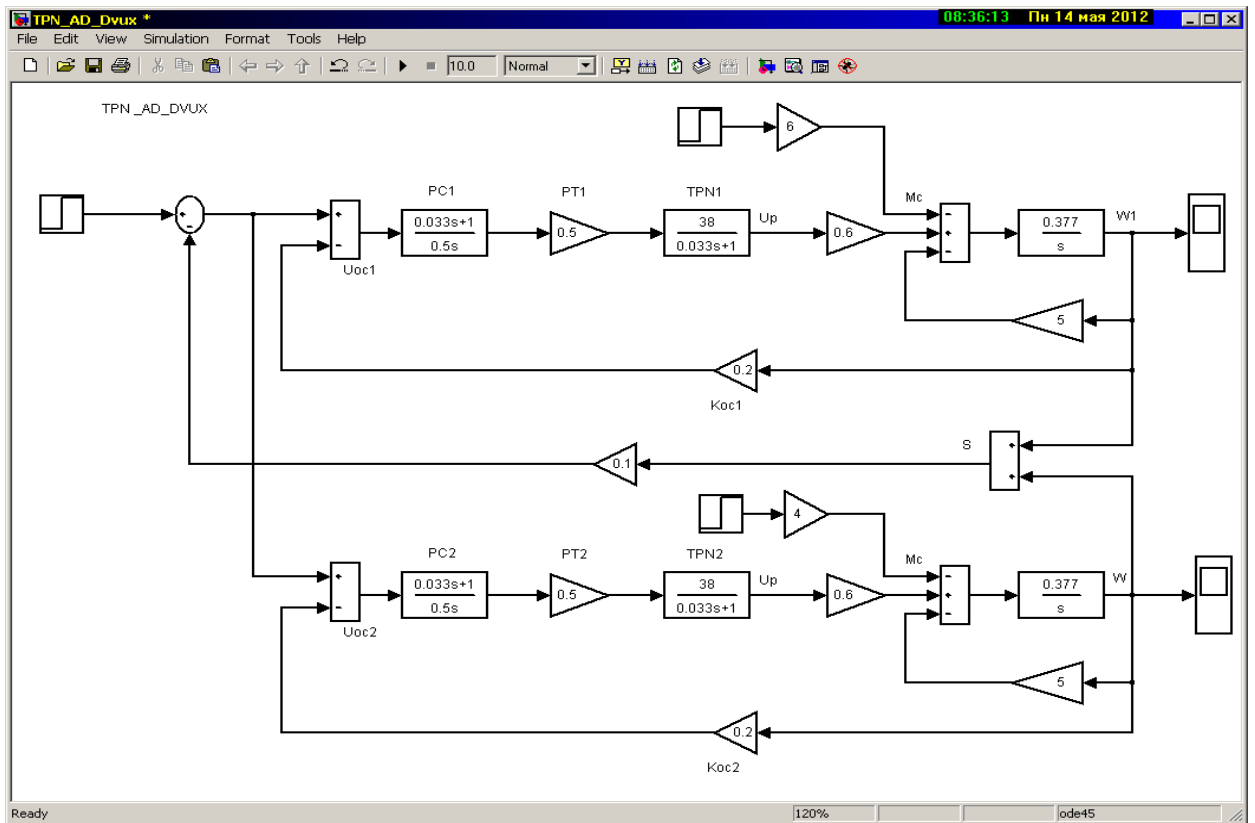


Рисунок – Структурная схема двухдвигательного электропривода в среде MATLAB

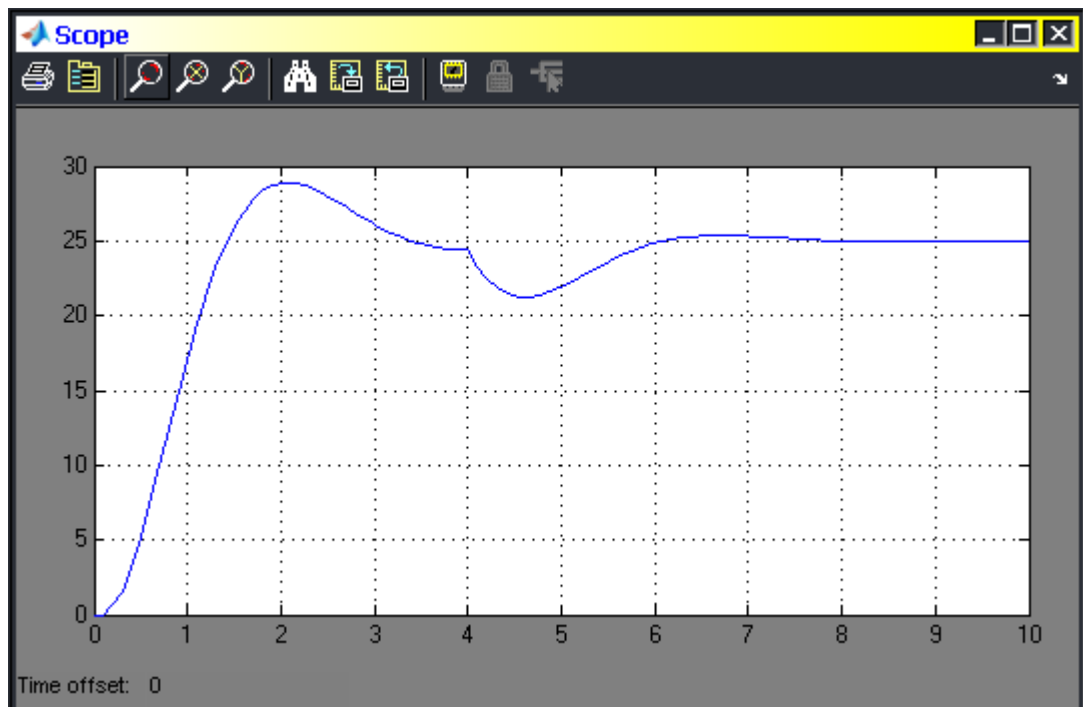


Рисунок – Переходной процесс по скорости первого двигателя

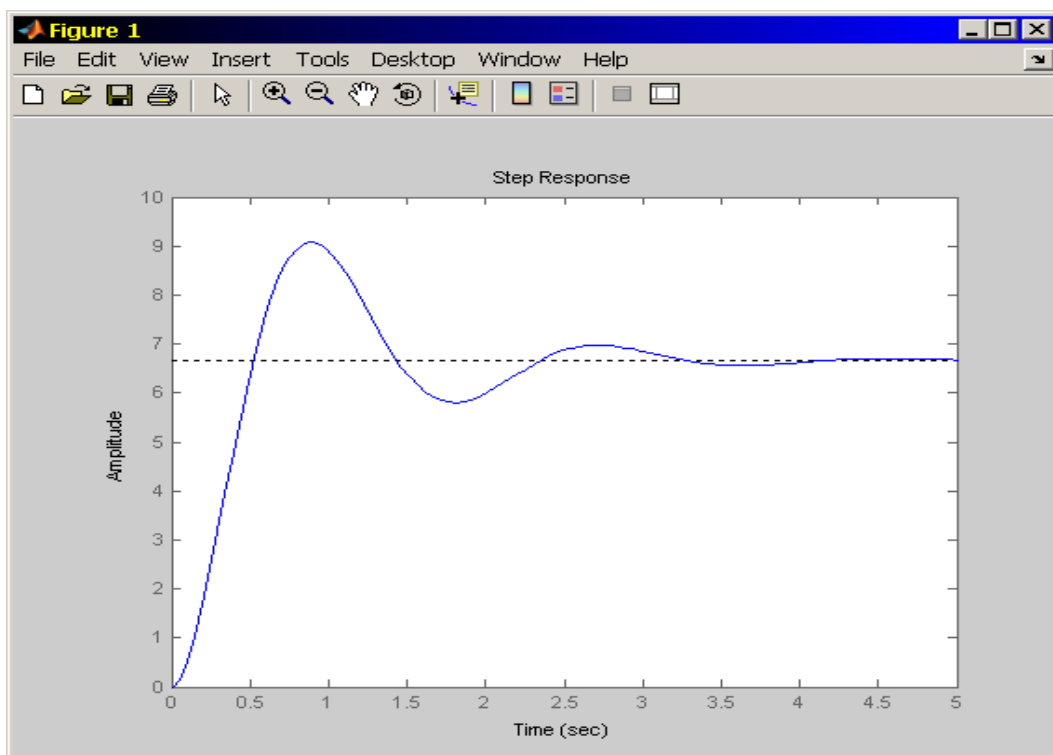


Рисунок – Переходной процесс второго двигателя по скорости

Заключение

Преимущества применения двухдвигательного электропривода в насосных установках:

- 1) При данной скорости вращения сумма мощности двух двигателей получается наименьший момент инерции, что равно мощности одного двигателя. За счет уменьшения момента инерции, улучшаются динамические показатели двухдвигательного электропривода;
- 2) При выходе из строя одного двигателя на 50% обеспечивает резерв;
- 3) Дает возможность получить такие механические характеристики, которые невозможно получить при однодвигательном электроприводе.

Недостатки применения двухдвигательного электропривода:

- 1) При последовательной или параллельной подключении к сети усложняется схема подключения, чем однодвигательный;
- 2) Между двумя двигателями могут возникнуть неравномерная нагрузка.

АНДАТПА

Диссертациялық жұмыста сорғы станцияның жылдамдық бойынша кері байланысы бар асинхрондық электржетектің тиімді басқару жүзеге асырылды. MATLAB бағдарламасының көмегімен асинхронды электржетектің математикалық моделі, структуралық сұлбалары, параметрлер синтезі орындалды. Тұрақтылық теориясы қарастырылды.

Сондай – ақ жұмыста құрылымы айнымалы жүйе қарастырылған. КТТ-АҚ (Кернеудің тиристорлы түрлендіргіші – асинхронды қозғалтқыш) жылдамдықтар бойынша кері байланыспен жүйенің сипаттамасы жасалып, КТТ-АҚ қозғалыстың орнықтылығы анықталып, жылдамдықтың өтпелі үрдістері мен осы жүйенің электрмагнитті кезеңі есептелінген.

КТТ-АҚ жүйесі мен екі қозғалтқышты электр жетегінің айнымалы құрылымы бар жүйе жасалды.

Жоба іске асырылған жағдайда 50% резервті қамтамасыз етеді. Екі қозғалтқышты электр жетектің машинасының біреуі бағытынан (ағыс) шығып кеткен кезде, кейбір механизмдер үшін болады, пайдалы жүктеме немесе қозғалыс жылдамдығын азайту есебінен аз өнімділікті жұмысты қамтамасыз етеді. Сонымен қатар екі қозғалтқыштың қуатын қосқанда инерция моменті азаяды. Ол құрылғының динамикалық қасиетін жақсартып, оның шапшаңдығын жоғарылатады.

АННОТАЦИЯ

В диссертационной работе разработана система управления асинхронного электродвигателя насосной станции с обратной связью по скорости. С помощью программы MATLAB выполнены математическая модель, структурные схемы, синтез параметров асинхронного двигателя. Рассмотрена теория устойчивости двигателя.

Так же рассматриваются системы с переменной структурой. В работе произведено математическое описание ТПН-АД (Тиристорный преобразователь напряжения – асинхронный двигатель) с обратной связью по скорости, определена устойчивость движения ТПН-АД и рассчитаны переходные процессы скорости и электромагнитного момента этой системы.

Разработана система с переменной структурой двухдвигательного электропривода с системой ТПН-АД.

При осуществлении проекта двухдвигательный электропривод обеспечивает 50% резерва. При выходе из строя одной из машин двухдвигательного электропривода можно для некоторых механизмов, обеспечить работу с меньшей производительностью за счет уменьшения полезной нагрузки либо скорости движения. Также меньшим моментом инерции при суммарной мощности двухдвигателей, что улучшает динамические свойства установки, повышает ее быстродействие.

ANNOTATION

In this dissertation system of control of electric engine with back connection of speed of pump station was developed. With program MATLAB mathematical model, structure scheme and syntheses of parameters were performed. The stability theory of engine has been viewed.

As systems with variable structure are considered. In work the mathematical description TCT\2AE (The Thyristor Converter of Tension — the Asynchronous Engine) with feedback on speed is made, stability of movement TPN-AD is defined and transients of speed and the electromagnetic moment of this system are calculated.

The system with variable structure of the two-engine electric drive with TPN-AD system is developed.

At project implementation the two-engine electric drive provides 50% of a reserve. At failure of one of cars of the two-engine electric drive it is possible for some mechanisms, to ensure functioning with a smaller productivity due to reduction of payload or movement speed. Also smaller moment of inertia at the total power of two-engines that improves dynamic properties of installation, increases its speed

Жұмыстың маңыздылығы.

Диссертациялық жұмыста сорғы станцияның жылдамдық бойынша кері байланысы бар асинхрондық электржетектің тиімді басқару жүзеге асырылды. MATLAB бағдарламасының көмегімен асинхронды электржетектің математикалық моделі, структуралық сұлбалары, параметрлер синтезі орындалды. Тұрақтылық теориясы қарастырылды.

Сондай – ақ жұмыста құрылымы айнымалы жүйе қарастырылған. КТТ-АҚ (Кернеудің тиристорлы түрлендіргіші – асинхронды қозғалтқыш) жылдамдықтар бойынша кері байланыспен жүйенің сипаттамасы жасалып, КТТ-АҚ қозғалыстың орнықтылығы анықталып, жылдамдықтың өтпелі процесстері мен осы жүйенің электрмагнитті кезеңі есептелінген.

КТТ-АҚ жүйесі мен екі қозғалтқышты электр жетегінің айнымалы құрылымы бар жүйе жасалды.

Жоба іске асырылған жағдайда 50% резервті қамтамасыз етеді. Екі қозғалтқышты электр жетектің машинасының біреуі бағытынан (ағыс) шығып кеткен кезде, кейбір механизмдер үшін болады, пайдалы жүктеме немесе қозғалыс жылдамдығын азайту есебінен аз өнімділікті жұмысты қамтамасыз етеді. Сонымен қатар екі қозғалтқыштың қуатын қосқанда инерция моменті азаяды. Ол құрылғының динамикалық қасиетін жақсартып, оның шапшаңдығын жоғарылатады.

Жұмыстың мақсаты: Ортадан тепкіш сорғы агрегаттарында жиілікті реттелетін жетектерді жыңғырту және талдау. Диссертациялық жұмыста қойылған мақсат келесі **негізгі сұрақтарды** қамтиды:

- СҚ электр жетегінің жұмыстарына эаңғыртатын және жаңартатын зерттеулер жүргізу;
- Реттелетін ортадан тепкіш сорғы электр жетектеріне салыстырмалы талдау жасау және жиілікті жетектерді ағын және біріліс арқылы реттеудің тиімділігін дәлелдеу;
- Күштік элементтер басасын пайдалана отырып, жиілікті түрлендіргіш жетектердің сұлбаларының тиімділігін анықтау;
- Асинхронды қозғалтқыштың электрмагниттік үрдістерді есептеудің бағдарламасын құру, жиілікті реттелетін жетектің энергетикалық көрсеткіштеріне зерттеулер жүргізу;
- Ортадан тепкіш сорғы параметрлеріне талдау жасау және жиілікті реттелетін жетектердің жүйесін құру.

Зерттеу әдістері. Қойылған талаптар ортадан тепкіш сорғы агрегаттарын Matlab бағдарламасымен математикалық моделін құру әдісімен, басқару және енгізу сұрақтары сандық әдіспен, автоматтарндырылған электр жетегі теориясымен экспериментті ұтымды жоспарлау әдістерімен жүргізілді.

Негізгі ғылыми қағидалар мен ғылыми жаңалықтар:

- СҚ электрмен жабдықтау және тиімді де дағдылы жұмыс режимдері ретінде жоғары вольтті АҚ ортадан тепкіш сорғының жиілікті түрлендіргіш жүйесі қабылданды;
- ЖТ – АҚ жүйесінде электрмагнитті үрдістерді зерттеуге мүмкіндік беретін сортадан тепкіш сорғы жетегінің математикалық моделі құрылып, жүйені реттеудегі тиімді параметрлер анықталды;
- Жаңа жиілікті түрлендіргіштің элементтер базасының энергетикалық көрсеткіштері және есептеу алгоритмі және әдісі таңдалды.

Жұмыстың апробациясы. Жұмыстың негізгі мазмұны мен нәтижелері: Диссертацияның мазмұны «Алматы энергетика және байланыс университетінің жылдық магистранттар», «Халықаралық ғылыми – техникалық жас ғалымдар, аспиранттар және студенттер» «Инновация – жастар тірегі» (Бішкек қ. 2014ж.), Халықаралық ғылыми – зертханалық «ЗАМАНАУЙ ҒЫЛЫМНЫҢ ИННОВАЦИЯЛЫҚ ДАМУЫ» (Уфа қ. 2014) конференциясында баяндалып, талқыланды.

Жарияланымдар: 3 ғылыми еңбек жарық көрген, олардың ішінде: 2 мақала халықаралық конференцияларда жарияланса, 1 мақала ҚР-ның білім және ғылым министрлігі жанындағы Білім және ғылым саласындағы қадағалау және аттестаттау комитетінің ғылыми мақалаларды жариялауға ұсынған ғылыми басылымдарда жарық көрді.

Диссертацияның құрылымы және көлемі. Диссертация түсініктеме жазба ретінде ұсынылып, андатпадан, кіріспеден, 3 бөлімнен және қорытындыдан, пайдаланылған әдебиеттерден, қосымшадан тұрады.

Жұмыстың негізгі мазмұны

Сорғы қондырғылары келесі түрлердегі сұлбалармен жұмыс жасай алады:

- қосалқылы («ыдысқа» жұмыс), басқы немесе аралық сорғы станциясы сұйықтықты келесі ыдыстарға құйып отырады;
- әрбір сорғы станциясында орнатылған резервуар арқылы, сұйықтық алдыңғы станцияның сорғысынан құйылады да одан әрі беріледі;
- сорғыдан - сорғыға; сұйықтықты айдау өзінің құбырынан транзиттік құбыр арқылы іске асады;
- сұйықтықты айдау қосылған резервуар арқылы транзитті құбырға айдалады, резервуар буфер ролін атқарады.

Мазмұны

Белгілеулер мен қысқартулар.....	5
Кіріспе.....	6
1 Көпқозғалтқышты сорғы жлектр жегегін пайдаланудың қазіргі жағдайы. Зерттеу мақсаттары және мәселелері.....	8
1.1 Жүктерді сорғыларда тасымалдаудың техникалық ерекшеліктері.....	8
1.2 Екіқозғалтқышты сорғы жетектеріне электржетектеріне шолу....	10
1.3 Қозғалтқыштардың арасында жүктемелерді бірқалыпты тарату және көпқозғалтқышты конвейерлердің қуатын анықтау.....	15
1.4 Ленталы конвейердің іске қосылуы.....	19
1.5 Көпқозғалтқышты ленталы конвейердің тежеуі.....	20
1.6 Мәселелердің қойылымы.....	25
2 КТТ – АҚ жүйемен екі қозғалтқышты асинхронды электржетектің айнымалы құрылымды басқару жүйесімен қайта өңдеу	31
2.1 КТТ – АҚ жүйемен бір қозғалтқышты асинхронды электржетектің математикалық сипаттамасы мен құрылымдық сұлбасы	31
2.2 MATLAB жүйесіндегі айнымалы құрылымдық сұлбалы екі қозғалтқышты электржетектің математикалық жазылуы және құрылымдық сұлбасы	36
2.3 Кернеуді тиристорлы түрлендіргішті системалы екі қозғалтқышты электржетегінің өтпелі процесстерінің математикалық сипаттамасы	40
2.4 Айнымалы құрылымды басқару системалары	47
Қорытынды.....	91
Қолданылған әдебиет тізімі.....	92

Белгілеулер мен қысқартулар

- СА – сорғы агрегаты
СҚ – сорғы қондырғысы
КАЭЖ – көпқозғалтқышты асинхронды электржетегі
СА КАЭЖ – синхронды айналатын көпқозғалтқышты асинхронды электржетегі
АҚ – асинхронды қозғалтқыш
АЖТ – асинхронды жиілік түрлендіргіш
ЭЖБ – электрлік жұмысшы білік
ТКТ – тиристорлы кернеу түрлендіргіші
ИФБЖ – импульстік-фазалық басқару жүйесі
ЖДАБ – жүктелу деңгейін анықтау блогы
ЖТ – жиілік түрлендіргіші
ЖР – жылдамдық реттегіші
ТД – ток датчигі
КД – кернеу датчигі
ФТ – функционалды түрлендіргіш
ЭМТ – электрмеханикалық түрлендіргіш
БМ – беріліс механизмі
ОМ – орындаушы механизм
ПЭК – пайдалы әсер коэффициенті
КАИ – кернеудің автономды инверторы
ЕИМ – ендік-импульстік модулятор
ЭЕМ – электронды-есептеуіш машина
ЭҚК – электр қозғаушы күш
ТМСТ – теңестіруші моменттерді салыстыратын және тапсыратын құрылғы
РЭФЫС – роторлық ЭҚК фазаларының ығысуын салыстыру құрылғысы.

Диссертацияда электр жетегі бойынша әдебиеттерде қабылданған өлшем бірліктері қолданылған: А, В, Ом, рад/с, с, м/с, Н·м, кг, кг·м², кДж.

1 Ортадан тепкіш сорғылар

1.1 Сұлбасы және жұмыс істеу принципі

Энергия беру арқылы сұйықтықтың арынды қозғалысын тудыратын гидравликалық машина сорғы деп аталады. Сорғы электржетегі және беріліс механизмімен бірге (муфта, редуктор, шкиф және т.б.) сорғылық агрегат құрайды. Сорғылардың жұмысын қамтамасыз ететін және бір немесе бірнеше сорғылық агрегаттан, құбырдан, тиектік және реттегіш арматурадан, бақылау-өлшеу аппаратураларынан, және де басқару және қорғаныс аппаратурасынан тұратын құрылғылар жиынтығы сорғылық қондырғыны құрайды. Құрамына бір немесе бірнеше сорғылық қондырғы, және де бүкіл объекттің жұмыс қабілеттілігін қамтамасыз ететін көмекші жүйелер мен құрылғылар, тұрмыстық және өндірістік орындар кіретін құрылыс сорғы станциясы деп аталады.

Жұмыс істеу принципі бойынша сорғылар үш негізгі класқа бөлінеді: қалақты немесе күрекшелі (сүйірлеу сорғылары), құйынды сорғылар (алып кету сорғылары) және көлемдік сорғылар (ығыстыру сорғылары).

Қалақты сорғыларда қозғалтқыш энергиясының түрленуі доңғалақтың қалақтарының сүйірлеуі және олардың ағынға күштік әсер етуі кезінде жүреді.

Қалақты сорғылар ортадан тепкіш (радиалды), диагоналды және өстік (пропеллерлі) болып бөлінеді. Ортадан тепкіш сорғыларда жұмыс доңғалағындағы сұйықтық орталық бөлігінен шетке қарай радиалды бағытпен қозғалады, яғни сұйық бөлшектерінің ағынында абсолютті жылдамдықтың өстік құраушылары болмайды. Қалақты сорғылардың сору қабілеті төмен болады. Сондықтан жүргізу кезінде олардың сорғыш құбырын және доңғалағын сұйықтықпен толтырады. Қалақты сорғыларды қазіргі заманғы жүрдек электромоторлармен, іштен жану қозғалтқышымен істейтін бу және газ турбиналарымен тікелей байланыстыруға ыңғайлы. Қалақты сорғылар ықшамдылығымен және жеңілдігімен айрықшалаанады.

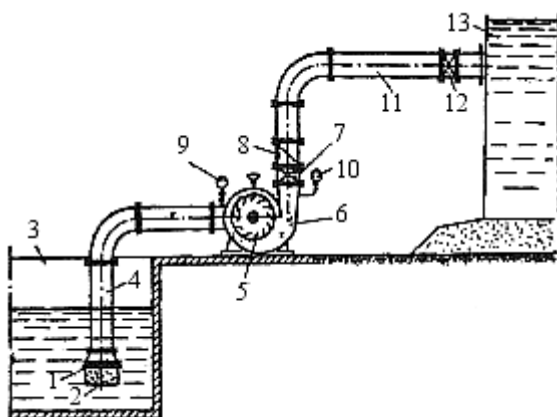
Қалақты сорғылардың ПӘК-і 0,95-0,98 дейін жетеді және шекті арын бойынша поршенді сорғылардың ПӘК-нен кем емес. Сол себептен үлкен емес және орташа арын және үлкен берілістер кезінде тек қалақты сорғылар қолданылады. Қазіргі кезде қалақты сорғыларды жобалау және өндірудің жетілдірілуі нәтижесінде оларды жоғары арындарда да – 3000 м және жоғары, қолдана бастады. Қалақты, әсіресе ортадан тепкіш сорғылар мұнай және мұнай өнімдерін тасымалдау құбырларына беруге, мұнай шығару кезінде мұнай қабатына су беруге, мұнай химиясында жоғары агрессивті және токсикалық сұйықтарды беруге кеңінен қолданылады.

Ортадан тепкіш сорғы сұйықтыққа берілетін кинетикалық энергияны кейіннен қысым энергиясына айналдыратын механизмге жатады.

Ортадан тепкіш сорғы негізінен корпустан және екі диск арасында орналасқан қалақшалары бар жұмыс доңғалағынан тұрады. Доңғалақ үлкен

жылдамдықпен айналады және айналу кезінде пайда болатын ортадан тепкіш күш ондағы сұйықтықты ортадан периферияға лақтырады. Бұл сұйықтық қысымдау кеңістігіне келіп құйылады, ал сәйкес сұйықтық көлемі сору кеңістігінен жұмыс доңғалағына сорылады. Осылайша үзіліссіз сұйықтық ағыны жүзеге асырылады және сол уақытта оның меншікті энергиясы өседі.

Сұйықтық резервуардан 3 (сурет 1) өзге заттардың сорғыға түсуінен қорғайтын торы 2 бар қабылдағыш клапан 1 арқылы сорылады және сорғыш құбырға 4 келеді.



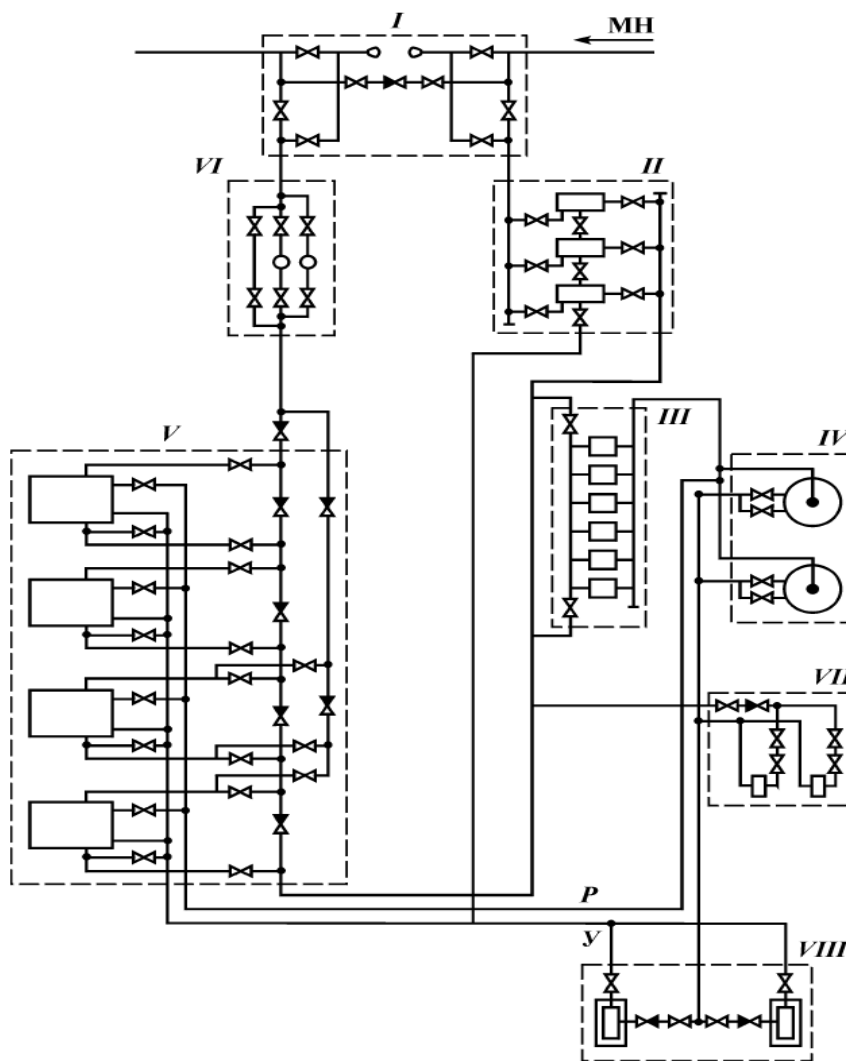
Сурет 1 – Сорғы өсінен төмен деңгейде орналасқан сұйықтықты айдайтын ортадан тепкіш сорғыны орнату сұлбасы

Бұл жерден сұйықтық сорғы камерасына, одан ары жылдам айналып жатқан жұмыс доңғалағының қалақтарына 5 келеді, мұнда сұйықтық ортадан тепкіш күш әсерінен шетке лақтырылып, спиральді камераға 6 немесе бағыттаушы аппаратқа беріледі. Сұйықтық ары қарай арынды ысырма тиек 7, кері клапан 8 және арынды құбыр 11 арқылы резервуарға 13 өтеді. Арын құбыры ұзын болғанда, қызмет көрсету ыңғайлылығы үшін резервуар жанында құбырға түпкілік ысырма тиек 12 орнатылады.

Сорғының жұмысын арын құбырында орналасқан манометр 10 және сорғыш құбырда орналасқан вакуумметр 9 арқылы қадағалайды. Поршендіге қарағанда ортадан тепкіш сорғының жұмыс басында сұйықтықты сорып алу қабілеті жоқ, себебі доңғалақтың айналу кезінде пайда болатын центрден тепкіш күш сұйықтыққа қарағанда тығыздығы аз ауаны сорғыдан және сорғыш құбырдан шығарып тастауға және қажетті сиретілуін жасауға жеткіліксіз.

Сол себепті сорғыны жүргізу алдында сорғыш құбырды және сорғы корпусын сұйықтықпен толтыру қажет. Сорғыға құйылатын сұйықтықтың резервуарға кетіп қалмауына қабылдағыш клапан 1 кедергі жасайды. Сұйықтықтың доңғалақтан лақтырылуы кезінде сорғы корпусында сиретілу болады. Атмосфералық қысымның сұйықтық бетіне әсерінен резервуарда 3 сұйықтық бағаны сорғыш құбырда қозғалысқа келеді. Осылайша қондырғы жүйесінде сұйықтықтың үзіліссіз қозғалысы іске асады.

Мұнай және мұнай өнімдерін айдау кезінде ортадан тепкіш сорғылар қондырғыларын әдетте резервуардан төмен орналастырады. Бұл жағдайда сорғыны толтыру сорғыш құбырдағы ысырма тиек ашыла салысымен автоматты түрде жүреді. Кері клапан 8 сорғының арыны арын құбырдағы қысымнан аз болған мезетте сұйықтықтың арын құбырдан насосқа келуін автоматты тоқтату үшін арналған. Кері клапан сорғы қозғалтқышының аяқ астынан жұмысын тоқтату кезіндегі апатты болдырмайды, себебі сорғы роторы арын құбырдағы сұйықтықтың статикалық арын әсерінен кері бағытта айнала бастайды.



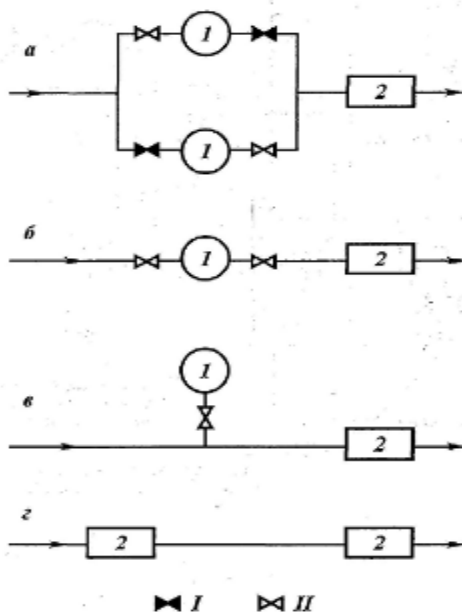
Сурет 2 – Сорғы станциясының технологиялық сұлбасы

1.2 Сорғы агрегаттары және қондырғылары

Сорғы қондырғылары келесі түрлердегі сұлбалармен жұмыс жасай алады:

- қосалқылы («ыдысқа» жұмыс), басқы немесе аралық сорғы станциясы сұйықтықты келесі ыдыстарға құйып отырады;

- әрбір сорғы станциясында орнатылған резервуар арқылы, сұйықтық алдыңғы станцияның сорғысынан құйылады да одан әрі беріледі;
- сорғыдан - сорғыға; сұйықтықты айдау өзінің құбырынан транзиттік құбыр арқылы іске асады;
- сұйықтықты айдау қосылған резервуар арқылы транзитті құбырға айдалады, резервуар буфер ролін атқарады.



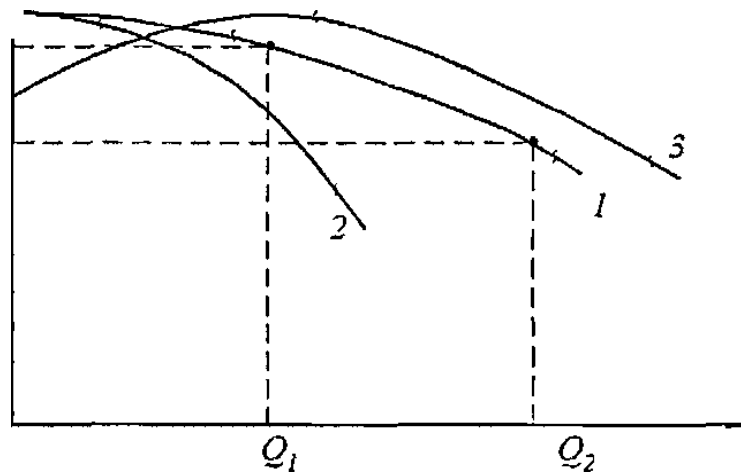
а – қосалқы; б – резервуар арқылы; в – қосылған резервуар арқылы;
 з – сорғыдан сорғыға.

Сурет 3 – Мұнай айдау технологиясының негізгі сұлбалары

СҚ жұмысының режимдерін сипаттайтын негізгі мәндер – ағын және беріліс. Белгілі бір шарттардың өзгерулері СҚ жалпы жүйесіндегі жұмыс режимдерін құрайды.

Сарғылар. Сорғылардың негізгі сипаттамаларына ағынның (H), қуаттың (P), ПӘК (η), және сорудың вакуумметриялық шегінің биіктігінің берілістен (Q) тәуелділігі.

Сорғының ағынды-шығыс $H = f(Q)$ тәуелділіктерінің түрлері келесі суретте бейнеленген. Олар еңістеу 1, тік жар 2, үздіксіз құлдылаушы 3, яғни аз беріліс кезінде – өспелі, ал беріліс үлкейгенде – төмен болады.



Сурет 4 - Сорғының ағынды – шығыс $H = f(Q)$ тәуелділіктері

Ортадан тепкіш сорғылардың ағынды – шығыс сипаттамалары квадратты парабола аймағының теңдеуімен жазылады [3]:

$$H_H = H_{III} - S_{III} Q^2,$$

мұнда H_{III} – нөлдік беріліс кезіндегі шартты беріліс, м;

S_{III} – сорғының гидравликалық шартты кедергісі, c^2/m^5 ;

Q – беріліс, m^3/c .

Сорғының эксперименталды сипаттамалары және шартты мәндері анықтама каталогтарында көрсетілген [8]. Шартты мәндердің эксперименталды тәуелділіктері келесі формулалармен берілген [9]. $H = f(Q)$ тәуелділігінің құрамалылығы ағынның шартты мәнімен бағаланады

$$H_{III}^* = \frac{H_{III}}{H_{НОМ}},$$

мұнда $H_{НОМ}$ - сорғының номиналды ағыны, ортадан тепкіш сорғылар үшін $H_{III} \approx 1,25$.

Сорғының қуаты белгілі формула бойынша [10] анықталады

$$N = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{3600 \cdot \eta},$$

мұнда ρ – сұйықтықтың тығыздығы, $кг/м^3$;

g – еркін құлдилаудың үдеуі, $м/с^2$;

Q – сорғының берілісі, $м^3/с$;

H – напор, м.

η – сорғының ПӘК, ш.б.;

N – қуат, Вт.

Жетек сорғылары. Сорғы жетектерінің орнына қозғалтқыштар қолданылады. Олардың ішінде қысқа тұйықталған роторлы, ал кей кезде фазалы роторлы асинхронды қозғалтқыштар қолданыс тапқан. 320 кВт-қа дейінгі электрлік қозғалтқыштар 220/380 В немесе 380/660 В, қуаты жоғары қозғалтқыштар үшін 6/10 кВ жасалынады.

Құбырлар. Құбыр арматуралары. Сорғы станцияларының құбырлары болат түтіктен жасалады. Сорғы құбырының арматурасы ретінде ысырмалар, бекітпелер, кері қақпақтар қолданылады. Кері қақпақтар сорғылардың тоқтауынан кейін сұйықтықтың кері өтпеуін қамтамасыз етеді. Құбырлар $H_K = f(Q)$ тәуелділігімен сипатталып, келесі теңдеумен жазылады [9]

$$H_K = H_{CK} + S_K Q^2,$$

мұнда H_K – құбырдың басындағы ағын (напор);

S_K – құбырдың гидравликалық кедергісі;

H_{CK} – геодезиялық беріліспен сұйықтықтың қабылдану айырмасымен анықталатын статикалық қысым.

Кесте 2 – Қоректендіруші сорғылардың сипаттамалары

№	Қозғалтқыштың маркасы	Қуаты P_H , кВт	Кернеу U_H , В	Айн/мин	Саны
1	2АЗМ-4000/6000У4	4000	6000	3000	8

Кесте 3 - Багерлі сорғылардың сипаттамалары

Қозғалтқыштың маркасы	Қуаты P_H , кВт	Кернеу U_H , В	Жылдамдық Айн/мин	Саны
А4-450-6	630	6000	1000	1
ДА304 450У6У1	630	6000	1000	2

Кесте 4 – Торап сорғылары қозғалтқышының сипаттамалары

Қозғалтқыштың маркасы	Қуаты P_H , кВт	Кернеу U_H , В	Жылдамдық Айн/мин	Саны
4АЗМ-160/6000УХЛ-4	1600	6000	3000	4
А4-400У-4У3	630	6000	1500	2
А4-450-4	800	6000	1500	1
ДА3012-55-4МУ1	500	6000	1500	1
ДА304-400У-4У1	630	6000	1500	1

1.1 Сорғы қондырғылары мен агрегаттарының жұмыс режимдері

Сұйықтықты қолдану тәуліктік, апталық т.б. сызба нұсқалармен сипатталады. Ол нұсқалар «бірегей емес» коэффициентімен сипатталады.

СҚ жұмыс режимдерін талдау үшін, реттелген сұйықтық беру диаграммасы қолданылады. Реттелген диаграмма ұзақ мерзімдік, мысалы, айлық, жылдық сұйықтық тұтыну мерзімін қарастырады.

Сұйықтықтың теңгерімін анықтау үшін көбіне «минималды шартты берілісті» қолданады

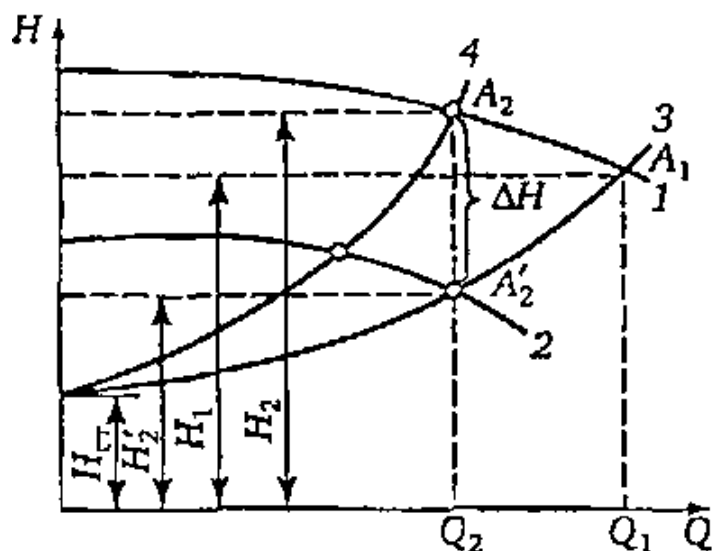
$$\lambda = \frac{Q_{MIN}}{Q_{\delta}},$$

мұнда Q_{MIN} – тәулік бойы минималды сұйықтықты берудің аз мәні;

Q_{δ} – тәулік бойы максималды сұйықтықты берудің ең көп мәні.

Сұйықтықты жіберу үрдісінде оның 15-20 % ағып кетуді немесе өнімсіз шығынды құрайды. Сондықтан СҚ тұрақтанған жұмысында ағын және беріліс өзгеріссіз болады.

Ағын және берілісті әдейі өзгерту реттеу деп аталады. Ортадан тепкіш сорғыларды реттеу, ысырмалардың ашылуына байланысты, яғни дросселдеу арқылы, немесе сорғының жұмысшы доңғалағының айналу жиілігін өзгерту арқылы іске асырылады. 2 суретте аталған реттеу әдістерінің сипаттамалары көрсетілген. Ысырмаларды ашу арқылы құбырдың гидраликалық кедергісін арттырамыз. Сипаттаманың тік жарлылығы арта түседі. 1 сорғы және 3 құбыр сипаттамасының қиылысқан A_1 жұмысшы нүктесі A_2 нүктесіне ауысады. Бұл жағдайда беріліс Q_2 күйіне дейін төмендеп, ағын H_2 күйіне дейін өседі. Ал құбырдың ағыны H_2 төмендейді. Ағынның төмендеуі ысырмалардың шығындарының ΔH әсерінен туындайды.



- 1 – номиналды айналу жиілігі кезіндегі сорғының Q-H сипаттамасы;
 2 – төмендеген айналу жиілігі кезіндегі сорғының Q-H сипаттамасы;
 3 – ысырманың толық ашық болған кезіндегі құбыр сипаттамасы;
 4 – ысырманың аз мөлшерде ашық кезіндегі сипаттамасы;
 $H_1 - Q_1$ берілісіне тең қысым; $H_{ст}$ – ағынның статикалық құраушысы
 Сурет 2 – Ортадан тепкіш сорғының жұмыс режимдерін реттеу

Сорғының айналу жиілігінің өзгерісі барысында оның қысымдық – шығын сипаттамасының да күйі өзгереді. Сорғының айналу жиілігін азайта отырып, 1 сипаттама төменге, өзіне параллель 2 күйге орналасады. A_1 жұмысшы нүктесі 3 құбыр сипаттамасынан A_2 күйіне ауысады. Сорғының ағыны A_2 күйіне дейін, ал беріліс Q_2 төмендейді.

Қажетті берілісті қамтамасыз ету үшін, бір құбырда параллель жалғанған бірнеше СҚ болуы мүмкін. Сол параллель жалғанған СҚ сипаттамалары сорғының жалпы мәндерін береді.

Екі сорғының тізбектелген жұмысында олардың бірі сұйықтықты жеберіп тұрса, бірі құбыр жүйесіне өткізіп тұрады.

Жұмысшы доңғалақтардың айнымалы айналу жиілігі кезіндегі сорғының жұмысының ерекшеліктері зор. Сорғының жұмысшы доңғалақтарының айналу жылдамдығының өзгеруі, оның жұмыс сипаттамаларының өзгеруіне әкеліп соғады. Сондай-ақ сорғы сипаттамасының орны да өзгереді. Белгілі формулалар арқылы басқа айналу жылдамдығына сорғыны есептеп көрейік

$$Q_1 / Q_2 = n_1 / n_2; \quad (1.1)$$

$$H_1 / H_2 = (n_1 / n_2)^2; \quad (1.2)$$

$$N_1 / N_2 = (n_1 / n_2)^3; \quad (1.3)$$

$$M_1 / M_2 = (n_1 / n_2)^2$$

мұнда M_1, M_2 – жұмысшы доңғалақтардың айналу жылдамдығы n_1, n_2 кезіндегі кедергі иін күші.

Сорғының ағыны және берілісі өзгерген кезде ПӘК өзгеретін болғандықтан (1.1) және (1.2) қатынасы ескерілмейді.

(1.1-1.2) формулаларын статикалық қысымның болмаған жағдайында сорғының сипаттамасын есептеуге қолданады. Егер де сорғы статикалық ағынмен жұмыс істейтін болса, n_i айналу жылдамдығы келесі теңдеулермен өрнектеледі [9,8]:

$$H_i = H_\Phi (n_i / n_{НОМ})^2 - S_\Phi Q_i^2$$

мұнда $n_{НОМ}$ – сорғының номиналды айналу жылдамдығы.

Теңдеуден көргеніміздей сорғының гидравликалық шығындары $S_\Phi Q_i^2$ жұмысшы доңғалақтардың айналу жылдамдығынан тәуелді емес.

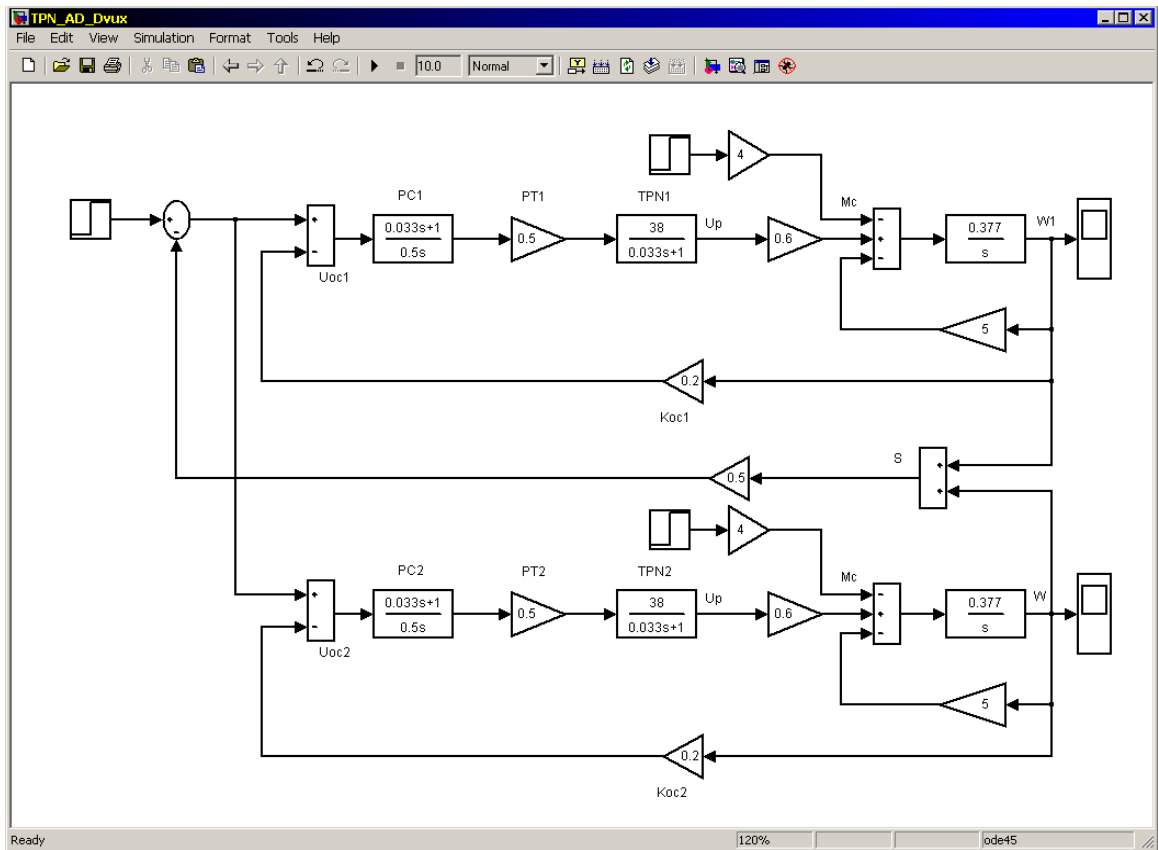
Жұмысшы доңғалақтардың айналу жылдамдығы өзгерген сайын беріліс өзгеріледі. (Q_i) берілісінің (n_i) айналу жылдамдығынан тәуелділігі келесі түрмен анықталады [19]:

$$Q_i = Q_\sigma \sqrt{\frac{(n_i / n_{НОМ})^2 - (H_n / H_\Phi)}{1 - (H_n / H_\Phi)}} \quad (1.4)$$

мұнда H_n – статикалық ағын немесе қарсы қысым ($H_n H_{СТ}$).

1.2 MATLAB жүйесіндегі айнымалы құрылымдық сұлбалы екі қозғалтқышты электржетектің математикалық жазылуы және құрылымдық сұлбасы

Айнымалы құрылымды екі қозғалтқышты электржетек жүйесінің артықшылықтарын бағалау үшін MATLAB жүйесіндегі екі қозғалтқышты электржетектің құрылымдық сұлбасын (6 сурет) қарастырайық.



6 сурет - Екі қозғалтқышты электр жетектің құрылымдық сұлбасы

2.6 суреттен көретініміз, екі қозғалтқышты электр жетек екі бірдей жылдамдық бойынша кері байланысты КТТ-АҚ жүйесінен тұратынын көреміз. КТТ-АҚ жүйесінің шығысында сигналдар қосылады (суммируются) және алынған сигнал жүйенің қосылатын элементтерінің кірісінде беріледі, мұнда берілген сигналмен салыстырылады. Сонымен қатар, бұл жүйенің динамика орнықтылығын MATLAB жүйесінде компьютерлік технология көмегімен қарастырамыз. Орнықтылықты анықтау бағдарламасы 2.7 суретте көрсетілген.

```
>> n = [0.377];
>> m = [1 0];
>> W1 = tf(n,m)
```

Transfer function:

$$0.377$$

$$s$$

```
>> Q1 = feedback(W1,[5])
```

Transfer function:

$$\frac{0.377}{s + 1.885}$$

```
>> n2 = [38*0.6];
>> m2 = [0.033 1];
>> W2 = tf(n2,m2)
```

Transfer function:

$$\frac{22.8}{0.033 s + 1}$$

```
>> n3 = [0.06 1];
>> m3 = [0.2 0];
>> W3 = tf(n3,m3)
```

Transfer function:

$$\frac{0.06 s + 1}{0.2 s}$$

```
>> G1 = Q1*W2*W3
```

Transfer function:

$$\frac{0.5157 s + 8.596}{0.0066 s^3 + 0.2124 s^2 + 0.377 s}$$

```
>> Q2 = feedback(G1,[0.3])
```

Transfer function:

$$\frac{0.5157 s + 8.596}{0.0066 s^3 + 0.2124 s^2 + 0.5317 s + 2.579}$$

```
>> G2=Q2
```

Transfer function:

$$0.5157 s + 8.596$$

$$\frac{0.0066 s^3 + 0.2124 s^2 + 0.5317 s + 2.579}{\dots}$$

>> G2=Q2

Transfer function:

$$\frac{0.5157 s + 8.596}{\dots}$$

$$\frac{0.0066 s^3 + 0.2124 s^2 + 0.5317 s + 2.579}{\dots}$$

>> S1 = parallel(Q2,G2)

Transfer function:

$$\frac{0.006808 s^4 + 0.3326 s^3 + 4.201 s^2 + 11.8 s + 44.33}{\dots}$$

$$\frac{4.356e-005 s^6 + 0.002804 s^5 + 0.05215 s^4 + 0.26 s^3}{\dots}$$

$$+ 1.378 s^2 + 2.742 s + 6.65$$

>> h1 = [0.006808 0.3326 4.201 11.8 44.33];

>> z1 = [4.356e-5 0.002804 0.05215 0.26 1.378 2.742 6.65];

>> W4 = minreal(S1)

Transfer function:

$$\frac{156.3 s + 2605}{\dots}$$

$$\frac{s^3 + 32.19 s^2 + 80.56 s + 390.7}{\dots}$$

>> P = [1 32.19 80.56 390.7];

>> r = roots(P)

r =

$$-29.9348$$

$$-1.1276 + 3.4322i$$

$$-1.1276 - 3.4322i.$$

7 - Жылдамдық бойынша кері байланысты КТТ-АҚ жүйесімен екіқозғалтқышты электр жетектің қозғалыс орнықтылығын анықтау бағдарламасы

Сипаттамалық теңдеудің түбірі $s^3 + 32.19 s^2 + 80.56 s + 390.7=0$ теріс мәнді бөліктің түбірі болып табылады - екіқозғалтқышты электр жетектің қозғалысы орнықты.

1.3 Кернеуді тиристорлы түрлендіргішті системалы екі қозғалтқышты электржетегінің өтпелі процесстерінің математикалық сипаттамасы

КТТ-АҚ-тың алғашқы системасы үшін жылдамдық динамикасы теңдеуі келесі түрде болады:

$$\frac{d\Delta\omega_1}{dt} = \frac{k_u}{I} - \Delta U_1 - \frac{k_\omega}{I} \Delta\omega_1. \quad (1.5)$$

$\Delta U_1 = k_{\text{ПН}} k_{\text{РТ}} \Delta\Delta U_{\text{РС}}$, болғандықтан түзетуші буынның (ПП реттегіш) дифференциалды теңдеуін ескере отырып $d\Delta U_1/dt$ туындысын келесі түрде жазуға болады :

$$\begin{aligned} \frac{dU_1}{dt} = & \frac{k_{\text{ПН}} k_{\text{РТ}2}}{T_2} \Delta U_{3\text{С}} - \frac{T_1 k_{\text{ОС}1} k_u k_{\text{ПН}1} k_{\text{РТ}1}}{T_2 I_1} \Delta U_1 - \\ & \left(\frac{k_{\text{ОС}1} k_{\text{ПН}} k_{\text{РТ}}}{T_2} - \frac{T_1 k_\omega k_{\text{ОС}1} k_{\text{ПН}} k_{\text{РТ}}}{T_2 I_1} \right) \Delta\omega_1, \end{aligned} \quad (1.6)$$

КТТ-АҚ-тың екінші системасы үшін (екінші система бірінші системаға ұқсас) дифференциалды теңдеуі келесі түрде болады:

$$\frac{d\Delta\omega_2}{dt} = \frac{k_u}{I_2} \Delta U_2 - \frac{k_\omega}{I_2} \Delta\omega_2; \quad (1.7)$$

$$\begin{aligned} \frac{d\Delta U_2}{dt} = & \frac{k_{\text{ПН}1} k_{\text{РТ}2}}{T_2} \Delta U_{3\text{С}} - \frac{T_1 k_{\text{ОС}1} k_u k_{\text{ПН}1} k_{\text{РТ}1}}{T_2 I_1} \Delta U_2 - \\ & \left(\frac{k_{\text{ОС}2} k_{\text{ПН}2} k_{\text{РТ}2}}{T_2} - \frac{T_1 k_\omega k_{\text{ОС}2} k_{\text{ПН}2} k_{\text{РТ}2}}{T_2 I} \right) \Delta\omega_2, \end{aligned} \quad (1.8)$$

Айнымалылар кезінде 1.5, 1.6, 1.7 және 1.8 теңдеулерінің оң жақ бөліктерін келесі түрде белгілейік:

$$\begin{aligned} a_1 &= \frac{k_u}{I_1}; & a_2 &= \frac{k_{\omega 1}}{I_1}; \\ a_3 &= \frac{k_{\text{ПН}} k_{\text{РТ}1}}{T_2}; & a_4 &= \frac{T_1 k_{\text{ОС}1} k_u k_{\text{ПН}1} k_{\text{РТ}1}}{T_2}; \\ U &= \left(\frac{k_{\text{ОС}1} k_{\text{ПН}1} k_{\text{РТ}1}}{T_2} - \frac{T_1 k_\omega k_{\text{ОС}1} k_{\text{ПН}1} k_{\text{РТ}1}}{T_2 I_1} \right); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
a_6 &= \frac{k_{u2}}{I_2}; & a_7 &= \frac{k_{\omega}}{I_2}; \\
a_8 &= \frac{k_{\Pi\Pi}k_{PT}}{T_2}; & a_9 &= \frac{T_1k_{\omega}k_{OC2}k_{\Pi\Pi}k_{PT}}{T_2I_2}; \\
a_{10} &= \left(\frac{k_{OC2}k_{\Pi\Pi}k_{PT}}{T_2} - \frac{T_1k_{\omega}k_{OC2}k_{\Pi\Pi}k_{PT}}{T_2I_1} \right);
\end{aligned} \tag{1.9}$$

мұнда T_1 және T_2 - табыстама функциялы жылдамдық реттегішінің уақыт тұрақтысы:

$$W_{PC}(P) = \frac{T_1P + 1}{T_2P}; \quad P = \frac{d}{dt}. \tag{1.10}$$

Екіқозғалтқышты электржетек динамикасын сипаттайтын дифференциалдық теңдеулер системасын келесі түрде жазамыз:

$$\begin{aligned}
\frac{d\Delta\omega_1}{dt} &= a_1\Delta U_1 - a_2\Delta\omega_1; \\
\frac{d\Delta U_1}{dt} &= a_3\Delta U_{3.C} - a_4\Delta U_1 - a_5\Delta\omega_1; \\
\frac{d\Delta\omega_2}{dt} &= a_6\Delta U_2 - a_7\Delta\omega_2; \\
\frac{d\Delta U_2}{dt} &= a_8\Delta U_{3.C} - a_9\Delta U_1 - a_{10}\Delta\omega_2;
\end{aligned} \tag{1.11}$$

немесе

$$\begin{aligned}
\frac{dx_1}{dt} &= a_1x_2 - a_2x_1; \\
\frac{dx_2}{dt} &= a_3U - a_4x_2 - a_5x_1; \\
\frac{dx_3}{dt} &= a_6x_4 - a_7x_3; \\
\frac{dx_4}{dt} &= a_8U - a_9x_4 - a_{10}x_3;
\end{aligned} \tag{1.12}$$

мұнда $x_1 = \Delta\omega_1$; $x_2 = \Delta U_1$; $x_3 = \Delta\omega_2$; $x_4 = \Delta U_2$; $U = \Delta U_{3.C}$.

Айнымалы құрылымды регулятор құрамының синтезі есебін шешуді жеңілдету үшін (1.12) -дің алғашқы екі теңдеуін келесі түрге өзгертеміз:

(1.12)-дің екінші теңдеуін a_4 -ке бөлеміз, сонда

$$\frac{1}{a_4} \frac{dx_2}{dt} + x_2 = \frac{a_3}{a_4} U - \frac{a_5}{a_4} x_1, \quad (1.13)$$

$P = d/dt$ кезінде (1.13) теңдеуі болады

$$\left(\frac{1}{a_4} P + 1\right)x_2 = \frac{a_3}{a_4} U - \frac{a_5}{a_4} x_1,$$

Бұдан

$$x_2 = \frac{(a_3/a_4)U - (a_5/a_4)x_1}{((1/a_4)P + 1)}, \quad (1.14)$$

алынған x_2 -ні (1.12) бірінші теңдеуге қойып, келесіні аламыз:

$$\frac{dx_1}{dt} = a_1 \left[\frac{(a_3/a_4)U - (a_5/a_4)x_1}{((1/a_4)P + 1)} \right] - a_2 x_1; \quad (1.15)$$

немесе

$$\frac{dx_1}{dt} = \frac{1}{a_4} \frac{(a_1 a_3 U - a_1 a_5 x_1)}{((1/a_4)P + 1)} - a_2 x_1; \quad (1.16)$$

немесе

$$a_4 \frac{dx_1}{dt} = \frac{1}{a_4} \frac{a_1 a_3 U - a_1 a_5 x_1}{((1/a_4)P + 1)} - a_2 a_4 x_1; \quad (1.17)$$

Алынған теңдеудің оң және сол жағын $((1/a_4)P + 1)$ -ге көбейтіп, келесіні аламыз:

$$\frac{d^2 x_1}{dt^2} + a_4 \frac{dx_1}{dt} = a_1 a_3 U - a_1 a_5 x_1 - a_2 \frac{dx_1}{dt} - a_2 a_4 x_1; \quad (1.18)$$

немесе

$$\frac{d^2 x_1}{dt^2} + (a_2 + a_4) \frac{dx_1}{dt} + (a_1 a_5 + a_2 a_4) x_1 = a_1 a_3 U. \quad (1.19)$$

Алынған дифференциалдық теңдеуді бірінші тәртіпті теңдеу синтезі деп ойлайық:

$$\frac{dx_1}{dt} = y_1,$$

$$\frac{dy_1}{dt} = b_1 U - b_2 y_1 - b_3 x_1, \quad (1.20)$$

мұнда $b_1 = a_1 a_3$; $b_2 = (a_2 + a_4)$; $b_3 = (a_1 a_5 + a_2 a_4)$.

(1.11) системасының үшінші және төртінші теңдеулерінің қорытындысы ұқсас, сондықтан төртінші теңдеуді a_9 -ға бөліп келесіні жазайық:

$$\frac{1}{a_9} \frac{dx_4}{dt} = \frac{a_8}{a_9} U - x_4 - \frac{a_{10}}{a_9} x_3, \quad (1.21)$$

$P = d/dt$ болғанда теңдеу келесі түрді иемденеді:

$$\left(\frac{1}{a_9} P + 1\right)x_4 = \frac{a_8}{a_9} U - \frac{a_{10}}{a_9} x_3, \quad (1.22)$$

немесе

$$x_4 = \frac{(a_8 / a_9)U - (a_{10} / a_9)x_3}{\left(\frac{1}{a_9} P + 1\right)}. \quad (1.23)$$

x_4 -ті системасының үшінші теңдеуіне қояйық

$$a_9 \frac{dx_3}{dt} = \frac{(a_6 a_8 U - a_6 a_{10} x_3)}{\left(\frac{1}{a_9} P + 1\right)} - a_7 a_9 x_3 \quad (1.24)$$

Алынған теңдеудің оң және сол жақтарын $\left(\frac{1}{a_9} P + 1\right)$ -ге көбейтіп келесіні аламыз:

$$\frac{d^2 x_3}{dt^2} + a_9 \frac{dx_3}{dt} = a_6 a_8 U - a_6 a_{10} x_3 - a_7 \frac{dx_3}{dt} - a_7 a_9 x_3 \quad (1.25)$$

немесе

$$\frac{d^2 x_3}{dt^2} + (a_7 + a_9) \frac{dx_3}{dt} + (a_6 a_{10} + a_7 a_9) x_3 = a_6 a_8 U \quad (1.26)$$

Алынған (1.26) теңдеуін бірінші ретті теңдеу системасы түрінде жазайық:

$$\frac{dx_3}{dt} = y_2,$$

$$\frac{dy_2}{dt} = b_4 U - b_5 y_2 - b_6 x_3, \quad (1.27)$$

мұнда $b_4 = a_6 a_8$; $b_5 = (a_7 + a_9)$; $b_6 = a_6 a_{10} + a_7 a_9$;

КТТ-АҚ системалы екіқозғалтқышты асинхронды электржетегі моделінің құрылымдық схемасына сәйкес, $\varphi = (x_1 + x_3)$, қосындысы болып келетін жаңа айнымалыны еңгіземіз. Оның туындысы былай жазылады:

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{dx_1}{dt} + \frac{dx_3}{dt} = y_1 + y_2. \quad (1.28)$$

φ айнымалысының екінші туындысы келесі түрде болады:

$$\frac{d^2 \varphi}{dt^2} = \frac{dy_1}{dt} + \frac{dy_2}{dt}. \quad (1.29)$$

dy_1/dt және dy_2/dt теңдеулерінің орнына (1.20) және (1.27) қойып, және $b_1 = b_4$, $b_2 = b_5$, $b_3 = b_6$, деп есептеп дифференциал болады:

$$\frac{d^2 \varphi}{dt^2} + 2b_2 \frac{d\varphi}{dt} + 2b_3 \varphi = 2b_1 U, \quad (1.30)$$

мұны теңдеу системасы түрінде көрсетуге болады:

$$\frac{d\varphi}{dt} = z$$

$$\frac{dz}{dt} = 2b_1 U - 2b_2 z - 2b_3 \varphi, \quad (1.31)$$

мұнда $z = d\varphi/dt$.

КТТ-АҚ-ты ДАЭП үшін айнымалы құрамды синтез түзеткіші[] негізінде жүргізіледі.

(1.31) теңдеулер системасын қойылған есепті шешу үшін йңғайлы түрде жазайық. (1.31) дифференциалды теңдеулер системасы келесі түрде болады:

$$\frac{d\varphi}{dt} = z$$

$$\frac{dz}{dt} = 2b_1q - 2b_2z - 2b_3\varphi,$$

$$\frac{dq}{dt} = U. \quad (1.32)$$

$S(\varphi, z, q)$ гиперүстүлүкті келесі түрде таңдаймыз:

$$S(\varphi, z, q) = c_1\varphi + c_2z + c_3q, \quad (1.33)$$

мұнда c_3 коэффициентін қарапайымдылық үшін ($c_3=1$) бірге тең деп алайық, ал c_1 және c_2 коэффициенттерін сырғу гипержазықтығын кеңістікте симметриялау шартынан алайық: $c_1 = c_2 = c$; $c > 0$.

Бұл жағдайда (1.34) теңдеуі келесі түрде жазлады:

$$S(\varphi, z, q) = c\varphi + c z + q. \quad (1.34)$$

(1.32) және (1.34) системаларын ескере отырып, $ds(x_1, x_2, x_3)/dt$, уақыт бойынша толық туынды келесі түрде болады:

$$\begin{aligned} \frac{ds}{dt} &= \frac{ds}{dx_1} \frac{d\varphi}{dt} + \frac{ds}{dx_2} \frac{dz}{dt} + \frac{ds}{dx_3} \frac{dq}{dt} = \\ & cz + c(2b_1q - 2b_2z - 2b_3\varphi) + U. \end{aligned} \quad (1.35)$$

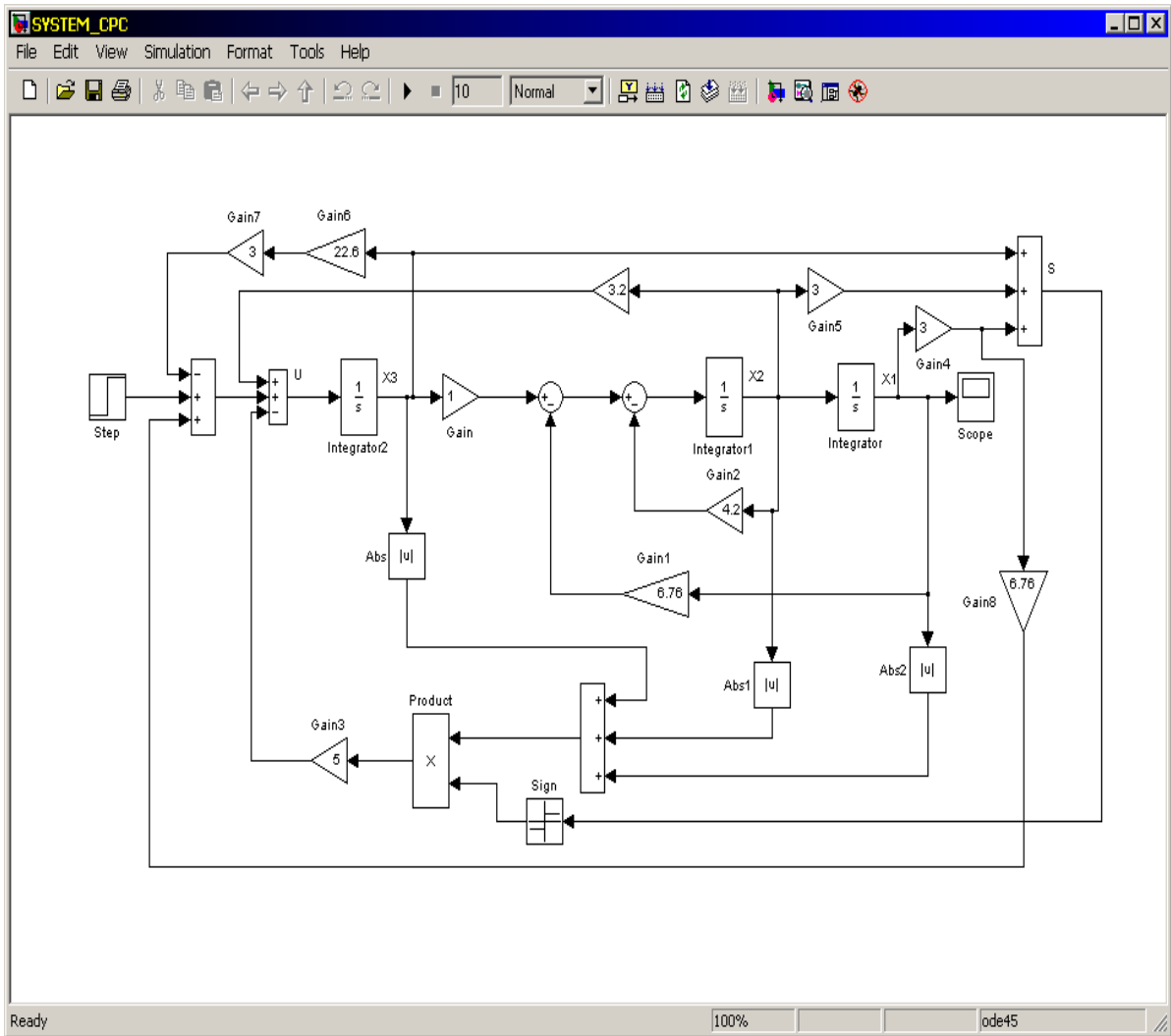
Бірақ, []-қа сәйкес, ds/dt - толық туындыны келесі түрде жазуға болады:

$$\frac{ds}{dt} = -k(|\varphi| + |z| + |q|)signS. \quad (1.36)$$

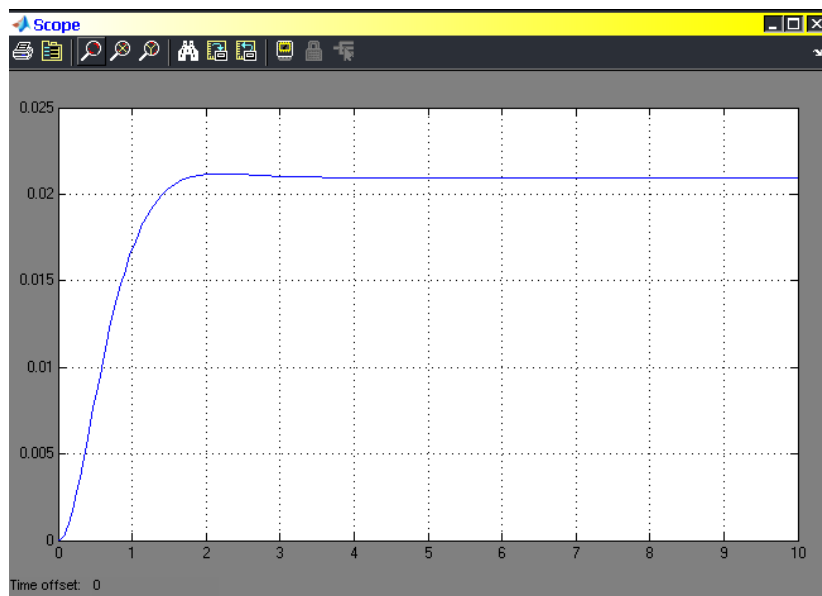
(1.35)-ды (1.36)-ға қоя отырып, КТТ-АҚ-ты ДАЭП басқару заңына теңдеу табамыз. Теңдеулер заңы келесі түрде болады:

$$\begin{aligned} U &= -k(|\varphi| + |z| + |q|)signS - cz - 2cb_1q + 2cb_2z + 2cb_3\varphi = \\ & -k(|\varphi| + |z| + |q|)signS + c2b_3 + c(2b_2 - 1)z - c2b_1q. \end{aligned} \quad (1.37)$$

Алынған (1.37) басқаруға сәйкес айнымалы системалы регуляторлы екіқозғалтқышты электржетегінің құрылымы көрсетілген (8 сурет).

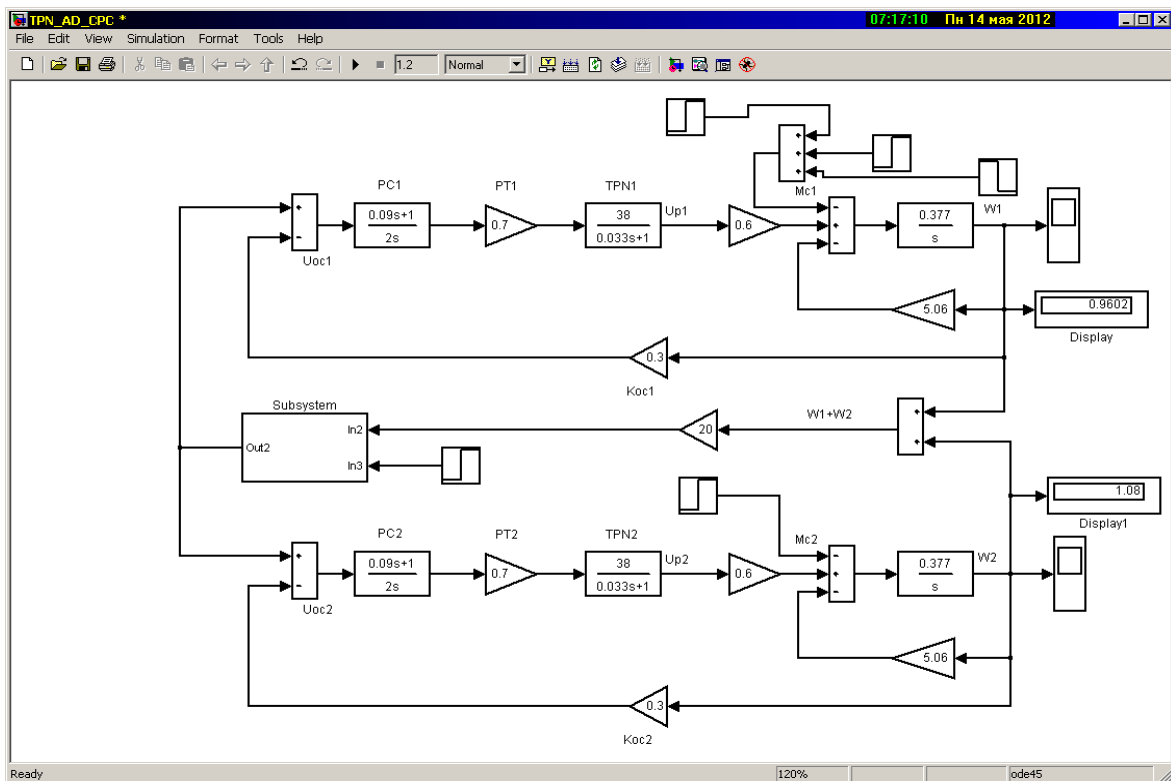


8 сурет - Айнымалы системалы регуляторлы екіқозғалтқышты электржетегінің құрылымы

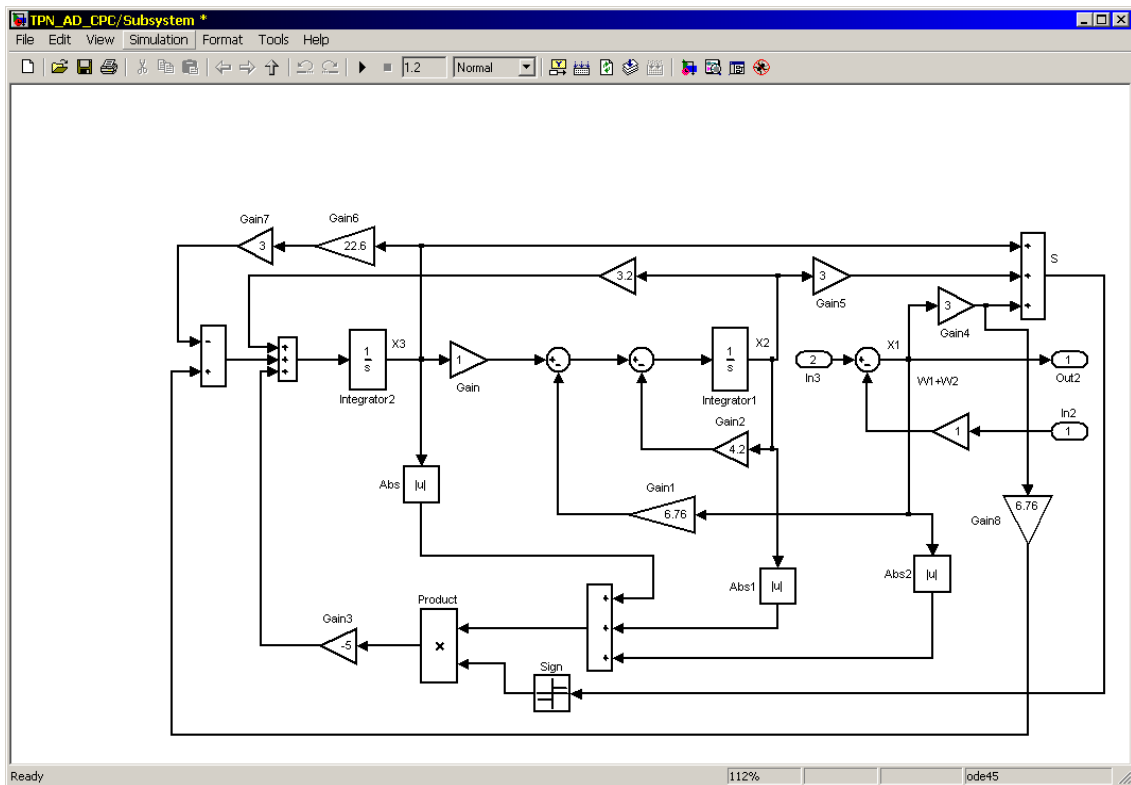


9 сурет – Жылдамдықтың өтпелі процесі

Айнымалы құрылымды басқару системалары

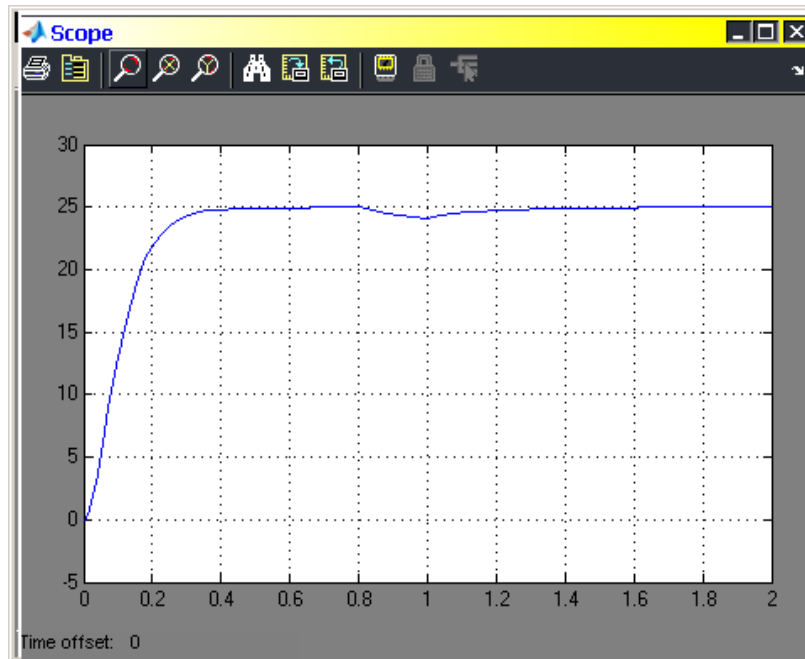


10 сурет - Айнымалы құрылымды басқару жүйелерінің сызбасы

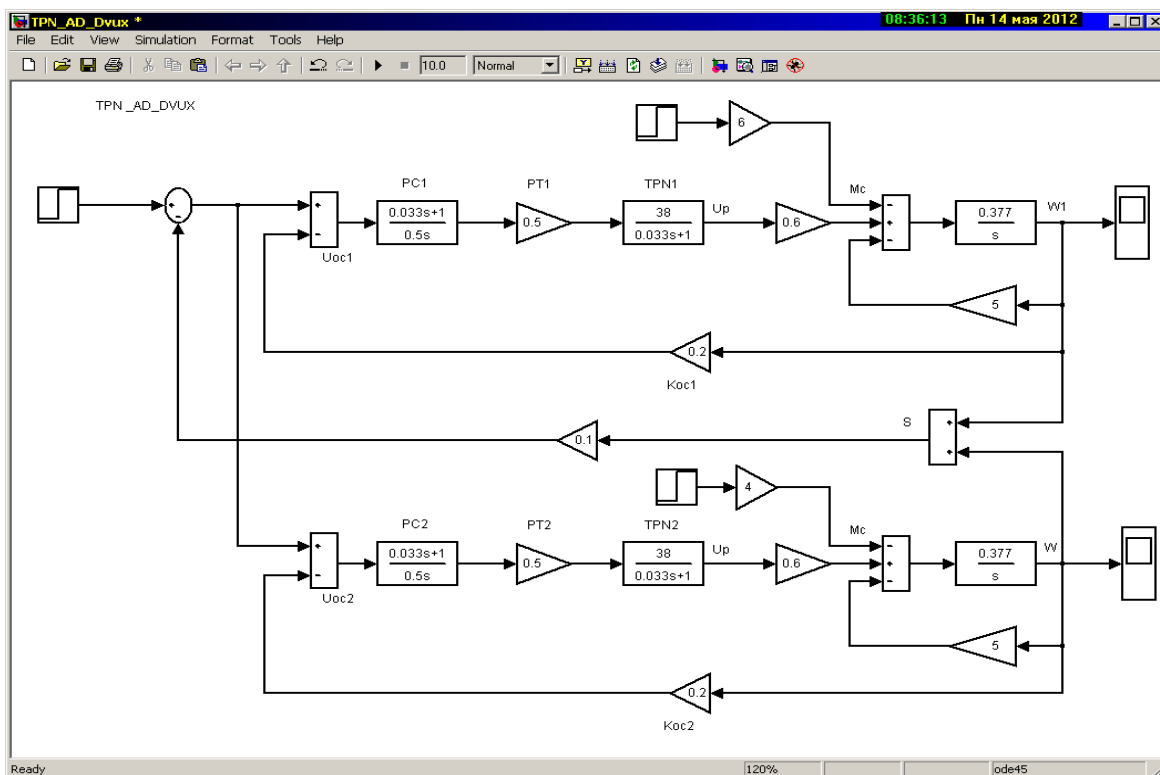


11 – Айнымалы құрылымдық жүйеасты

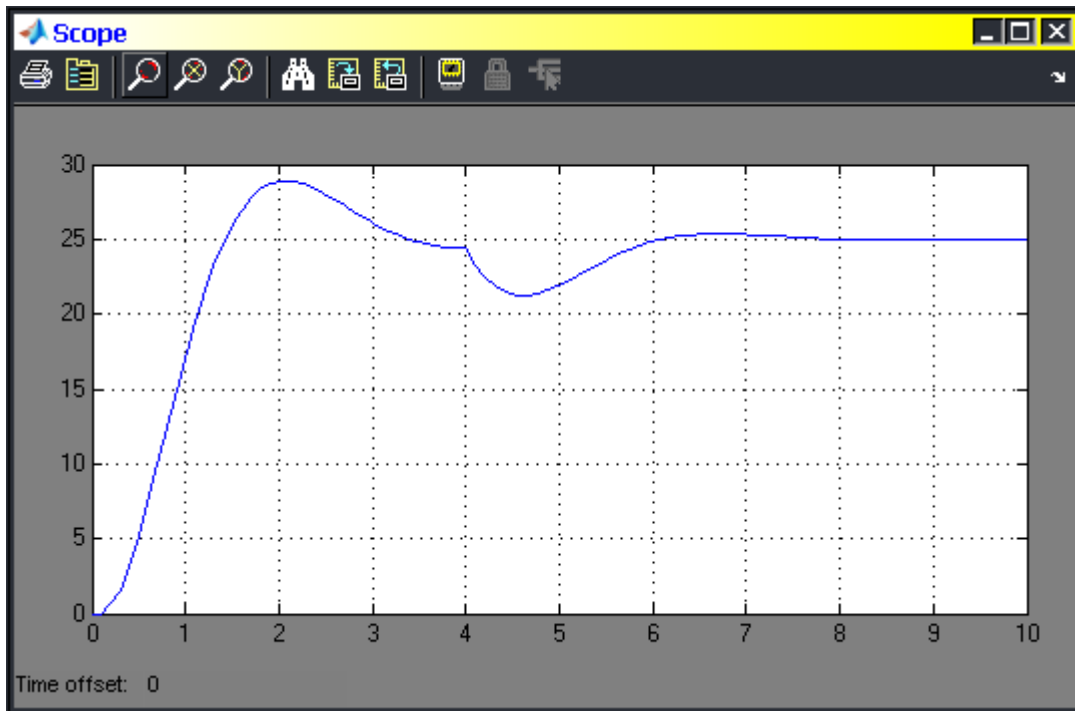
Алынған басқару алгоритмі (сур) модульді алу операциясын және и белгіні игеру (sign). Бұлар цифорлы техника элементтері көмегімен жүзеге асырыла алады.



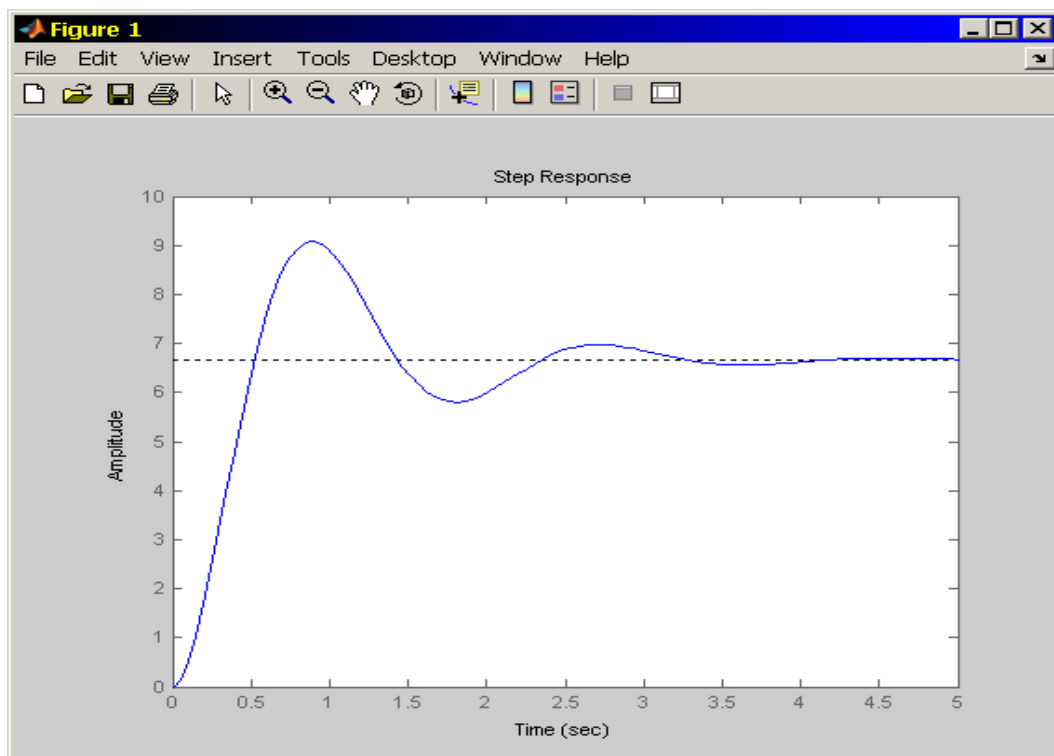
12 сурет – Бірінші қозғалтқыш жылдамдығынын өтпелі процесі



13 сурет - MATLAB жүйесіндегі екі қозғалтқышты электржетектің құрылымдық сұлбасы



14 сурет – Бірінші қозғалтқыш жылдамдығынын өтпелі процесі



15 сурет - Жылдамдықтың өтпелі процесі

Қайта реттеу, реттеу уақыты және тербелу саны төмендегі берілгендермен сәйкес болады:

Қайта реттеум $\sigma = 35,8 \%$, реттеу уақыты $t = 2,5$ с. құрайды және тербелу саны бірге тең болады, яғни бір тербеліс.

Жоғарыда көрсетілген негіздермен екіқозғалтқышты электр жетек жылдамдығын орнықтылау (бір қалыпты) үшін [4,5] негізінде осы жүйеде басқару үшін айнымалы құрылымды реттеуішті синтездеуді қарастырамыз. Осыған байланысты, алдымен, КТТ –АҚ жүйелі екіқозғалтқышты электр жетектің ауыспалы процесінің математикалық жазылуын құрайық.

Екі қозғалтқышты электр жетекті кеңінен пайдалану артықшылық қатарымен қамтамасыз етіледі:

1) екі қозғалтқыштың қуатын қосқанда инерция моменті аз, сол айналу жылдамдығы кезінде бір электр машина қуатына тең. Екі қозғалтқышты электр жетектің инерция моментін азайту құрылғының динамикалық қасиетін жақсартады, оның шапшаңдығын жоғарылатады;

2) 50% резервті қамтамасыз ету. Екі қозғалтқышты электр жетектің машинасының біреуі бағытынан (ағыс) шығып кеткен кезде, кейбір механизмдер үшін болады, пайдалы жүктеме немесе қозғалыс жылдамдығын азайту есебінен аз өнімділікті жұмысты қамтамасыз етеді;

3) кейбір жағдайларда екі қозғалтқышты электр жетек, қарапайым басқару сұлбасы кезінде бір қозғалтқышты электр жетекте ала алмайды, қажетті механикалық сипаттамаларды алуға мүмкіндік береді.

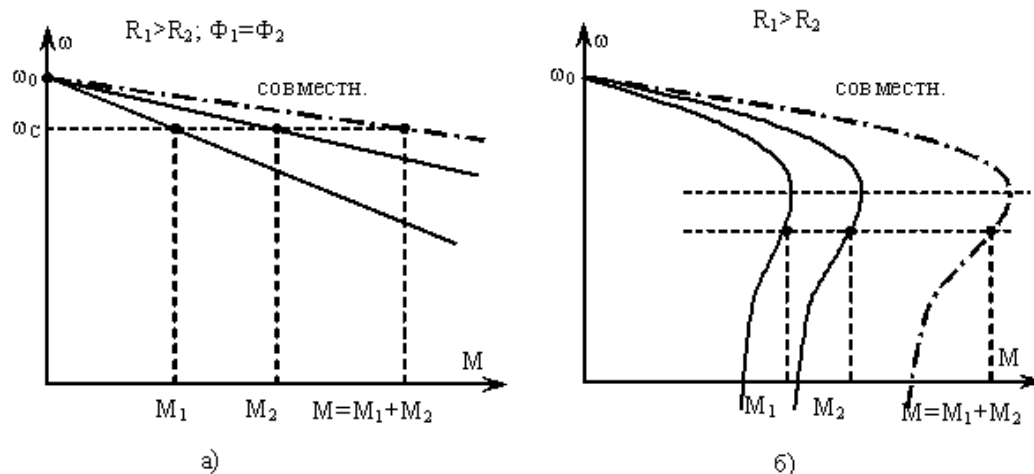
Екі қозғалтқышты электр жетектің кемшілігі:

1) қоректенетін торапқа тізбектеле немесе параллель қосқан кезде де электр машинасының байланыстыру (қосу) сұлбасы күрделене түседі (қиындау болады);

2) екі қозғалтқыштардың арасында біртекті емес жүктеме таралуының пайда болуы мүмкін.

Біртекті емес жүктеме таралудың болу себебі бірдей катодтық негіздерге ие, қозғалтқыш параметрлерінде айырмашылықтың болуы. Электр машиналарды шығаруда параметрлердің аталған технологиялық шашылуы (байланыссыз, тарқалу) зәкір шынжырының орамалар кедергісінде және қоздыру шынжырында айырмашылықтардың болуына, яғни магнит ағынының өзгеруіне әкеп соқтырады. Машинаның магниттік шынжырында саңылауларды өлшегенде қоздыру ағыны да өзгереді. Щетканы (электр машинасының якорына, коллекторына жанасып, ток беруге арналған сақина) нейтралмен араластыру (қосу), сондай-ақ әр түрлі щетка түрлерін қолдану электр машиналардың параметрлерінің өзгеруіне әкеп соқтырады. Кез келген өзгеріс және екі машинаның $R_{\text{я}}$ немесе Φ сәйкес болмауы оның механикалық сипаттамаларының қатаңдығын өзгеруіне, нәтижесінде жүктемелер таралуының біртекті болмауына апарып соқтырады. Осы біртекті еместілікті бір-бірімен ортақ білікпен байланысқан, екі электр машинаның аталмыш ортақ механикалық сипаттамасы бойынша анықтауға болады. Ортақ механикалық сипаттама бір және сол жылдамдық кезінде әр машиналар моментінің қосындысы (сумма) бойынша тұрғызылады. 16 суретте әуелсіз

қоздырғышты екі қозғалтқыштың (16, а сурет) және асинхронды қозғалтқыштың (16, б сурет) ортақ механикалық сипаттамасы көрсетілген.



16 сурет - Екі қозғалтқыштың және асинхронды қозғалтқыштың ортақ механикалық сипаттамасы

2 Тиімді басқару әдістері

2.1 Вариациялы есептеудің классикалық әдісі

Тиімді басқару міндетін сапаның кейбір критеріінің экстремалды мәнін (максимум немесе минимум) іздестіру міндеті түрінде қарастыруға болады[1]. Экстремалды табудың математикалық аппараты вариациялық есептеу болып табылады. Берілген мәннен $x(t)$ реттелетін шаманың $x(t)$ орташа квадратты ауытқуы бойынша реттеу үрдісінің сапасы келесі түрде жазылады

$$J = \int_t^{t_k} (x(t) - x_0(t))^2 dt \quad (2.1)$$

Бұл теңдеуді, өзі де уақыт функциясы болып табылатын, реттелетін шаманың қандай да бір функциясы деп қарастыруға болады, сондықтан сапаның қабылданған критеріі функцияның функциясы болып табылады және оны функционал деп атайды. Вариациялық есептеу міндеті осылай жүзеге асырылатын функцияны $x(t)$ табуға келіп тіреледі, бұнда функционал экстремалды мәнге ие болады. Өз кезегінде өтпелі үрдістің $x(t)$ сипаты реттелетін жүйедегі басқару заңын таңдап алумен анықталады. Функционал J экстремалды мәнге ие болатын басқару заңын тиімді деп атау қабылданған. Тиімді басқаруды іздеу міндетінің әр түрлі мағынасы болуы мүмкін. Мысалы,

бекітілген уақыт $t_k - t_0$ жетек жүйесін бір күйден екінші күйге түсіретін басқаруды, және бұл кезде жетектің зәкірлік тізбегіндегі электрлік шығындарды азайта отырып, іздестіруге болады. Сонда минималданатын функционал былайша жазылады:

$$J = \int_{t_0}^{t_{\text{я}}} i_{\text{я}}^2(t) r_{\text{я}} dt \quad (2.2)$$

мұнда $i_{\text{я}}$ — зәкірлі тізбектің тоғы, ал $r_{\text{я}}$ — кедергі.

Жетек жүйесі бір күйден екінші күйге азғантай уақытта ауысатындай, жылдам әрекетті тиімділік есебінде, минималданатын функционал уақыт болмақ

$$T = \int_{t_0}^{t_k} 1 dt \quad (2.3)$$

Сапаның қандай да бір критерийін таңдап алу, жетек жүйесіне қойылатын талаптарға байланысты, және оны зерттеуші жалпы физикалық түсініктерден қорытындылайды.

Бірқатар жағдайларда қабылданған функционалдың интеграл алды функциясында басқаратын жүйенің фазалық координаталары да, басқарудың өзі де болуы мүмкін. Барлық электрлік шығындарды минималдағанда, мысалы, ТП-Д типтегі жетек жүйесінде минималданатын функционал деп санауға болады:

$$J = \int_{t_0}^{t_k} (i_{\text{я}}^2(t) r_{\text{я}} + u_{\text{д}}^2 r_{\text{в.д}}) dt \quad (2.4)$$

мұнда $r_{\text{в.д}}$ - қозғалтқышты қоздыру тізбегінің кедергісі, ал u_2 - басқарушы әсер ретінде қабылданған, қозғалтқышты қоздырудың кернеуі. Жалпы жағдайда функционалдың интеграл алды функциясы басқарылатын жүйенің x_1, \dots, x_n , барлық фазалық координаталарына, басқарушы барлық әсерге және уақытқа t байланысты болады:

$$J = \int_t^t F(t, x_1, \dots, x_n, u_1, \dots, u_r) dt = \int_t^t F(t, x, u) dt \quad (2.5)$$

Вариациялық есептеудің қарапайым міндеті - келесі функционалдың мәнін минималдап, функцияны $x(t)$ табуға келіп тіреледі:

$$J = \int_{t_0}^{t_k} F(t, x, \dot{x}) dt \quad (2.6)$$

Іздестіріп отырған функция $x(t)$ үздіксіз деп, және тұрақты шегі t_0 және t_k болатын интегралдаудың барлық учаскесінде үздіксіз бірінші туындысы болады.

Бұл есептің шешімі Эйлер теңдеуін шешуге келіп тіреледі

$$\frac{\partial F}{\partial x} - \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial F}{\partial \dot{x}} \right) = 0 \quad (2.7)$$

Вариациялық есептеудің классикалық әдісінің олқы тұстарын атай кетейік:

Біріншіден, есепті шешу дифференциалды теңдеуді шешуге келіп тіреледі, бұл әдетте, сызықтық емес болып келеді;

Екіншіден, кейбір есептерде іздестіріп отырған басқарушы әсері болатын функция $x(t)$ үздіксіз және шектеусіз функциялар қатарына жатқызылуы тиіс.

Нақты есептерде басқарушы әсерге түрлі шектеулер қойылып, бірінші қатардың үзілуіне жол беріледі (мысалы, релейлі басқару). Осы шарттардың екеуі де принципіалды түрде ескерілуі мүмкін, бірақ бұл есептің шешімін күрделендіріп жібереді;

Үшіншіден, егер Эйлер теңдеуін шешу мүмкін болса да, табылған функцияның $x(t)$ функционалдың минимумына сәйкес келе ме, сол белгісіз, ал егер сәйкес келсе, онда бұл минимум абсолютті болғаны;

Төртіншіден, интеграл алды функция t, x, \dot{x} басталатын сызықтық функция болса, онда Эйлер теңдеуін құру мүмкін емес, ал есептің шешімі сол кезде болуы мүмкін.

2.2 Л.С. Понтрягинның әдісі

Шектеулі басқаруы бар және шектеулі фазалық координаталары бар есептерді шағарған кезде пайда болатын классикалық вариациялық есептеудің олқы тұстарының біршама бөлігі, академик Л.С.Понтрягин әзірлеп шығарған әдісте жоқ [1] және ол максимум принципі деп аталады.

Қарапайым дифференциалды теңдеулер жүйесі сипаттайтын, басқарушы үрдістерді қарастырайық:

$$x(t) = f_i(t, x_1, \dots, x_n, u_1, \dots, u_r); \quad (2.8)$$
$$i=1, 2, \dots, n,$$

мұнда x_i - жүйенің фазалық координаталары, u_1, \dots, u_r - басқарушы әсер, ал t - уақыт.

Басқарушы әсердың түрлі физикалық сипаты болуы мүмкін (кернеу, отынның шығыны және т.б.) және түрлі техникалық құралдармен жүзеге асырылуы мүмкін. Есепті максимум принципі арқылы шығару тұрғысынан алғанда жарамды басқарушылық деп, келесі шартқа сәйкес келетінді айтады.

Басқарудың әрбіреуі u қарастырып отырған t үшін үздіксіз, бірінші қатардың үзілуі болатын сәтке дейінгі соңғы санды есептемегенде. Бұндай басқаруды кесекті-үздіксіз деп атайды. Үздіксіз учаскесінде және басқарудың үзілу нүктелерінде тек соңғы мәндер ғана қабылданады деп саналады, және басқарудың әрбіреуіне келесі түрдегі қосымша шектеулер жүктеледі:

$$u_{j\text{ММН}} \leq u_j \leq u_{j\text{ММА}}, j=1, 2, \dots, r, \quad (2.9)$$

Немесе жалпы жағдайда

$$R_k(u_1, u_2, \dots, u_r) \leq 0, k=1, 2, \dots, s, \quad (2.10)$$

(2.9) және (2.10) түріндегі шектеулер басқару кеңістігінде басқару әсерінің жарамды мәндерінің қандай да бір саласын түзеді. Бұл салада басқару бір нүктеден екіншісіне бір қалыпты немесе секіріспен әлденеше мәрте өте алады. Ауыстырып-қосудың шексіз үлкен сандарының болуына жол берілмейді (жүзеге асырылмайды). Соған қарамастан, максимум принципін қолданғанда тиімді траекторияны алуға болады, оны дәл жүзеге асыру үшін басқарушы әсерді ауыстырып қосудың шексіз үлкен жиілігі қажет болады. Бұндай жағдайларда оны басқарушы әсерді ауыстырып қосудың соңғы жиілігіндегі жуық мәнде жүзеге асырады. Бұндай траекториялар бойымен қозғалысты сырғымалы режим деп атайды.

Максимум принципіндегі баяндалып отырған тұжырымдаудағы басқару әсері, үзілулердің (ауыстырып қосудың) бекітілген санымен беруге болмайтыны немесе солардың бірін уақытқа және жүйенің

фазалық координаталарына қатаң телуге болмайтын тұрғысынан алғанда, еркін (тәуелсіз) болуы тиіс. Сөйтіп, кесекті үздіксіздік талабы бұлардың нақты формасын немесе, бар болғаны жарамды басқару класын ғана анықтайды.

Автономды жүйені тиімді басқару туралы міндет, бар болғаны, нүктелердің көрінісін фазалық кеңістікте бір күйден (саладан) екінші күйге (салаға) ауыстырып қосуын сапаның қандай да бір критерийи минималдайтындай, басқаруларды табуға келіп тіреледі.

$$J = \int_{t_0}^{t_k} f_0(x, u) dt. \quad (2.11)$$

Басқару әсеріне жүктелген шектеулер салдарынан, фазалық кеңістіктің кез-келген нүктесі жетерлік нүкте болып табылмайды. Мысалы, $|U| \leq 1$ шартымен шектелген қозғалтқышты кернеуі кезінде тоқтың да шектеулі уақытта бірегей мәнге дейін көтерілгенін талап ету, ессіздік болар еді. Ал, тоқтың қандай да бір мәнге, үлкен бірлікке жетуін талап ету, одан асқан ессіздік болар еді. Жалпы жағдайда фазалық кеңістіктің бастапқы әрбір нүктесіне жетерлік мәндердің қандай да бір саласы сәйкес келеді, және, керісінше, одан берілген нүктеге түсуге де болады. Бұны есепті бергенде ескеру қажет және бейнелейтін нүктені жетімсіз салаға ауыстыруды талап етуге болмайды.

Енді фазалық координаталарға шектеуі болмағандағы тиімді басқарудың есептерін шығарудың әдістерін баяндауға көшейік. Жүйе (2.8) автономды деп аталады, егер оның бірінші бөлігіне уақыт t кірмейтін болса. Егер бейнелейтін нүктелердің фазалық кеңістіктегі бастапқы және соңғы орындары барлық n координаталар бойынша анықталса, онда тиімді басқару туралы есептерді бекітілген соңы бар есептер деп атайды.

Сонымен, жүйені (2.8) түрлері (2.9) немесе (2.10) шектелген жағдайда, бастапқы $x(t_0)$ орнынан соңғысына $x(t_k)$ ауыстыру керек, және бұл кезде функционалды минималдаймыз:

$$J = \int_{t_0}^{t_k} f_0(x, u) dt. \quad (2.12)$$

Берілген есепті шешетін теореманы тұжырымдаймыз.

Ең алдымен берілген жүйе (2.8) бойынша дифференциалды теңдеулердің негізгі жүйесін құрастырамыз, нөлдік фазалық координаталар ретінде минималданатын функционалдың интеграл алды функциясын енгіземіз $\dot{x}_0 = f_0(x, u)$. Негізгі жүйе келесі түрде жазылады:

$$\dot{x}_i = f_i(x, u)dt. \quad (2.13)$$

Негізгі жүйе бойынша, келесі ережені қолдана отырып, оған түйіндес жүйені құрастырамыз:

$$\dot{\psi}_i = -\sum \frac{\partial f_\alpha(x, u)}{\partial x_\eta} \psi_\alpha, \quad i = 0, 1, \dots, n, \quad (2.14)$$

мұндағы ψ_i – түйіндес жүйенің координаталары.

Түйіндес жүйенің сызықтық екенін және өз координаталарына қатысты біртекті екенін және кез-келген бастапқы жағдайда $\psi(t_0)$, егер функциялар $x(t)$ және $u(t)$ анықталса, бір ғана шешімі болатынын, айта кетейік. Бұл кезде алынатын функциялар $\psi_i(t)$, басқару әсері үзіліске ұшырайтын нүктелерден басқа, қай жерде де үздіксіз болып келеді және дифференциалданады.

Қандай да бір қосымша функцияны жазамыз $\mathfrak{R}(x, u, \psi)$, ол кейде Гамильтон функциясы деп аталады, ол келесі түрде жазылады:

$$\mathfrak{R}(x, u, \psi) = \sum_{\alpha=0}^n \psi_\alpha f_\alpha(x, u) \quad (2.15)$$

Түйіндес жүйе (2.14) және \mathfrak{R} функциясы келесі қатынаспен байланысты:

$$\dot{\psi}_i = -\frac{\partial \mathfrak{R}}{\partial x_i}, \quad i = 0, 1, \dots, n, \quad (2.16)$$

Максимум принципінің негізгі теоремасы. $u(t)$ - бейнелейтін нүктені $x(t_0)$ орнынан $x(t_n)$ орнына ауыстыратын, басқару болсын делік, ал $x(t)$ — осы басқаруға сәйкес келетін траектория. Егер басқару $u(t)$ тиімді болса, онда, $u(t)$ және $x(t)$ сәйкес келетін сондай нөлдік емес вектор-функция $\psi(t)$ табылады, бұл кезде функция \mathfrak{R} - уақыттың кез-келген сәтінде u бойынша максималды мәнге жетеді.

$$\mathfrak{R}(x(t), u(t), \psi(t)) = \text{макс} \mathfrak{R}(x(t), u(t), \psi(t)).$$

Бұл теңдеу $u(t)$ анықтау үшін де қолданыла алады, өйткені бекітілген $x(t)$ және $\psi(t)$ кез-келген t сәтінде, функция \mathfrak{R} максималды мәнге жететіндей, u таңдап алу керек.

Тиімді басқаруда функциялар $\mathfrak{R}(t)$ и $\psi_0(t)$ тұрақты болып қалып, келесі мәнге ие болады:

$$\mathfrak{R}(t) = 0, \quad a \quad \psi_0(t) \leq 0 \quad (2.17)$$

Максимум принципі басқару мен тікелей және түйіндес жүйелердің координаталары арасында байланыс орнатады. Осыған орай, есептің шешімі басқару жүйесінің фазалық траекториясы бастапқыдан $x(t_0)$ қажетті соңғы орынға $x(t_k)$ ауысатындай, түйіндес жүйенің бастапқы мәндерін таңдап алуға келіп тіреледі.

2.3 Динамикалық бағдарлама жасау әдісі

Максимум принципіне қарағанда, динамикалық бағдарлама жасау әдісі әмбебап сипатта, ол америкалық математик Р. Беллманның еңбегінде кеңінен қарастырылған [1]. Алайда, максимум принципінен айырмасы, дифференциалды теңдеулермен жазылатын, үздіксіз үрдіске арналған бұл әдістің математикалық негіздемелері жоқ. Айырым теңдеуі жағдайында динамикалық бағдарлама жасау әдісі қатаң негізделген және нәтижелі әдістердің бірі болып саналады.

Динамикалық бағдарлама жасау әдісінің негізіне келесідей «тиімділік принципі» қаланған: тиімді басқарудың, жүйенің бастапқы күйінің және бастапқы сәттегі басқарудың қандай болғанына қарамастан, келесі басқару, алдыңғы басқару нәтижесінде алынған күйге қатысты, тиімді болатындай, қасиеті бар.

Осы принципті басшылыққа алып, Беллманн, басқару қанағаттандыратындай, дербес туындылардағы дифференциалды теңдеулерді құрастырды.

Қозғалысы басқарумен сипатталатын, автономды жүйені қарастырайық:

$$\begin{aligned} \dot{x}_i &= f_i(x_1, x_2, \dots, x_n, u) = f_i(x, u), \\ i &= 1, 2, \dots, n, \end{aligned} \quad (2.18)$$

мұнда x_i - жүйенің фазалық координаталары, ал u - қандай да бір жетерлік салдағы мәнге ие болатын, басқару функциясы.

(2.18) жүйе үшін, берілген бастапқы нүктеден $x_i(t_0), i = 1, 2, \dots, n$ шығатын жүйенің қозғалысында, координатаның басында келесі функционалдың минимумына жетерлік, жарамды басқаруды табу керек, делік:

$$J(u) = \int_{t_0}^{t_K} F(x_1, \dots, x_n, u) dt = \int_{t_0}^{t_K} F(x, u) dt. \quad (2.19)$$

Қарастыруға Беллман функциясы аталатын функцияны енгіземіз

$$V(x_1, \dots, x_n) = V(x) = \min J(u) \quad (2.20)$$

оның, фазалық траекториядан басқа жердің бәрінде үздіксіз дербес туындылары бар деп аламыз:

$$\partial V / \partial x_i; i = 1, 2, \dots, n.$$

Сонда функционалдың минимумына (2.19) жеткізетін тиімді басқару u , келесі теңдеуді қанағаттандыруы тиіс болады:

$$\min_u [F(x, u) + \sum_{i=1}^n \frac{\partial V}{\partial x_i} f_i(x, u)] = 0 \quad (2.21)$$

Беллман теңдеуіне (2.21), белгілі болған функциядан V басқа, басқарудың белгісіз функциясы да u кіреді. (1.21) теңдеудің тік жақшаларында тұрған шаманы минималдау талаптарын пайдаланып, теңдеуді келесі жүйеге келтіруге болады:

$$\left. \begin{aligned} F(x, u) + \sum_{i=1}^n \frac{\partial V}{\partial x_i} f_i(x, u) &= 0; \\ \frac{\partial F(x, u)}{\partial u} + \sum_{i=1}^n \frac{\partial V}{\partial x_i} \frac{\partial f_i(x, u)}{\partial u} &= 0. \end{aligned} \right\} u = \begin{cases} +u_m, & \text{если } u(x) \geq u_m; \\ u(x), & \text{если } |u(x)| < u_m; \\ -u_m, & \text{если } u(x) \leq -u_m. \end{cases} \quad (2.22)$$

Осы теңдеулердің бірін u шамасын шығару үшін пайдалануға болады. Және бұл кезде u басқару x және $\partial V / \partial x_i$: арқылы жазылады:

$$u(x) = \varphi(x_1, \dots, x_n, \frac{\partial V}{\partial x_1}, \dots, \frac{\partial V}{\partial x_n}) \quad (2.23)$$

(2.23) бойынша табылған басқару $u(x)$ жетерлік шектен шығып кетуі де мүмкін. Сонда басқаруды шектеудің келесі ережелері бойынша тәсілдерін қолданады. Алайда, бұл тәсілді қолдану өте сақтықты қажет

етеді, өйткені (2.18) жүйенің траекториясы бөлшектерге бөлінеді, соның әрбіреуінде $V(x)$ функциясына арналған аналитикалық түрлі шамалар іздестіріледі. Бұл кезде $V(x)$ функцияның қозғалыстың бүкіл траекториясының бойында x үздіксіз болуы, өте маңызды. Кері жағдайда, табылған басқарудың бастапқы функционалды (2.19) минималдайтыны туралы айтуға ертерек болмақ. Сонымен, егер біз Беллман функциясын таба алсақ, онда тиімді басқару басқарылатын жүйенің фазалық координаталары арқылы табылатыны анық.

Динамикалық бағдарлама жасау әдісінің конструктивті құндылығы осында жатыр. Алайда, тек қана азғантай есептер үшін $V(x)$ функцияның түрін көрсетуге болады. Ол аздай, оның дифференциалданатыны туралы болжам, әдетте, есептің берілуінен шығады, және оны қозғалыс теңдеуі арқылы тексеру мүмкін емес.

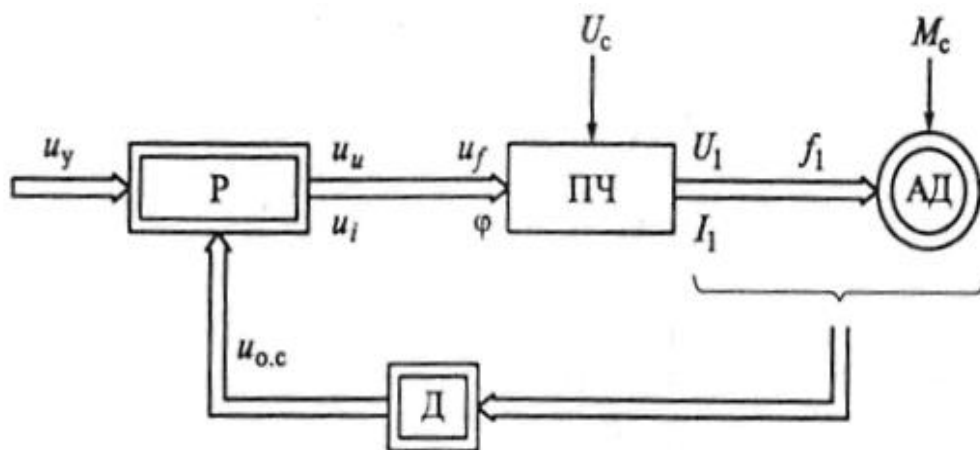
Сызықтық жүйелерді тиімді басқарудың есептерін шешуге арналған динамикалық бағдарлама жасау әдісін қолдану, басқару сапасын координаталар мен басқару әсерінен шығатын квадратты функционал түрінде бағалаған кезде ғана, жақсы нәтижелер бермек. Бұл жағдайда Беллман функциясының түрі тез орнатылып, осы функция мен тиімді басқарудың арасындағы қарапайым байланыс табылады.

2.4 ЖТ-АҚ жүйесі бар көп қозғалтқышты асинхронды электр жетекпен тиімді басқаруды әзірлеу

2.4.1 Бір контурлы асинхронды электр жетектің өтпелі үрдісін математикалық суреттеу

Айнымалы тоқтың электр жетегінің жақсы тенденциясы өнеркәсіптің түрлі саласында асинхронды қозғалтқыштарды кеңінен қолдану болып табылады. Асинхронды қозғалтқыштар техникалық тұрғыдан қарапайым және пайдаланғанда сенімді жұмыс істейді, өте үлкен жылдамдықта және температурада жұмыс істей алады, салмағы, көлемі мен құны да азғантай [2]. Кернеуді және жиілікті басқарылатын түрлендірушілерді жасау есебінен асинхронды электр жетектерді реттеу жүйелері мен мүмкіндіктері де кеңейе түсуде. АҚ статорындағы кернеудің өзгерісі оның электр магнитті сәтінің өзгерісіне ұшыратады, соның нәтижесінде, қозғалтқыштың бұрыштық жылдамдығы да өзгереді. Асинхронды электр жетектің ажыратылған жүйесінде жылдамдықты бұлай реттеудің тиімділігі қозғалтқыш жұмысының орнықты режимінің азғантай диапазонмен шектелген.

Асинхронды жиілікті - реттелетін электр жетектің қажетті статикалық және динамикалық қасиеттерін, тек қана оның координаталарын реттеудің тұйық жүйесінде ғана қалыптастыруға болады. Бұндай жүйенің жалпыланған функционалды сұлбасында (17 сурет) АҚ мен жиіліктің басқарылатын түрлендіруінен өзге (ПЧ) ауыспалы электр жетектің реттегіштері (Р) мен датчиктері (Д) болады.

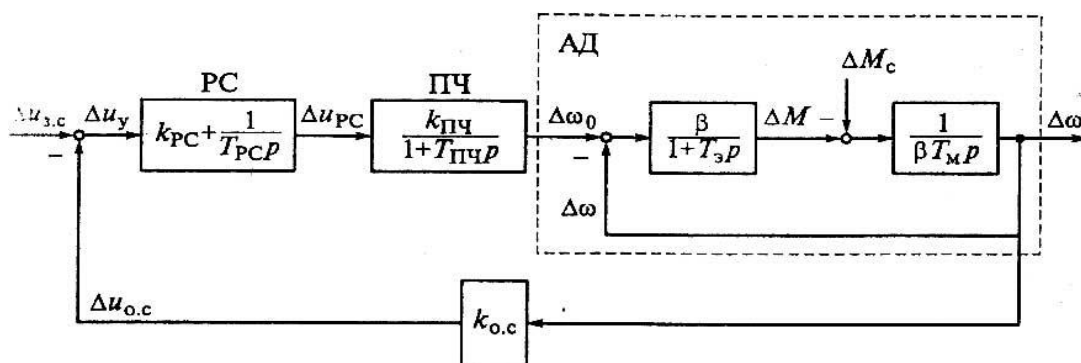


Р- реттегіш; Д- ауыспалы электр жетектің датчигі; ПЧ- жиілікті түрлендіргіш; АД – асинхронды қозғалтқыш.

17 сурет - ЖТ-АҚ тұйық жүйесінің функционалды сұлбасы

Реттегіштердің кіре берісіндегі басқарушы u_y әсер электр жетектің кез-келген координаталарының тапсырма сигналдары бола алады – жылдамдық, АҚ ротор айналым бұрышы, статор тоғы, магнитті ағын және т.б. Асинхронды қозғалтқыштың білігіне кедергі күштерінің M_c сәті немесе желіні қоректендіретін u_c электр жетектің кернеуінің ауытқуы электр жетекке қоздырушы әсер ете алады. Датчиктердің кіріс сигналы, оларды тікелей өлшеуге арналған (жиілігін, кернеуді және статор тоғын, ротордың жылдамдығын, асинхронды қозғалтқыштағы ауа саңылауындағы магнитті ағынды) немесе асинхронды қозғалтқыштың математикалық үлгісін қолдана отырып, есептеу арқылы анықталатын, асинхронды қозғалтқыштың ауыспалы тоғы бола алады. Басқарушы әсерге тәуелді реттегіштердің шығыс сигналдары, кері байланыс $u_{o.c}$ сигналдары және реттеудің қабылданған алгоритмдері, жиілікті басқару сигналдары, шығыс кернеуі u_u және жиілікті түрлендіретін u_i тоқ болып табылады. Алайда, АҚ жылдамдығын реттеудің шектеулі диапазонында және дәлдігі жоғары болмағанда, ең тиімдісі, техникалық талаптарға қарай, кері байланыстың әр түрін пайдалану болып табылады, мысалы: жылдамдығы бойынша, кернеу мен АҚ статорының тоғы бойынша. Жылдамдығы бойынша кері байланыстың теріс мәнін енгізу

арқылы, АҚ жылдамдығы бойынша реттеу диапазонын арттыруға болады. Көп қозғалтқышты асинхронды электр жетектің өтпелі үрдісінің математикалық сипаттамасын (МАЭП) қарастырмас бұрын, жиілікті түрлендіргіш асинхронды электр жетектің - асинхронды электр жетек (ЖТ-АҚ) жылдамдығы бойынша кері байланысы бар математикалық сипаттамасын қарастырайық, өйткені МАЭП ұқсас асинхронды электр жетектерден тұрады. Жылдамдығы бойынша кері байланысы бар ЖТ-АҚ линейланған жүйенің құрылымдық сұлбасы [2] 18 суретте көрсетілген.



18 сурет

Сұлбада (2.2 сурет) келесі белгілеулер қабылданған:

β - линейланған механикалық сипаттамасының қатаңдық модулі АД ($\beta = 2M_k / (\omega_{0ном} S_k)$);

T_3 - формуламен анықталатын $T_3 = 1 / (\omega_{0ном} S_k)$, АД статор мен ротордың тізбегінің тұрақты уақытының электромагниттіге эквивалентті тұрақтысы;

$\omega_{0ном}$ - электр магнитті өрістің АД бұрыштық жылдамдығы, оның қоректенуінің номиналды жиілігінде $f_{1ном} = 50$ Гц ($\omega_{0эл.ном} = 2\pi f_{1ном}$);

T_M – уақыттың электр механикалық тұрақтысы;

$K_{ПЧ}$ – беріліс коэффициенті, $T_{ПЧ}$ – ЖТ (жиілікті түрлендіргіш) басқару тізбегі уақытының тұрақтысы;

РС – жылдамдықты реттегіш, оның параметрі уақыт тұрақтысы T_{PC} және беріліс коэффициенті K_{PC} болып табылады.

Құрылымдық сұлбаның (18 сурет) беріліс функцияларына сәйкес, жылдамдығы бойынша кері байланысы бар ЖТ-АҚ жүйесінің өтпелі үрдісінің математикалық сипаттамасы, $\Delta M_c = 0$, $T_{ПЧ} = 0$ болғанда, жылдамдықты реттегіштің беріліс функциясы тең болады $W_{PC} = k_{PC} / T_{PC} p$ және келесі түрде жазылады:

$$\beta T_M \frac{d\omega}{dt} = M \quad (2.24)$$

$$T_3 \frac{dM}{dt} = \beta(\omega_0 - \omega) - M \quad (2.25)$$

$$T_{pc} \frac{d\omega_0}{dt} = K_{пч} K_{pc} (U_{3.c1} - K_{oc} \omega) \quad (2.26)$$

Мұнда (2.24) , (2.25) және (2.26) теңдеулерін жазудың ыңғайлығы үшін, ауыспалыны түрлендіру символы (Δ) қолданылмағанын айта кетейік. (2.24, 2.25 және 2.26) теңдеулер жүйесінде:

ω - қозғалтқыштың жылдамдығы, M – қозғалтқыш сәті және ω_0 - электр магнитті өрістің АҚ бұрыштық жылдамдығы,

Теңдеуді күрделі болмайтын түрлендіруден кейін, келесі шарт орындалғанда,

$$\frac{dM}{dt} = \beta T_M \frac{d^2 \omega}{dt^2}, \quad (2.27)$$

(2.24) , (2.25) теңдеулерін келесі теңдеу түрінде жазуға болады:

$$T_{\vartheta} T_M \frac{d^2 \omega}{dt^2} + T_M \frac{d\omega}{dt} + \omega = \omega_0 \quad (2.28)$$

Немесе теңдеулер жүйесімен:

$$\frac{d\omega}{dt} = y \quad (2.29)$$

$$\frac{dy}{dt} = \frac{1}{T_{\vartheta} T_M} \omega_0 - \frac{1}{T_{\vartheta}} y - \frac{1}{T_{\vartheta} T_M} \omega$$

Сонымен, жылдамдығы бойынша кері байланысы бар ЖТ-АҚ жүйесінің дифференциалды теңдеулер жүйесі, (2.26) және (2.29) теңдеулер негізінде, келесі түрде жазылады:

$$\frac{d\omega}{dt} = y ;$$

$$\frac{dy}{dt} = \frac{1}{T_{\vartheta} T_M} \omega_0 - \frac{1}{T_{\vartheta}} y - \frac{1}{T_{\vartheta} T_M} \omega \quad (2.30)$$

$$\frac{d\omega_0}{dt} = \frac{K_{ПЧ} K_{РС}}{T_{РС}} (U_{3.C1} - K_{OC} \omega)$$

2.5 Жылдамдығы бойынша кері байланысы бар ЖТ-АК жүйесінің орнықтылығы

Жүйенің орнықтылығын анықтау үшін (2.30) дифференциалды теңдеуін [3] түрі бар жүйе түрінде қарастырамыз

$$\dot{X} = AX, \quad (2.30)$$

мұнда A n қатар жүйесі коэффициенттерінің матрицасы, автоматты жүйенің параметрлерінен үздіксіз байланысты: $X - X_1, X_2, \dots, X_n$ элементтері бар матрица. Қарастырып отырған жүйе орнықты болу үшін, A коэффициенттердің бастапқы матрицасының λ_i меншікті мәндерінің барлығы кешенді ауыспалының λ сол жақ жартылай жазықтығында орналасуы қажетті және жеткілікті, яғни, $\lambda_i (i=1, 2, \dots, n)$ барлығы үшін $\text{Re } \lambda < 0$ шартының орындалуы қажетті және жеткілікті, мұнда λ_i - алгебралық теңдеудің шешімі

$$|A - \lambda E| = 0 \quad (2.31)$$

B матрицасын белгілі бөлшек-сызықты емес түрлендіруді қолданып, құрастырамыз:

$$\lambda = \frac{p+1}{p-1} \quad (2.32)$$

Оның, шексіз радиустың шеңбері түрінде қарастырылатын, жалған остің, центрі координаталардың басында орналасқан бірлі-жарым радиустың шеңберіне ауысатын қасиеті бар. Егер кешенді ауыспалы λ жалған ось бойымен қозғалатын болса, онда кешенді ауыспалы ρ бірлі-жарым шеңбер бойымен орын ауыстырады. Сонымен, кешенді ауыспалының λ сол жақ жартылай жазықтығындағы әрбір нүктесіне бірлі-жарым радиустың шеңберіне тиесілі нақты бір нүкте сәйкес келеді, және керісінше, бұл бір мәнді сәйкестік болмақ:

$$\rho = \frac{p+1}{p-1} \quad (2.33)$$

(2.33) теңдеуінен λ мәнін теңдеуіне (2.32) қойып, аламыз

$$\left| A - \frac{\rho+1}{\rho-1} E \right| = 0 \quad (2.35)$$

(2.35) $(\rho-1)^n$ көбейтіп, және $a^n |A| = |aA|$ ескеріп, аламыз

$$\begin{aligned} |A(\rho-1) - (\rho+1)E| &= 0 \\ \text{или} & \\ |-A - E + \rho(A-E)| &= 0 \end{aligned} \quad (2.36)$$

Екінші (2.36) теңдеуін минус бірлікке көбейтеміз:

$$|A + E - \rho(A-E)| = 0 \quad (2.37)$$

Алынған теңдеуді (2.37) көбейтеміз $(A-E)^{-1}$:

$$|(A-E)^{-1}(A+E) - \rho E| = 0 \quad (2.38)$$

(2.38) теңдеуінде матрицаны $(A-E)^{-1}(A+E)=B$ белгілеп, аламыз

$$|B - \rho E| = 0 \quad (2.39)$$

B матрицаны келесі түрге түрлендіреміз

$$B = (A-E)^{-1}[(A-E)+2E] = E + 2(A-E)^{-1} \quad (2.40)$$

(2.39) теңдеуі құрылымы бойынша (2.32) теңдеуіне тепе-тең, алайда, берілген есеп тұрғысынан қарағанда, ол қарапайым, өйткені өзіндік мәндерін таратуды бағалаудың орнына λ_i (барлығы үшін $i=1,2,\dots,n$) шексіз саладағы A коэффициенттерінің матрицаларын, центрі координаталардың басында орналасқан, бір ғана радиустың шеңбері- шектелген салаға қатысты құрылған B матрицаның меншікті мәндерінің ρ_i барлығының таралуы түрінде қарастыруға болады. Егер, коэффициенттердің A бастапқы матрицасының меншікті мәндерінің барлығы кешенді ауыспалының λ сол жақтағы жартылай жазықтықта орналасқанын оңай көруге болса, онда коэффициенттердің B түрленген матрицасының меншікті мәндерінің ρ_i барлығы бірлі-жарым

радиустың шеңберінде болады, және керісінше, егер бір ғана λ_i оң жақтағы жартылай жазықтықта орналасса, ρ_i арасында

$$|\rho_i| > 1$$

болатындай, мән табылады.

егер, B матрицаның меншікті мәндерінің барлығы $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_n$ болып шықса, онда B^k матрицаның меншікті мәндері $\rho_1^k, \rho_2^k, \dots, \rho_n^k$ болып шығатыны, белгілі.

Сонда, егер жүйе орнықты болса, B матрицаның дәрежеге жүйелік әсері меншікті мәндерінің ρ_i^k абсолютті шамасын азайтады, өйткені барлық ρ_i , центрі координаталардың басында орналасқан, бір ғана радиустың шеңберінде жатады.

Сөйтіп, жүйе асимптотикалық орнықты болуы үшін, (2.31) жүйесінің асимптотикалық орнықты болуы үшін, коэффициенттердің B түрленген матрицасының меншікті мәндерінің ρ_i барлығының ($i=1, 2, \dots, n$) модулі бойынша бірден кем болуы қажетті және жеткілікті, яғни, центрі координаталардың басында орналасқан, бір ғана радиустың шеңберінде жатуы керек. Осы бір орнықтылықтың қажетті және жеткілікті шартының орындалуын матрицаның B^k барлық элементтерінің абсолютті азаю фактісі бойынша анықтауға болады. Атап өтейік, B^k есептеулерін шектеуге болады, егер матрицаның B^k элементтерінің әрбіреуінің абсолютті мәндері β/n шамасынан аспайтын болса, яғни, келесі теңсіздік орындалса:

$$|b_{ij}^{(k)}| \leq \frac{\beta}{n} \quad (2.41)$$

мұндағы $0 < \beta \leq 1$ n - матрицаның қатары (теңдеулер саны)

Егер (2.41) теңсіздігі қанағаттандырылса, онда ізделіп отырған жүйе орнықты болғаны.

Егер $\beta = 1$ орындалса. Онда орнықтылық бағасын келесі формула бойынша атқару керек

$$|b_{ij}^{(k)}| \leq \frac{1}{n}. \quad (2.42)$$

Біздің жағдайымыз үшін, A матрицасы, линеарланған дифференциалды теңдеулер жүйелері, бұл жүйенің берілген параметрлерінде, келесі түрде көрінеді:

0	1	0
-200	-20	200
-6	0	0

```
>> A=[0 1 0;-200 -20 200;-6 0 0];
```

```
>> P1=A-(1+0.2)*eye(3)
```

P1 =

```
-1.2000  1.0000   0
-200.0000 -21.2000 200.0000
-6.0000   0 -1.2000
```

```
>> Q=inv(P1)
```

Q =

```
-0.0173 -0.0008 -0.1360
0.9792 -0.0010 -0.1632
0.0865  0.0041 -0.1533
```

```
>> B1=eye(3)+2*Q
```

B1 =

```
0.9654 -0.0016 -0.2720
1.9585  0.9980 -0.3264
0.1730  0.0082  0.6934
```

```
>> B2=B1^2
```

B2 =

```
0.8817 -0.0054 -0.4507
3.7889  0.9902 -1.0848
0.3030  0.0135  0.4311
```

>> B3=B2^2

B3 =

0.6204 -0.0162 -0.5858

6.7640 0.9453 -3.2494

0.4489 0.0176 0.0346

>> B4=B3^2

B4 =

0.0120 -0.0357 -0.3309

9.1318 0.7267 -7.1464

0.4129 0.0099 -0.3189

B5 =

-0.4628 -0.0297 0.3569

3.7943 0.1308 -5.9357

-0.0361 -0.0107 -0.1059

>> B6=B5^2

B6 =

0.0887 0.0060 -0.0268

-1.0456 -0.0320 1.2064

-0.0201 0.0008 0.0619

>> B7=B6^2

B7 =

0.0021 0.0003 0.0032

-0.0836 -0.0043 0.0641

-0.0039 -0.0001 0.0053

Есептеулердің нәтижелері, B^k матрицаның коэффициенттерінің 0.33 шамасынан аз екенін көрсетеді, яғни, жүйенің орнықтылық шарты орындалады. 0.33 шамасы келесі теңсіздіктен анықталған

$$|U_{ij}^{(13)}| \leq \frac{1}{n} = 0.33.$$

Есептеулердің соңғы нәтижелері 7-ші итерацияда алынды.

Реттелетін жүйелердің орнықтылығының бір ғана фактісін анықтау, қалыпты жұмыс істеуі үшін қажетті шарт бола тұрып, жеткілікті болып табылмайды, өйткені, өтпелі үрдістің сөну уақытының тым ұзақ болуы және реттелетін параметрдің ауытқуы, жеткілікті мәннен асып түседі, бұл жүйені, параметрлерінің орнықтылықтың барлық шартын қанағаттандырғанына қарамастан, көп жағдайда жарамсыз етеді. Осыған байланысты, ең жақсы таңдау туралы міндет қойылады, біздің жағдайымыз үшін, ЖТ-АҚ жүйесінің жылдамдығы бойынша кері байланыстың коэффициентін k_{oc} таңдап алу керек.

ЖТ – АҚ жүйесінің орнықтылығын қамтамасыз ететін кері байланыстың коэффициентін анықтау үшін, дифференциалды теңдеулер жүйесін келесі түрге келтіреміз:

$$\frac{d^3 \omega}{dt^3} + \frac{1}{T_{\theta}} \frac{d^2 \omega}{dt^2} + \frac{1}{T_{\theta} T_M} \frac{d\omega}{dt} + \frac{k_{PC} k_{ПЧ} k_{OC}}{T_{\theta} T_M T_{PC}} \omega = \frac{k_{PC} k_{ПЧ}}{T_{\theta} T_M T_{PC}} u. \quad (2.43)$$

Орнықтылықтың Гурвицаның алгебралық критеріін ескеріп, келесі теңсіздікті аламыз

$$\frac{1}{T_{\theta}} > \frac{k_{PC} k_{ПЧ} k_{OC}}{T_{PC}} \quad (2.44)$$

Егер статор мен ротордың АҚ тізбектерінің эквивалентті электромагнитті тұрақты уақытын $T_{\theta} = 0,05$ [Т және О] тең деп, ал беріліс коэффициентін ПЧ $k_{ПЧ} = 5$ тең деп, ал жылдамдықты реттеу коэффициентін $k_{PC} = 4$ тең деп, және жылдамдықты реттеудің тұрақты уақытын $T_{PC} = 0,5$ тең деп алсақ, онда кері байланыстың коэффициентін орнықтылық (2.44) шартынан $k_{OC} = 0,3$. тең етіп таңдап алуға болады. Жылдамдығы бойынша кері байланыстағы ПЧ-АД жүйесінің орнықтылық есебін шығаруды кең таралған

түрлі әдістермен жүзеге асыруға болады. МАТЛАВ жүйесінің көмегімен сипаттамалы теңдеулердің түбірлі белгілерін анықтауға негізделген, тәсілдердің бірін қарастырайық. Орнықтылық есебін шығару үшін теңдеулер жүйесін келесі түрге келтіреміз:

$$\frac{dx_1}{dt} = x_2,$$

$$\frac{dx_2}{dt} = a_1 x_3 - a_2 x_2 - a_3 x_1, \quad (2.45)$$

$$\frac{dx_3}{dt} = a_4 u - a_5 x_1,$$

мұндағы

$$a_1 = \frac{1}{T_{\Omega} T_M}, \quad a_2 = \frac{1}{T_{\Omega}}, \quad a_3 = \frac{1}{T_{\Omega} T_M},$$

$$a_4 = \frac{k_{PC} k_{ПЧ}}{T_{PC}}, \quad a_5 = \frac{k_{PC} k_{ПЧ} k_{OC}}{T_{PC}}.$$

МТН 112-6 Асинхронды қозғалтқыштың есепті параметрлерінен және [2] берілген параметрлерді ескеріп, теңдеулер жүйесіндегі жылдамдығы a_i бойынша кері байланыстағы ЖТ-АҚ жүйесінің коэффициенті келесідей сандық мәнге ие болады:

$$a_1 = 200; \quad a_2 = 20; \quad a_3 = 200; \quad a_4 = 30; \quad a_5 = 6.$$

ЖТ-АҚ жүйесінің орнықтылығын анықтау алгоритмі 19 суретте көрсетілген.

```
>> syms a
>> A=[0 1 0;-200 -20 200;-6 0 0];
>> A=-A;
>> B=(eye(3)*a+A);
>> det(B)

ans = a^3+20*a^2+200*a+1200
```

```
>> P=[1 20 200 1200];
```

```
>> r = roots(P)
```

```
r =
```

```
-11.6732
```

```
-4.1634 + 9.2448i
```

```
-4.1634 - 9.2448i
```

19 сурет

Ұсынылып отырған алгоритм (20 сурет) А коэффициенттер матрицасынан, кері матрицадан – А, сипаттамалы анықтауыштан В және сипаттамалы теңдеудің түбірін табуға арналған roots командасынан тұрады. Бұндай алгоритмнің жоғары қатардағы сызықты дифференциалды басқарудың орнықтылығын анықтаудың мүмкіндігін беретінін, айта кетейік. Біздің жағдайымызда, жылдамдығы бойынша кері байланыстағы ЖТ-АҚ жүйесі орнықты, өйткені сипаттамалы теңдеудің барлық түбірінің

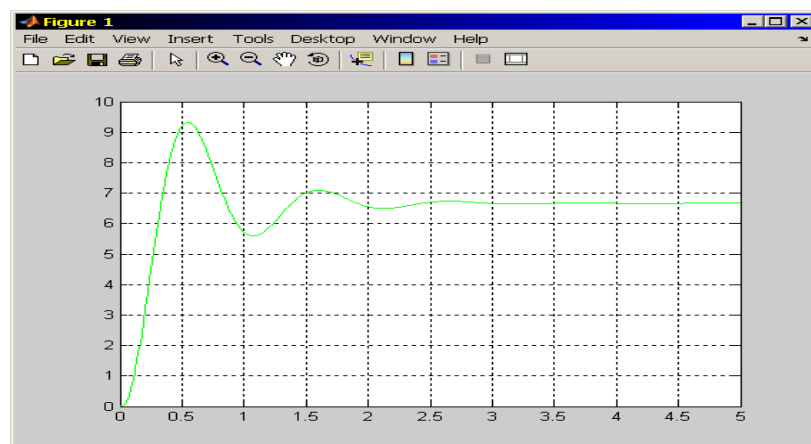
```
-11.6732
```

```
-4.1634 + 9.2448i
```

```
-4.1634 - 9.2448i
```

теріс заттық бөлшегі бар.

Жылдамдығы бойынша кері байланыстағы ЖТ-АҚ жүйесінің орнықтылығы қозғалтқыш білігінің жиілік айналымының жылдамдығының өтпелі үрдісінің кестесімен расталады (20 сурет).

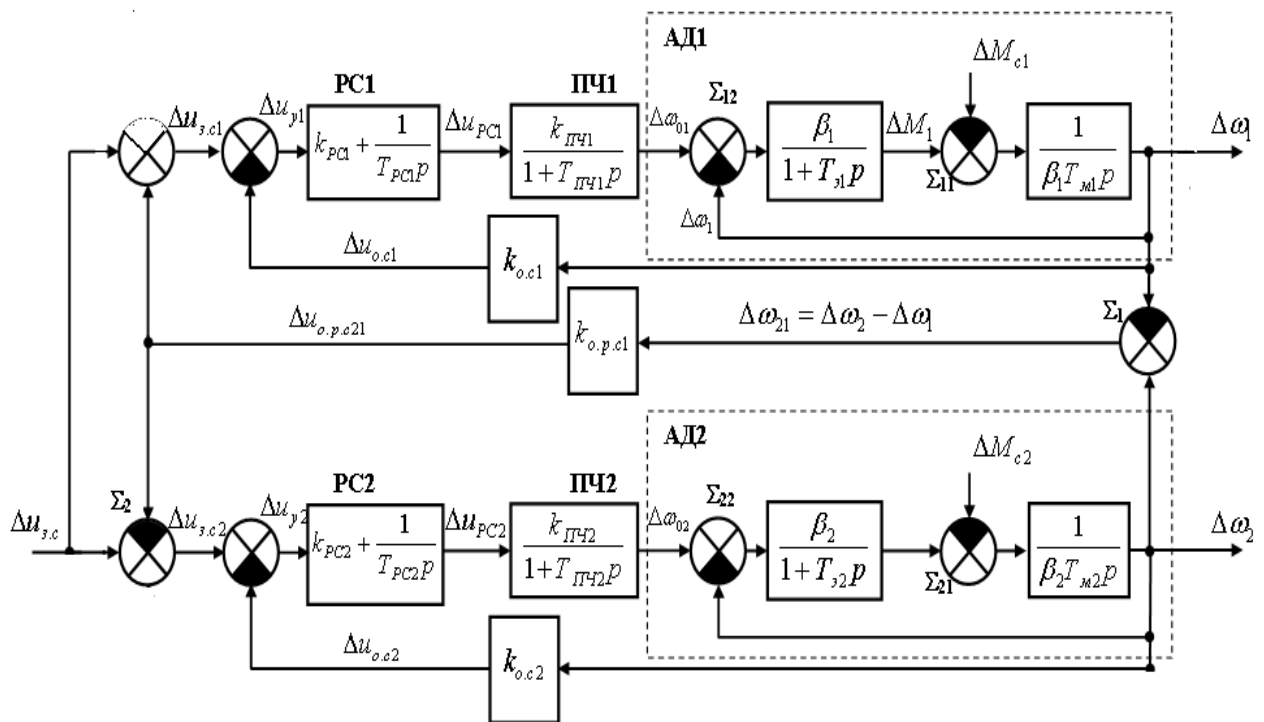


20 сурет

3 Жиілікті түрлендіргіші бар асинхронды екі қозғалтқышты электр жетектің динамикасын математикалық сипаттау

3.1 Көп қозғалтқышты электр жетектің құрылымдық сұлбасы

Роторы қысқа тұйықталған екі асинхронды қозғалтқыштан, екі жиілікті түрлендіргіштен, екі жылдамдықты реттегіштен тұратын жиілікті түрлендіргіші бар көп қозғалтқышты асинхронды электр жетектің құрылымдық сұлбасы 21 суретте көрсетілген. ПЧ – АД жүйесінің әр қайсысының $k_{o.c1}$, $k_{o.c2}$ жылдамдығы бойынша теріс кері байланыс коэффициенттері бар. Қозғалтқыштар синхронды айналуы үшін қосымша ($k_{o.p.c1}$, $k_{o.p.c2}$) кері байланыс коэффициенттері енгізілген. Σ_1 құрылғысында бірінші қозғалтқыштың $\Delta\omega_1$ жылдамдығы және екінші қозғалтқыштың $\Delta\omega_2$ жылдамдықтары салыстырылып, пайда болған шығыс $\Delta u_{o.p.c21} = k_{o.p.c1} \Delta\omega_{21}$ сигналы ЖТ - АҚ бірінші жүйесінің сумматор кірісіне беріледі де, $\Delta u_{3.c}$ сигналымен салыстырылады, содан кейін пайда болған $\Delta u_{3.c1}$ сигналы ЖТ – АҚ жүйесінің келесі сумматор кірісіне беріледі. Бірінші және екінші қозғалтқыштың жылдамдықтарының шығу сигналы $\Delta u_{o.p.c21}$ екінші жүйенің бірінші сумматорында $\Delta u_{3.c}$ сигналымен салыстырылып, $\Delta u_{3.c2}$ басқару сигналы ЖТ – АҚ жүйесінің екінші сумматор кірісіне беріледі.



21 сурет – Көп қозғалтқышты электр жетектің құрылымдық сұлбасы

Көп қозғалтқышты электр жетектің математикалық сипаттамасы

Көп қозғалтқышты электр жетектің жылдамдығы бойынша кері байланыстағы ЖТ-АҚ жүйесі бар асинхронды қозғалтқыштардың әрбіреуінің ұқсас болуына қарай, көп қозғалтқышты электр жетектің өтпелі үрдісінің математикалық сипаттамасын (3.1), (3.2) және (3.3) теңдеулер негізінде қарастырайық. Жылдамдығы бойынша кері байланыстағы ЖТ-АҚ бірінші жүйе үшін, дифференциалды теңдеу келесі түрде жазылады:

$$\frac{d\omega_1}{dt} = \frac{1}{\beta_1 T_{M1}} M_1$$

$$\frac{dM_1}{dt} = \frac{\beta_1}{T_{\Sigma 1}} \omega_{01} - \frac{\beta_1}{T_{\Sigma 1}} \omega_1 - \frac{1}{T_{\Sigma 1}} M_1 \quad (3.1)$$

$$\frac{d\omega_{01}}{dt} = \frac{K_{ПЧ1} K_{PC1}}{T_{PC1}} U_{3.C1} - \frac{K_{ПЧ1} K_{PC1} K_{OC1}}{T_{PC1}} \omega_1$$

Жылдамдығы бойынша кері байланыстағы ЖТ-АҚ екінші жүйесі үшін, дифференциалды теңдеу келесі түрде жазылады:

$$\frac{d\omega_2}{dt} = \frac{1}{\beta_2 T_{M2}} M_2$$

$$\frac{dM_2}{dt} = \frac{\beta_2}{T_{\Sigma 2}} \omega_{02} - \frac{\beta_2}{T_{\Sigma 2}} \omega_2 - \frac{1}{T_{\Sigma 2}} M_2 \quad (3.2)$$

$$\frac{d\omega_{02}}{dt} = \frac{K_{ПЧ2} K_{PC2}}{T_{PC2}} U_{3.C2} - \frac{K_{ПЧ2} K_{PC2} K_{OC2}}{T_{PC2}} \omega_2 .$$

Кіріс кернеуі $U_{3.C1}$ және $U_{3.C2}$, құрылымдық сұлбаға сәйкес (3.2) келесі түрге ие болады:

$$U_{3.C1} = U + k_{CV} \omega_2 - k_{CV} \omega_1 \quad (3.4)$$

$$U_{3.C2} = U - k_{CV} \omega_2 + k_{CV} \omega_1 \quad (3.5)$$

мұндағы U – берілген сигнал, $k_{CV} = k_{O.P.C}$ - электр жетектер арасындағы байланыс коэффициенті.

Жиілікті түрлендіргіші бар асинхронды көп қозғалтқышты электр жетектің динамикасының математикалық сипаттамасын аламыз:

$$\begin{aligned}
 \frac{d\omega_1}{dt} &= \frac{1}{\beta_1 T_{M1}} M_1 ; \\
 \frac{dM_1}{dt} &= \frac{\beta_1}{T_{\varepsilon 1}} \omega_{01} - \frac{\beta_1}{T_{\varepsilon 1}} \omega_1 - \frac{1}{T_{\varepsilon 1}} M_1 ; \\
 \frac{d\omega_{01}}{dt} &= \frac{K_{ПЧ1} K_{PC1}}{T_{PC1}} U + \frac{K_{ПЧ1} K_{PC1} K_{CV}}{T_{PC1}} \omega_2 - \frac{K_{ПЧ1} K_{PC1} K_{CV}}{T_{PC1}} \omega_1 \\
 \frac{d\omega_2}{dt} &= \frac{1}{\beta_2 T_{M2}} M_2 ; \\
 \frac{dM_2}{dt} &= \frac{\beta_2}{T_{\varepsilon 2}} \omega_{02} - \frac{\beta_2}{T_{\varepsilon 2}} \omega_2 - \frac{1}{T_{\varepsilon 2}} M_2 ; \\
 \frac{d\omega_{02}}{dt} &= \frac{K_{ПЧ2} K_{PC2}}{T_{PC2}} U - \frac{K_{ПЧ2} K_{PC2} K_{CV}}{T_{PC2}} \omega_2 + \frac{K_{ПЧ2} K_{PC2} K_{CV}}{T_{PC2}} \omega_1 .
 \end{aligned} \tag{3.6}$$

3.2 Екі қозғалтқышты электр жетек қозғалысының орнықтылығы

Екі қозғалтқышты электр жетекі басқарудың $U = U(t)$ тиімді заңын іздеу есебін шешу үшін, ең алдымен оның қозғалысының орнықтылығын анықтау керек. Есепті шешудің ыңғайлығы үшін дифференциалды теңдеулер жүйесін (3.6) келесі түрде жазамыз:

$$\frac{dx_1}{dt} = a_1 x_1$$

$$\frac{dx_2}{dt} = a_2 x_3 - a_3 x_1 - a_4 x_2$$

$$\frac{dx_3}{dt} = a_5 u + a_6 x_4 - a_7 x_1$$

$$\frac{dx_4}{dt} = a_8 x_5$$

$$\frac{dx_5}{dt} = a_9 x_6 - a_{10} x_4 - a_{11} x_5$$

$$\frac{dx_6}{dt} = a_{12} u - a_{13} x_4 + a_{14} x_1 \quad (3.7)$$

мұндағы u – басқару;

$$x_1 = \omega_1; \quad x_2 = M_1; \quad x_3 = \omega_{01};$$

$$x_4 = \omega_2; \quad x_5 = M_2; \quad x_6 = \omega_{02};$$

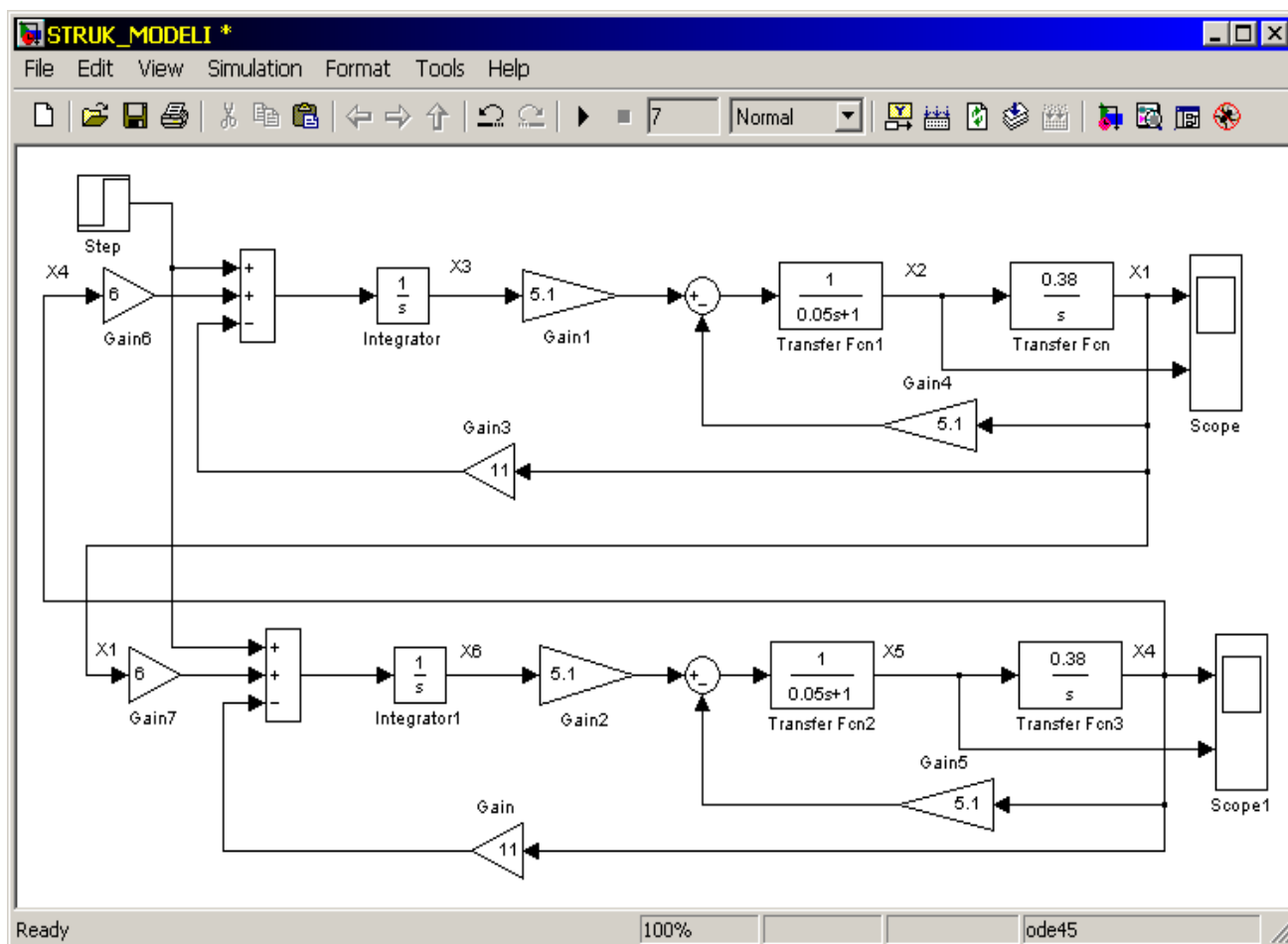
$$a_1 = \frac{1}{\beta_1 T_{M1}}; \quad a_2 = \frac{\beta_1}{T_{\Theta 1}}; \quad a_3 = \frac{\beta_1}{T_{\Theta 1}}; \quad a_4 = \frac{1}{T_{\Theta 1}};$$

$$a_5 = \frac{K_{ПЧ1} K_{PC1}}{T_{PC1}}; \quad a_6 = \frac{K_{ПЧ1} K_{PC1} K_{CV}}{T_{PC1}}; \quad a_7 = \frac{K_{ПЧ1} K_{PC1} K_{CV}}{T_{PC1}};$$

$$a_8 = \frac{1}{\beta_2 T_{M2}}; \quad a_9 = \frac{\beta_2}{T_{\Theta 2}}; \quad a_{10} = \frac{\beta}{T_{\Theta 2}}; \quad a_{11} = \frac{1}{T_{\Theta 2}};$$

$$a_{12} = \frac{K_{ПЧ2} K_{PC2}}{T_{PC2}}; \quad a_{13} = \frac{K_{ПЧ2} K_{PC2} K_{CV}}{T_{PC2}}; \quad a_{14} = \frac{K_{ПЧ2} K_{PC2} K_{CV}}{T_{PC2}}.$$

(3.7) теңдеулер негізінде MATLAB көп қозғалтқышты асинхронды электр жетектің құрылымдық сұлбасы келесі түрде жазылады (22 сурет)



22 сурет - Қос қозғалтқышты асинхронды электр жетектің құрылымдық сұлбасы

Көп қозғалтқышты асинхронды электр жетектің беріліс функциясын анықтау бағдарламасы, осы электр жетектің қозғалысының орнықтылығын анықтау мақсатында, MATLAB ортасындағы құрылымдық сұлба негізінде құрастырылған (22 сурет):

1. ТТ-АҚ бірінші тұйық жүйенің беріліс функциясын анықтаймыз.

```
>> n1=[0.38]; (бірінші беріліс функциясының алымы);
>> m1=[1 0]; (бірінші беріліс функциясының бөлімі);
>> W1=tf(n1,m1) (бірінші беріліс функциясы)
```

Transfer function: (беріліс функциясы)

0.38

S

```
>> n2=[1];
```

```
>> m2=[0.05 1];
```

```
>> W2=tf(n2,m2) (екінші беріліс функциясы)
```

Transfer function:

$$1$$

$$0.05 s + 1$$

```
>> Wq=W1*W2 (1-і және 2-і беріліс функцияларының тізбектей қосылысының беріліс функциясы)
```

Transfer function:

$$0.38$$

$$0.05 s^2 + s$$

```
>> Wq1=feedback(Wq,[5.085]) (кері теріс байланыстың беріліс функциясы, кері байланыс коэффициенті 5,085)
```

Transfer function:

$$0.38$$

$$0.05 s^2 + s + 1.932$$

```
>> n3=[5.085];
```

```
>> m3=[1 0];
```

```
>> W3=tf(n3,m3) (үшінші беріліс функциясы)
```

Transfer function:

$$5.085$$

$$s$$

>> Wp=Wq1*W3 (ажыратылған ЖТ - АҚ бірінші жүйесінің беріліс функциясы)

Transfer function:

1.932

0.05 s³ + s² + 1.932 s

>> Wv1=feedback(Wp,[11]) (ЖТ – АҚ бірінші тұйықталған жүйесінің беріліс функциясы)

Transfer function:

1.932

0.05 s³ + s² + 1.932 s + 21.26

>> Wv2=Wv1 (ПЧ – АД екінші тұйықталған жүйесінің беріліс функциясы).

Екінші тұйық жүйенің ЖТ-АҚ беріліс функциясы шығыс ауыспалысы X_1 бар ЖТ-АҚ жүйесіне арналған кері байланыстың беріліс функциясы болып табылады деп санайық. Бұл жағдайда, қос қозғалтқышты электр жетектің беріліс функциясын Y_1 ретінде белгілеп, алатынымыз:

>> Y1=feedback(Wv1,Wv2,1)

Transfer function:

0.09662 s³ + 1.932 s² + 3.734 s + 41.07

25 s⁶ + 0.1 s⁵ + 1.193 s⁴ + 5.99 s³ + 46.24 s² + 82.14 s + 448.1

>> pole(Y1) (беріліс функциясының сипаттамалы теңдеуінің түбірін анықтайтын функция Y1:

Ү1 беріліс функциясының сипаттамалы теңдеуінің түбірі:

$$\begin{aligned} & -19.2441 \\ & -19.0363 \\ & -0.3780 + 4.8944i \\ & -0.3780 - 4.8944i \\ & -0.4818 + 4.4798i \\ & -0.4818 - 4.4798i \end{aligned}$$

Сипаттамалы теңдеудің түбірлерінің теріс заттық бөлшегі болғандықтан, қос қозғалтқышты электр жетектің қозғалысы орнықты болады.

3.3 Қос қозғалтқышты электр жетектің қозғалысын басқару

Тиімді басқаруды анықтау есебін шығармас бұрын, басқарылатын нысанның не екенін және автоматты басқару құрылғыларын белгілеп алайық. Автоматты басқару жүйесін басқарылатын нысанға және автоматты басқару құрылғыларына бөлуге болады. Басқарылатын нысан деп машина, аппарат, қондырғы, машинаның немесе аппараттардың кешенін, цехты, автоматты басқару құрылғылары берілген деңгейде бір немесе бірнеше параметрлерді қолдайтын немесе қандай да бір басқару заңы бойынша оларды өзгертетін, кәсіпорынды айтады. Басқарылатын нысандар неге арналғанына, жұмыс принципіне, конструкциясына (мысалы, электр қозғалтқыштар мен генераторлар, баспа өндірісінің машиналары) қарай, әр түрлі болып келеді. Ауыспалы токтың көп қозғалтқышты электр жетегін басқару жүйесін жобалау сатысындағы басқарудың тиімді заңын табу, осы жүйенің іске қосылуы мен тежелуінің ең жақсы режимдерін алу мақсатындағы, басқару жүйесін жобалаудың қажетті міндеттерінің бірі болып табылады. Айта кетейік, іске қосу режимі өнімділікке және көп қозғалтқышты электр жетектің электр қуатын тұтынуының үнемділігіне біршама әсер етеді. Басқарудың тиімді заңын табу міндетінің шешімін Понтрягин максимумы принципі негізінде қарастырайық.

Максимум принципі тиімді басқару міндетін шешу үшін арнайы жасалған. Тиімді басқару міндетін шешу (басқарудың тиімді заңын іздестіру), дифференциалды теңдеулер негізінде қарастырайық. Қойылған міндетті шешуде көп қозғалтқышты электр жетектің өтпелі үрдістерінің сапа критерийін таңдап алудың маңызы зор. Біздің жағдайымызда, өтпелі үрдістерінің сапа критерийінің ең тиімдісі түрдің сапа критерийі болып табылады:

$$Q = \frac{1}{2} \int_0^T \left(\sum_{i=1}^6 x_i^2 + cu^2 \right) dt \quad (3.8)$$

мұнда c – салмақ коэффициенті, u – басқару.

Өтпелі үрдістерінің бұл сапа критеріі үрдістің тербелмелісін ескереді, ауыспалы жүйенің үлкен ауытқуына тиым салады және үрдістерінің өтуінің тез әрекеттілігін ескертеді.

Максимум принципіне сәйкес қосымша координаталарды x_0 енгіземіз

$$\frac{dx_0}{dt} = \frac{1}{2}(x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + x_4^2 + x_5^2 + x_6^2 + cu^2) \quad (3.9)$$

Берілген теңдеулердің жүйесін аламыз:

$$\frac{dx_0}{dt} = \frac{1}{2}(x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + x_4^2 + x_5^2 + x_6^2 + cu^2)$$

$$\frac{dx_1}{dt} = a_1 x_1$$

$$\frac{dx_2}{dt} = a_2 x_3 - a_3 x_1 - a_4 x_2$$

$$\frac{dx_3}{dt} = a_5 u + a_6 x_4 - a_7 x_1$$

$$\frac{dx_4}{dt} = a_8 x_5$$

$$\frac{dx_5}{dt} = a_9 x_6 - a_{10} x_4 - a_{11} x_5$$

$$\frac{dx_6}{dt} = a_{12} u - a_{13} x_4 + a_{14} x_1 \quad (3.10)$$

x_i үшін бастапқы мәндер:

$$x_0(0) = 0; \quad x_1(0) = 1; \quad x_2(0) = 0; \quad x_3(0) = 0; \quad (3.11)$$

$$x_4(0) = 1; \quad x_5(0) = 0; \quad x_6(0) = 0.$$

Келесі теңдеу негізінде қосалқы ауыспалыға ψ_i арналған теңдеу құрамыз:

$$\frac{d\psi_i}{dt} = -\sum_{j=0}^n \frac{\partial f_j}{\partial x_i} \psi_j(t), \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (3.12)$$

$$\frac{d\psi_0}{dt} = 0;$$

$$\frac{d\psi_1}{dt} = x_1 + a_3\psi_2 + a_7\psi_3 - a_{14}\psi_6;$$

$$\frac{d\psi_2}{dt} = x_2 - a_1\psi_1 + a_4\psi_2;$$

$$\frac{d\psi_3}{dt} = x_3 - a_2\psi_2;$$

$$\frac{d\psi_4}{dt} = x_4 - a_6\psi_3 + a_{10}\psi_5 + a_{13}\psi_6;$$

$$\frac{d\psi_5}{dt} = x_5 - a_8\psi_4 + a_{11}\psi_5;$$

$$\frac{d\psi_6}{dt} = x_6 - a_9\psi_5. \quad (3.13)$$

Жүйенің бірінші теңдеуінен (3.13) табамыз:

$$\psi_0 = \text{const.}$$

ψ_i соңғы мәндері тең болады:

$$\psi_0(T) = -1,$$

$$\psi_1(T) = 0. \quad (3.14)$$

Гамильтон функциясын жазамыз:

$$\begin{aligned} H = & \psi_0 \frac{1}{2} (x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + x_4^2 + x_5^2 + x_6^2 + cu^2) + \psi_1 (a_1 x_2) + \\ & + \psi_2 (a_2 \psi_3 - a_3 x_1 - a_4 x_2) + \psi_3 (a_5 u + a_6 x_4 - a_7 x_1) + \psi_4 (a_8 x_5) + \\ & + \psi_5 (a_9 x_6 - a_{10} x_4 - a_{11} x_5) + \psi_6 (a_{12} u - a_{13} x_4 - a_{14} x_1); \end{aligned} \quad (3.15)$$

Басқару әсерін u уақыттың әрбір сәтінде H максималдауға болатындай етіп, алу керек. $\psi_0(t) = -1$ қабылдап, тиімді басқару келесідей түрде анықталады:

$$\frac{\partial H}{\partial u} = -cu + a_5\psi_3 + a_{12}\psi_6 = 0,$$

$$u = \frac{1}{c}(a_5\psi_3 + a_{12}\psi_6). \quad (3.16)$$

(3.16) мәнін x_i арналған теңдеуге қойып (3.9) және соларды (3.12) теңдеулермін біріктіріп ((3.9) (3.12) теңдеулердің бірінші теңдеулері бұл теңдеулерге кірмейді), теңдеулердің келесі жүйесіне өтеміз:

$$\frac{dx_1}{dt} = a_1x_1$$

$$\frac{dx_2}{dt} = a_2x_3 - a_3x_1 - a_4x_2$$

$$\frac{dx_3}{dt} = \frac{a_5}{c}(a_5\psi_3 + a_{12}\psi_6) + a_6x_4 - a_7x_1$$

$$\frac{dx_4}{dt} = a_8x_5 \quad (3.17)$$

$$\frac{dx_5}{dt} = a_9x_6 - a_{10}x_4 - a_{11}x_5$$

$$\frac{dx_6}{dt} = \frac{a_{12}}{c}(a_5\psi_3 + a_{12}\psi_6) - a_{13}x_4 + a_{14}x_1;$$

$$\frac{d\psi_1}{dt} = x_1 + a_3\psi_2 + a_7\psi_3 - a_{14}\psi_6$$

$$\frac{d\psi_2}{dt} = x_2 - a_1\psi_1 + a_4\psi_2$$

$$\frac{d\psi_3}{dt} = x_3 - a_2\psi_2$$

$$\frac{d\psi_4}{dt} = x_4 - a_6\psi_3 + a_{10}\psi_5 + a_{13}\psi_6$$

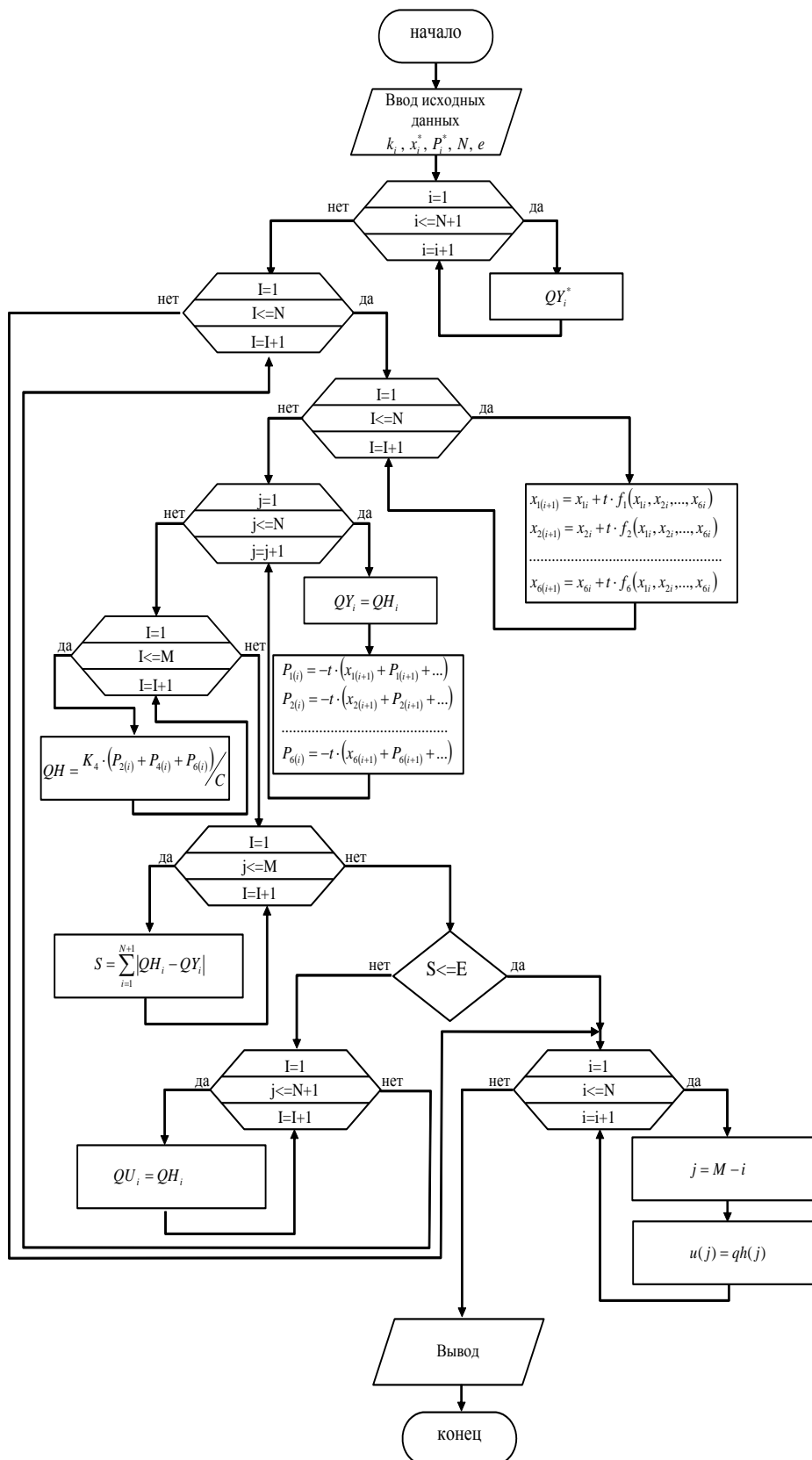
$$\frac{d\psi_5}{dt} = x_5 - a_8\psi_4 + a_{11}\psi_5$$

$$\frac{d\psi_6}{dt} = x_6 - a_9\psi_5.$$

(3.16) жүйенің шекті шарты (3.10) және (3.13) мәндері болып табылады. Сөйтіп, Понтрягин максимум принципі негізінде теңдеулер жүйесін аламыз (3.16) бұл жүйе басқарудың тиімді заңын анықтауға арналған бастапқы жүйе болып табылады.

3.4 Тиімді басқарудың алгоритімі мен бағдарламасы

Тиімді басқаруды есептеу алгоритмінің блок – сұлбасы негізінде [8] құрылған және 23 суретте көрсетілген.



23 сурет - Тиімді басқаруды $u(t)$ есептеу алгоритмінің блок – сұлбасы

Қос қозғалтқышты электр жетегін тиімді басқаруды есептеу бағдарламасы жоғарыда келтірілген алгоритм бойынша (24 сурет) құрастырылған және 24 суретте, MATLAB ортада көрсетілген.

```

N=input('N=');

t=0.001
e=0.0001;
a1=0.377; a2=101.7;
a3=101.7; a4=20;
a5=20; a6=6;
a7=11; a8=0.377;
a9=101.7; a10=101.7;
a11=20; a12=20;
a13=11; a14=6
M=N+1;

for i=1:M qy(i)=0.0001;end;
x1(1)=1; x2(1)=0;
x3(1)=0; x4(1)=1;
x5(1)=0; x6(1)=0;
p1(M)=0; p2(M)=0;
p3(M)=0;p4(M)=0;
p5(M)=0; p6(M)=0;
i=1;

while (i<=N)

for i=1:N
x1(i+1)=t*(a1*x2(i))+x1(i);
x2(i+1)=t*(a2*x3(i)-a3*x1(i)-a4*x2(i))+x2(i);
x3(i+1)=t*(a5*qy(i)+a6*x4(i)-a7*x1(i))+x3(i);
x4(i+1)=t*(a8*x5(i))+x4(i);
x5(i+1)=t*(a9*x6(i)-a10*x4(i)-a11*x5(i))+x5(i);
x6(i+1)=t*(a12*qy(i)-a13*x4(i)+a14*x1(i))+x6(i);
end;

for j=1:N i=M-j;L=i+1;
p1(i)=-t*(x1(L)+a3*p2(L)+a7*p3(L)-a14*p6(L))+p1(L);
p2(i)=-t*(x2(L)-a1*p1(L)+a4*p2(L))+p2(L);
p3(i)=-t*(x3(L)-a2*p2(L))+p3(L);
p4(i)=-t*(x4(L)-a6*p3(L)+a10*p5(L)+a13*p6(L))+p4(L);
p5(i)=-t*(x5(L)-a8*p4(L)+a11*p5(L))+p5(L);
p6(i)=-t*(x6(L)-a9*p5(L))+p6(L);
end;

for i=1:M qh(i)=- (a5*p3(i)+a12*p6(i))/10;end;
s=0;

for i=1:M
s=s+abs(qh(i)-qy(i));

```



```

end;
if s<=e break;end;

for i=1:M qy(i)=qh(i);
end;
i=i+1;
end;
a=0; b=0;
c=0; d=0;

for i=1:N
j=M-i;
u(j)=qh(j);
u(j) = u(j)*100;
a = a + i; b = b + log(u(j));
c = c + i^2; d = d + i*log(u(j));
b1 = (a*b-N*d)/(a^2-N*c);
b0 = exp((b - b1*a)/N);
end
t=0:1:N;
y =b0*exp(-b1*t);
g=y+50;
plot(t,g)
grid

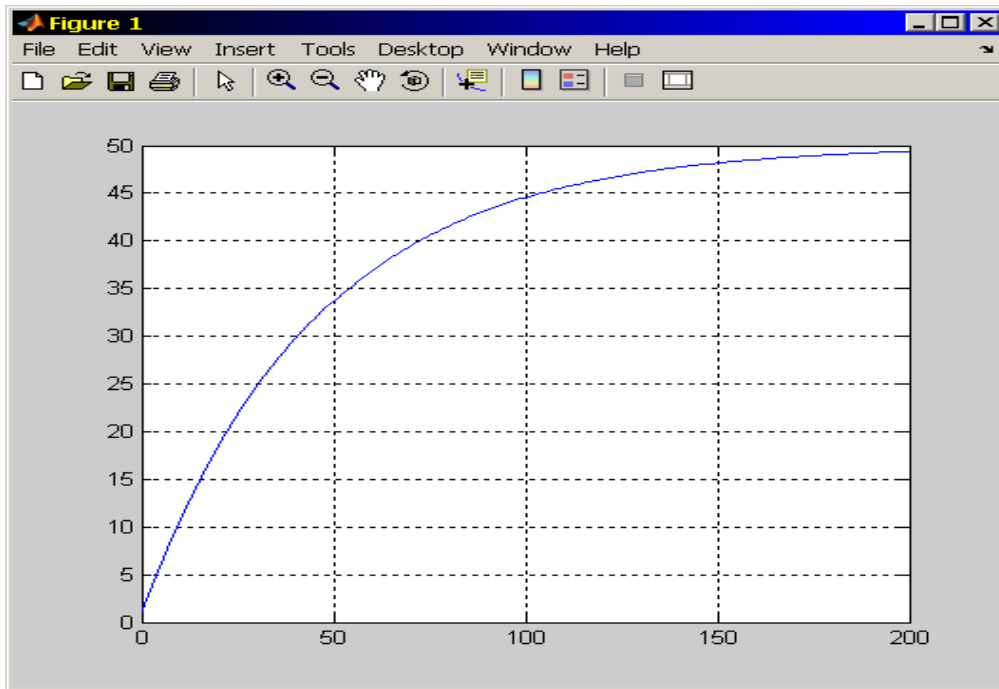
```

24 сурет - Қос қозғалтқышты электр жетегін тиімді басқаруды есептеу бағдарламасы

Қос қозғалтқышты электр жетегін тиімді басқаруды есептеу бағдарламасында $qy(i)$ - тиімді басқарудың бастапқы жуық шамасы болып табылады. Тиімді басқаруды есептеу t_p уақыты туындысымен $t_p = t * N$ анықталады.

3.4.1 Қос қозғалтқышты электр жетек динамикасының өтпелі үрдісін үлгілеу нәтижелері

Тиімді басқарудың өтпелі үрдісінің қисық сызығының графигі 2.8 суретте көрсетілген.



25 сурет - Қос қозғалтқышты электр жетекті тиімді басқарудың өтпелі үрдісі

25 суреттен алынған басқару сигналының тиімді қисық сызығы екінші қатардағы басқарумен сипатталады, ол келесі түрде жазылады:

$$T_1 T_2 \frac{d^2 y}{dt^2} + (T_1 + T_2) \frac{dy}{dt} + y = kx \quad (3.17)$$

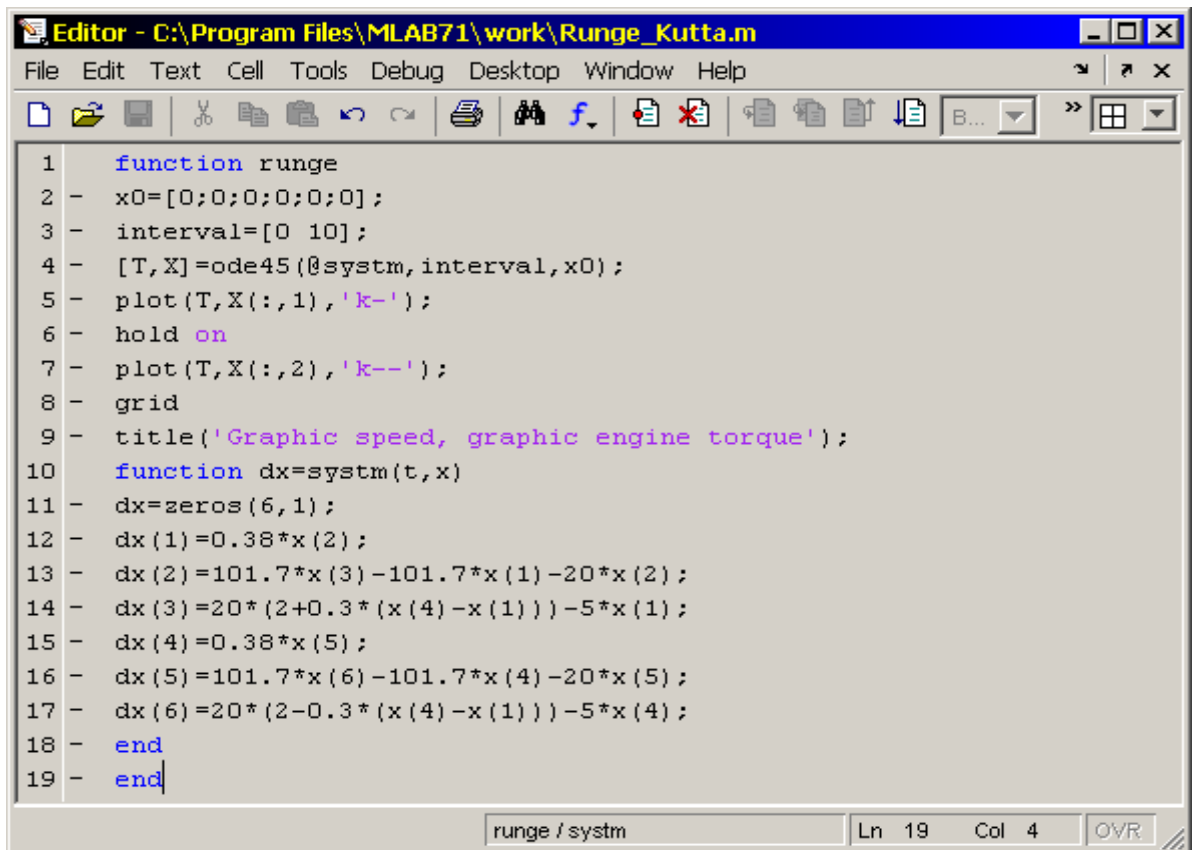
Мұндағы уақыт тұрақтысы T_1, T_2, k – константа.

(3.17) дифференциалды теңдеуді келесі түрде көрсетуге болады:

$$\frac{dy}{dt} = z;$$

$$\frac{dz}{dt} = \frac{k}{T_1 T_2} x - \frac{(T_1 + T_2)}{T_1 T_2} z - \frac{1}{T_1 T_2} y. \quad (3.18)$$

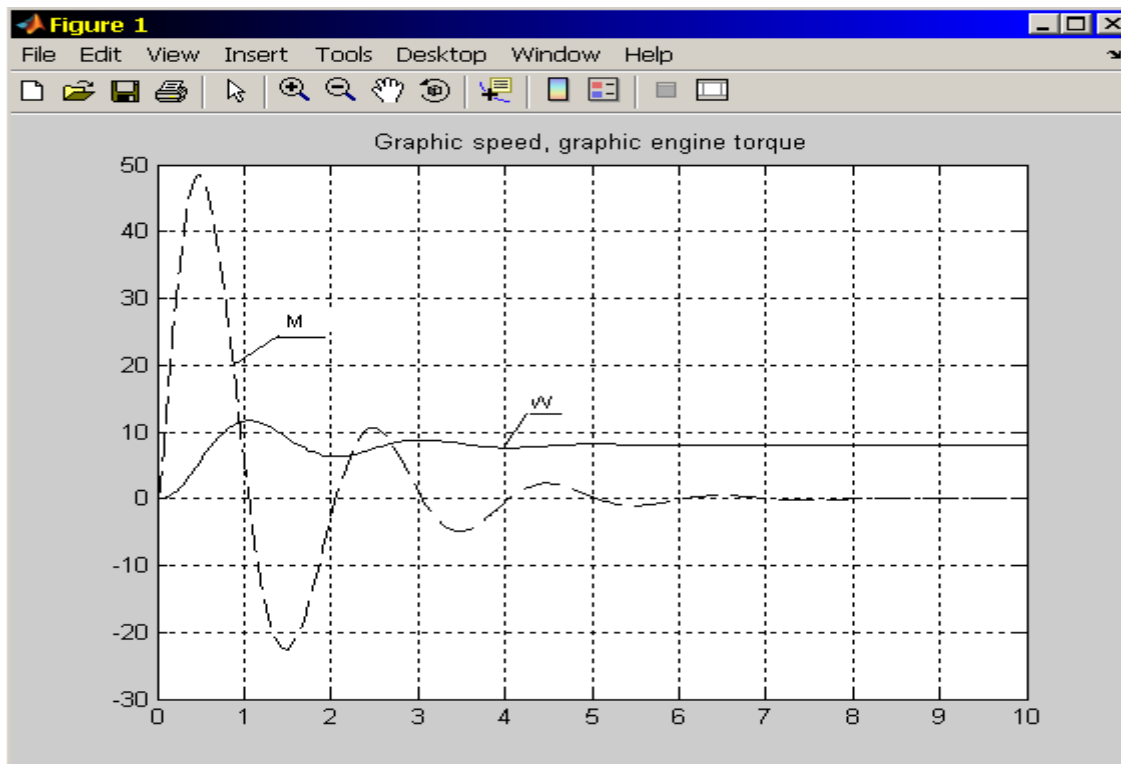
Қос қозғалтқышты электр жетек динамикасының өтпелі үрдісінің гарфиктерін салыстыру үшін, тиімді басқару сигналын ескеріп, және ескермей, дифференциалды теңдеулерді шешудің сандық әдісін – Рунге – Кутта әдісін қолданамыз [4]. Дифференциалды теңдеулерді басқару әсеріне $U(t) = 40$ секіріспен шешудің бағдарламасы 26 суретте көрсетілген.



```
Editor - C:\Program Files\MLAB71\work\Runge_Kutta.m
File Edit Text Cell Tools Debug Desktop Window Help
1 function runge
2 - x0=[0;0;0;0;0;0];
3 - interval=[0 10];
4 - [T,X]=ode45(@system,interval,x0);
5 - plot(T,X(:,1),'k-');
6 - hold on
7 - plot(T,X(:,2),'k--');
8 - grid
9 - title('Graphic speed, graphic engine torque');
10 function dx=system(t,x)
11 - dx=zeros(6,1);
12 - dx(1)=0.38*x(2);
13 - dx(2)=101.7*x(3)-101.7*x(1)-20*x(2);
14 - dx(3)=20*(2+0.3*(x(4)-x(1)))-5*x(1);
15 - dx(4)=0.38*x(5);
16 - dx(5)=101.7*x(6)-101.7*x(4)-20*x(5);
17 - dx(6)=20*(2-0.3*(x(4)-x(1)))-5*x(4);
18 - end
19 - end
runge / system Ln 19 Col 4 OVR
```

26 сурет - Қос қозғалтқышты электр жетек динамикасының дифференциалды теңдеулерін берілген әсерге секіріспен шешудің бағдарламасы

Жылдамдық бойынша кері байланыстағы ЖТ-АҚ бірінші жүйенің жылдамдығы W мен электр магнитті сәтінің W берілген әсерге өтпелі үрдістерінің секіріспен графигі 27 суретте көрсетілген. Жылдамдық бойынша кері байланыстағы ЖТ-АҚ бірінші жүйенің және екінші жүйенің өтпелі үрдістерінің сәйкес келетінін, айта кетейік. Жылдамдық бойынша кері байланыстағы ЖТ-АҚ жүйенің асинхронды қозғалтқышының жылдамдығының өтпелі үрдісінің графигі түзу сызықпен, ал асинхронды қозғалтқыштың электр магниттік сәтінің гарфигі пунктир сызықпен көрсетілген. Асинхронды қозғалтқыштың жылдамдығының өтпелі үрдісінің уақыты $t = 2,5c$ құрайды, ал қайта реттеу $\sigma = 38\%$ құрайды.



27 сурет - Жылдамдықтың өтпелі үрдісінің және сәтінің берілген әрекеттің секірісіне графигі

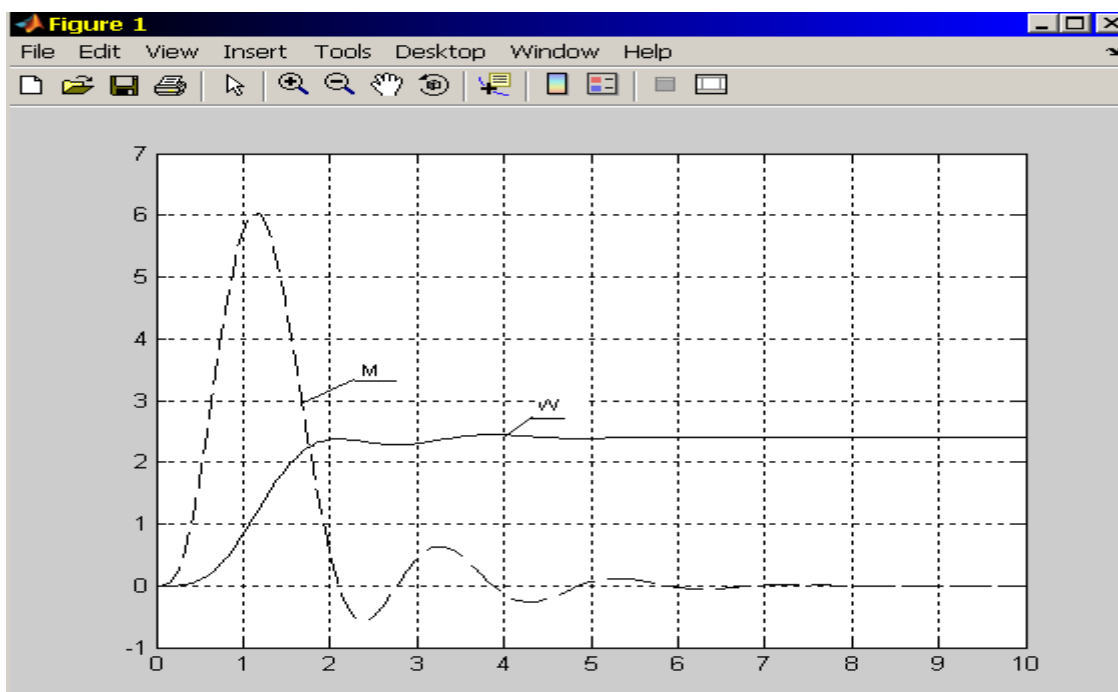
Тиімді басқаруды ескергендегі дифференциалды теңдеулер жүйесінің шешу бағдарламасы 28 суретте көрсетілген.

```

Editor - C:\Program Files\MLAB71\work\UPRAV1.m
File Edit Text Cell Tools Debug Desktop Window Help
1 function uprav
2 - x0=[0;0;0;0;0;0;0;0];
3 - interval=[0 10];
4 - [T,X]=ode45(@system,interval,x0);
5 - plot(T,X(:,1),'k-');
6 - hold on
7 - plot(T,X(:,2),'k--');
8 - grid
9 function dx=system(t,x)
10 - dx=zeros(8,1);
11 - dx(1)=0.38*x(2);
12 - dx(2)=101.7*x(3)-101.7*x(1)-20*x(2);
13 - dx(3)=x(7)*(2+0.3*(x(4)-x(1)))-5*x(1);
14 - dx(4)=0.38*x(5);
15 - dx(5)=101.7*x(6)-101.7*x(4)-20*x(5);
16 - dx(6)=x(7)*(2-0.3*(x(4)-x(1)))-5*x(4);
17 - dx(7)=x(8);
18 - dx(8)=20-3.33*x(8)-3.33*x(7);
19 - end
20 - end
    
```

28 сурет - Басқарушы әсерді ескергендегі қос қозғалтқышты электр жетек динамикасының дифференциалды теңдеулерін шешу графигі

Тиімді басқаруды ескергендегі қос қозғалтқышты электр жетек динамикасының жылдамдығының өтпелі үрдісінің W және электр магнитті M сәтінің графигі 29 суретте көрсетілген.



29 сурет - Тиімді басқаруды ескергендегі жылдамдықтың өтпелі үрдісінің W және электр магнитті M сәтінің графигі

Асинхронды қозғалтқыштың жылдамдығының өтпелі үрдісінің уақыты $t = 2c$ құрайды, ал қайта реттеу $\sigma \approx 0\%$ құрайды.

27 және 29 суретте графиктерін салыстырып, тиімді басқарылатын қос қозғалтқышты электр жетек динамикасының өтпелі үрдісі, өтпелі үрдістің сапа көрсеткіштері бойынша, тиімді басқаруды ескермегендегі өтпелі үрдіске қарағанда ұтымды екенін айта кетейік. Тиімді басқарылатын электр магниттің максималды мәндері, тиімді басқаруды ескермегендегі максималды мәндерден әлдеқайда төмен, бұл әсіресе, берілген электр жетекті іске қосу режимі үшін өте маңызды.

3.4.2 Жиілік түрлендіргішті көпқозғалтқышты асинхронды электржетегінің математикалық моделі

Жартылай өткізгішті жиіліктік түрлендіргіш-қысқа тұйықталған роторлы асинхронды қозғалтқыш жүйесі реттелетін электр жетегінің соңғы жылдары басты техникалық шешімі болып табылады. Әсіресе бұл электржетегін модернизациялау кезінде ыңғайлы, себебі барлық жабдықтар қалады да, тек торап пен қозғалтқыш арасына жүйенің техникалық және

экономикалық түрсіпатын радикалды өзгертетін жаңа элемент – жиілік түрлендіргіші қосылады. Жиіліктік реттеу кезінде баяу реттеу тәсілі қозғалтқыштың орамаларына берілген кернеудің жиілігін өзгерту болып табылады.

3.4.3 Жиілік түрлендіргішті көпқозғалтқышты асинхронды электржетектерінің дифференциалдық теңдеулері

Жиілік түрлендіргішті (ЖТ) КАЭЖ элементтерінің математикалық сипатталуы бірқозғалтқышты ЖТ-АҚ жүйесі элементтерінің математикалық сипатталуы негізінде құрылады. Тұрақты ток буыны бар жиілік түрлендіргішті көпқозғалтқышты асинхронды электр жетегі кернеу түзеткіштерінен, фильтрлардан, кернеу инверторларынан, асинхронды қозғалтқыштардан тұрады.

Асинхронды қозғалтқыштардың теңдеулері келесі түрде жазылады:

$$\begin{aligned}
 u_{1nu} &= p\psi_{1nu} - \omega_{kn}\psi_{1nu} + R_{1n}i_{1nu}; \\
 u_{1nv} &= p\psi_{1nv} + \omega_{kn}\psi_{1nv} + R_{1n}i_{1nv}; \\
 p\psi_{2nu} &= (\omega_{kn} - \omega_{\varepsilon n})\psi_{2nu} - R_{2n}i_{2nu}; \\
 p\psi_{2nv} &= -(\omega_{kn} - \omega_{\varepsilon n})\psi_{2nv} - R_{2n}i_{2nv}; \\
 \psi_{1nu} &= \psi_{0nu} + L_{1n\sigma}i_{1nu}; \\
 \psi_{1nv} &= \psi_{0nv} + L_{1n\sigma}i_{1nv}; \\
 \psi_{0nu} &= L_{0n}i_{0nu}; \\
 \psi_{0nv} &= L_{0n}i_{0nv}; \\
 i_{0nu} &= i_{1nu} + i_{2nu}; \\
 i_{0nv} &= i_{1nv} + i_{2nv}; \\
 M_n &= \frac{3}{2}P_{\text{m}}(\psi_{0nu}i_{1nv} - \psi_{0nv}i_{1nu}); \\
 p\omega_{\varepsilon n} &= \frac{P_{\text{m}}}{J_n}(M_n - M_{cn}),
 \end{aligned} \tag{3.19}$$

мұнда n – қозғалтқыштар саны;

$u_{1nu}, u_{1nv}, i_{1nu}, i_{1nv}, \psi_{1nu}, \psi_{1nv}$ - АҚ-тардың статор орамаларының түрлендірілген кернеулері, токтары және толық ағын іліністері;

$i_{2nu}, i_{2nv}, \psi_{2nu}, \psi_{2nv}$ - АҚ-тардың ротор орамаларының түрлендірілген токтары және толық ағын іліністері;

$i_{0nu}, i_{0nv}, \psi_{0nu}, \psi_{0nv}$ - нәтижесіндегі магниттелу токтары және басты ағын іліністері.

Кернеудің автономды инверторларының теңдеулері:

$$\begin{aligned}
f_{nu} &= \frac{1}{2U_{0n}} u_{nu}^*; \\
f_{nv} &= \frac{1}{2U_{0n}} u_{nv}^*; \\
u_{nnu} &= u_{nu} f_{nu}; \\
u_{nnv} &= u_{nv} f_{nv}; \\
i_{nn} &= \frac{3}{2} (i_{1nu} f_{nu} + i_{1nv} f_{nv}),
\end{aligned} \tag{3.20}$$

мұнда u_{nu}^* , u_{nv}^* - түрлендірілген тапсырма беруші әсерлер;
 f_{nu} , f_{nv} - ортамәнді коммутациялық функциялар;
 U_{0n} - тіректік сигналдардың амплитудалары;
 u_{nu} - инверторлардың қорек көздерінің кернеуі;
 i_{nn} - инверторлардың ортамәнді қорек токтары;
 u_{nnu} , u_{nnv} - инверторлардың ортамәнді шығыс кернеулері;
 i_{1nu} , i_{1nv} - инверторлардың ортамәнді шығыс токтары.

Кернеу түзеткіштерінің теңдеулері:

$$\begin{aligned}
u_{nu} &= u_{vnu}; \\
u_{nv} &= u_{vnv}; \\
f_{vnu} &= \frac{2\sqrt{3}}{\pi} \cos(\theta_{ni} - \theta_{nk}); \\
f_{vnv} &= \frac{2\sqrt{3}}{\pi} \sin(\theta_{ni} - \theta_{nk}); \\
u_{vn} &= \frac{3}{2} (u_{vnu} f_{vnu} + u_{vnv} f_{vnv}); \\
i_{nu} &= i_{vn} f_{vnu}; \quad i_{nv} = i_{vn} f_{vnv}; \\
\omega_{nk} &= p\theta_{nk},
\end{aligned} \tag{3.21}$$

мұнда u_{nu} , u_{nv} , i_{nu} , i_{nv} - торап кернеулерінің және токтарының түрлендірілген негізгі гармоникалары;

u_{vnu} , u_{vnv} - түзеткіштердің күштік кірісіндегі кернеудің түрлендірілген негізгі гармоникалары;

f_{vnu} , f_{vnv} - түзеткіштердің коммутациялық функцияларының түрлендірілген негізгі гармоникалары;

θ_{ni} - түзеткіштердің коммутациялық функциясының жалпыланған векторының немесе торап кернеуінің A фазасының осіне қатысты торап тогының нәтижесіндегі векторының бұрылу бұрышы;

θ_{nk} - координаталар жүйесінің бұрылу бұрышы;

$u_{вн}$, $i_{вн}$ - түзеткіштердің шығысындағы кернеу мен ток.

Тұрақты ток буынындағы фильтрлердің теңдеулері:

$$\begin{aligned} p i_{вн} &= \frac{u_{вн} - R_{нр.ф} i_{вн} - u_{ни}}{L_{нр.ф}}; \\ p u_{ни} &= \frac{i_{сн}}{C_{б.фн}}; \\ i_{сн} &= i_{вн} - i_{ни}, \end{aligned} \quad (3.22)$$

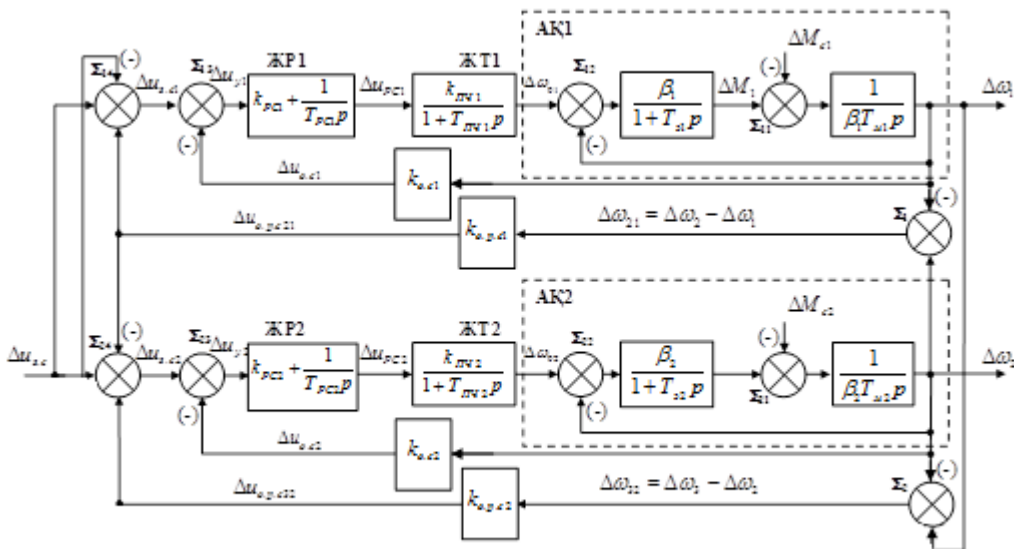
мұнда $R_{нр.ф}$, $L_{нр.ф}$ - LC-фильтрлердің тегістегіш реакторының активті кедергісі және индуктивтілігі;

$C_{б.фн}$ - фильтрлердің конденсаторлық батареяларының сыйымдылықтары;

$i_{сн}$ - фильтрлердің конденсаторларының токтары.

3.4.4 Жиілік түрлендіргішті көпқозғалтқышты асинхронды электржетегінің құрылымдық схемасын құру және математикалық сипатталуы

ЖТ КАЭЖ-нің жоғарыда сипатталған элементтер мен байланыстар негізінде құрылған құрылымдық схемасы 30 суретте көрсетілген.



30 сурет – Жылдамдық бойынша кері байланысымен ЖТ-АҚ жүйесі бойынша екіқозғалтқышты асинхронды электржетегінің құрылымдық схемасы

ЖТ КАЭЖ қысқа тұйықталған роторлы үш асинхронды қозғалтқыштан,

үш жиілік түрлендіргіштерінен, үш жылдамдық реттегіштерінен тұрады. Әр «ЖТ-АҚ» жүйесінің жылдамдықтары бойынша $k_{o.c1}$, $k_{o.c2}$ коэффициенттерімен кері байланыстары бар. Асинхронды қозғалтқыштардың синхронды айналуы үшін қозғалтқыштардың жылдамдықтарының келіспеуі бойынша $k_{o.p.c1}$, $k_{o.p.c2}$ коэффициенттерімен кері байланыстары енгізілген. Бірінші қозғалтқыштың $\Delta\omega_1$ айналу жылдамдығы және екінші қозғалтқыштың $\Delta\omega_2$ айналу жылдамдығы Σ_1 салыстыру құрылғысында салыстырылады да шығысындағы $\Delta u_{o.p.c21} = k_{o.p.c1} \Delta\omega_{21}$ сигналы Σ_{14} құрылғысына беріледі, онда берілген $\Delta u_{o.p.c21}$ сигналы $\Delta u_{3.c}$ тапсырма беретін басқару сигналымен және бірінші және үшінші қозғалтқыштың жылдамдықтарының келіспеуі бойынша $\Delta u_{o.p.c13}$ теріс сигналымен салыстырылады, одан кейін Σ_{14} құрылғысынан $\Delta u_{3.c1}$ тапсырма беретін сигналы КАЭЖ-нің бірінші ЖТ АҚ-на беріледі. Екінші $\Delta\omega_2$ қозғалтқыштың айналу жылдамдығы Σ_2 құрылғысында салыстырылады да шығысындағы $\Delta u_{o.p.c32} = k_{o.p.c2} \Delta\omega_{32}$ сигналы Σ_{24} құрылғысына беріледі.

Қозғалтқыштарының жылдамдықтарының келіспеуі бойынша кері байланыстарымен және ортақ тапсырма беретін сигналымен ЖТ КАЭЖ-нің құрылымдық схемасы жиілік түрлендіргішті екіқозғалтқышты асинхронды электр жетегінің жылдамдықтары бойынша кері байланыстарын анықтау әдістемесін құруға, сонымен қатар әртүрлі кері байланыс коэффициенттерінің мәндерінде өтпелі процестерді сараптауға және ЖТ КАЭЖ-нің Matlab7.0 программалық пакетінде барлық мүмкін жұмыс режимдерін модельдеуге мүмкіндік береді.

Жиілік түрлендіргіштерімен үшқозғалтқышты асинхронды электржетегінің динамикасын сипаттайтын дифференциалдық теңдеулерді келесі түрде көрсетуге болады:

1-ші қозғалтқыш үшін

$$\begin{cases} p\Delta\omega_1 = \frac{1}{\beta T_{m1}} M_1 - \frac{1}{\beta T_{m1}} M_{c1}; \\ pM_1 = \frac{\beta_1}{T_{\beta 1}} \Delta\omega_{01} - \frac{\beta_1}{T_{\beta 1}} \Delta\omega_1 - \frac{1}{T_{\beta 1}} M_1; \\ p\Delta\omega_{01} = \frac{k_{пч1}}{T_{пч1}} \Delta u_{PC1} - \frac{1}{T_{пч1}} \Delta\omega_{01}; \\ p\Delta u_{PC1} = p\Delta u_{\beta 1} k_{PC1} - k_{o.c1} k_{PC1} p\Delta\omega_1 + \frac{\Delta u_{\beta 1}}{T_{PC1}} - \frac{k_{o.c1}}{T_{PC1}} \Delta\omega_1, \end{cases} \quad (3.23)$$

мұнда $\Delta u_{\beta 1} = \Delta u_{\beta} + k_{o.p.c1} (\Delta\omega_2 - \Delta\omega_1) - k_{o.p.c3} (\Delta\omega_1 - \Delta\omega_3)$.

2-ші КАЭЖ-нің бірқозғалтқышты электржетектері үшін тапсырма беруші сигналдар сәйкесінше:

$$\Delta u_{\beta 2} = \Delta u_{\beta} + k_{o.p.c2} (\Delta\omega_3 - \Delta\omega_2) - k_{o.p.c1} (\Delta\omega_2 - \Delta\omega_1); \quad (3.24)$$

2-ші қозғалтқыш үшін дифференциалдық теңдеу (3.23), (3.24) бойынша сәйкесінше анықталады.

Сонымен, жиілік түрлендіргішті үшқозғалтқышты асинхронды

электржетегінің динамикасын сипаттайтын дифференциалдық теңдеулер жүйесі келесі түрде жазылады:

$$\left\{ \begin{array}{l}
 p\Delta\omega_1 = \frac{1}{\beta_1 T_{m1}} M_1 - \frac{1}{\beta_1 T_{m1}} M_{c1}; \\
 pM_1 = \frac{\beta_1}{T_{\omega 1}} \Delta\omega_{01} - \frac{\beta_1}{T_{\omega 1}} \Delta\omega_1 - \frac{1}{T_{\omega 1}} M_1; \\
 p\Delta\omega_{01} = \frac{k_{ПЧ1}}{T_{ПЧ1}} \Delta u_{PC1} - \frac{1}{T_{ПЧ1}} \Delta\omega_{01}; \\
 p\Delta u_{PC1} = \frac{k_{PC1} k_{o.p.c1}}{\beta_2 T_{m2}} (M_2 - M_{c2}) - \frac{k_{PC1} (k_{o.p.c1} + k_{o.p.c3} + k_{o.c1})}{\beta_1 T_{m1}} (M_1 - M_{c1}) + \\
 + \frac{k_{PC1} k_{o.p.c3}}{\beta_3 T_{m3}} (M_3 - M_{c3}) + \frac{\Delta u_3}{T_{PC1}} + \frac{k_{o.p.c1}}{T_{PC1}} \Delta\omega_2 - \frac{k_{o.p.c1} + k_{o.p.c3} + k_{o.c1}}{T_{PC1}} \Delta\omega_1 + \frac{k_{o.p.c3}}{T_{PC1}} \Delta\omega_3; \\
 p\Delta\omega_2 = \frac{1}{\beta_2 T_{m2}} M_2 - \frac{1}{\beta_2 T_{m2}} M_{c2}; \\
 pM_2 = \frac{\beta_2}{T_{\omega 2}} \Delta\omega_{02} - \frac{\beta_2}{T_{\omega 2}} \Delta\omega_2 - \frac{1}{T_{\omega 2}} M_2; \\
 p\Delta\omega_{02} = \frac{k_{ПЧ2}}{T_{ПЧ2}} \Delta u_{PC2} - \frac{1}{T_{ПЧ2}} \Delta\omega_{02}; \\
 p\Delta u_{PC2} = \frac{k_{PC2} k_{o.p.c2}}{\beta_3 T_{m3}} (M_3 - M_{c3}) - \frac{k_{PC2} (k_{o.p.c2} + k_{o.p.c1} + k_{o.c2})}{\beta_2 T_{m2}} (M_2 - M_{c2}) + \\
 + \frac{k_{PC2} k_{o.p.c1}}{\beta_1 T_{m1}} (M_1 - M_{c1}) + \frac{\Delta u_3}{T_{PC2}} + \frac{k_{o.p.c2}}{T_{PC2}} \Delta\omega_3 - \frac{k_{o.p.c2} + k_{o.p.c1} + k_{o.c2}}{T_{PC2}} \Delta\omega_2 + \frac{k_{o.p.c1}}{T_{PC2}} \Delta\omega_1;
 \end{array} \right. \quad (3.25)$$

Алынған (3.25) ЖТ КАЭЖ-нің математикалық моделін орнықтылыққа тексеру үшін, жылдамдық бойынша кері байланыс коэффициенттерін ($k_{o.c1}$, $k_{o.c2}$) және жылдамдықтарының келіспеуі бойынша кері байланыс коэффициенттерін ($k_{o.p.c1}$, $k_{o.p.c2}$) анықтау қажет.

3.5 «Жиілік түрлендіргіш-асинхронды қозғалтқыш» жүйесінің жылдамдық бойынша кері байланыс коэффициенттерін есептеу әдістемесі

ЖТ-АҚ жүйесінде орнықтылық және реттеу сапасының динамикалық көрсеткіштері жылдамдық бойынша кері байланыс коэффициенттеріне айтарлықтай мөлшерде тәуелді.

Қозғалтқыштардың жылдамдықтарының келіспеуі бойынша кері байланыс коэффициенттерін анықтау үшін, алдымен КАЭЖ-дегі әр ЖТ-мен АҚ үшін жылдамдық бойынша кері байланыс коэффициенттері анықталады.

3.5.1 Көпқозғалтқышты асинхронды электржетегіндегі «жиілік түрлендіргіш-асинхронды қозғалтқыш» жүйесінің жылдамдық бойынша кері байланыс коэффициентін есептеу

ЖТ-АҚ жүйесінің бірқозғалтқышты электр жетегінің динамикасын, 2.11 суреттегі құрылымдық схемаға сәйкес, келесі дифференциалдық теңдеумен өрнектеуге болады:

$$T_{\vartheta(1,2,3)}T_{m(1,2)} \frac{d^2 \Delta \omega_{(1,2)}}{dt^2} + T_{m(1,2)} \frac{d \Delta \omega_{(1,2)}}{dt} + \Delta \omega_{(1,2)} = \Delta \omega_{0(1,2)}, \quad (3.26)$$

мұнда $T_{\vartheta(1,2)}$ - АҚ1-2 статор және ротордың эквивалентті электрмагнитті уақыт тұрақтысы;

$T_{m(1,2)}$ - электрмеханикалық уақыт тұрақтысы;

$\Delta \omega_{(1,2)}$ - АҚ1-2 білігінің бұрыштық жылдамдығының өсімшесі.

Қойылған мәселені (кері байланыс коэффициенттерін анықтау) шешу ыңғайлы болу үшін, (3.26) дифференциалдық теңдеуі келесі түрде келтіріледі:

$$\begin{cases} \frac{d \Delta \omega_{(1,2)}}{dt} = y_{(1,2)}; \\ \frac{dy_{(1,2)}}{dt} = \frac{1}{T_{\vartheta(1,2)}T_{m(1,2)}} \Delta \omega_{0(1,2)} - \frac{1}{T_{\vartheta(1,2)}} y_{(1,2)} - \frac{1}{T_{\vartheta(1,2)}T_{m(1,2)}} \Delta \omega_{(1,2)}. \end{cases} \quad (3.27)$$

Сонымен қатар жиілік түрлендіргіші және жылдамдық реттегіші төмендегі теңдеулермен өрнектеледі деп ұйғарым енгізіледі:

$$\Delta \omega_{0(1,2)} = K_{ПЧ(1,2)} \Delta u_{PC(1,2)}; \quad (3.28)$$

$$\Delta u_{PC(1,2)} = K_{PC(1,2)} \Delta u_{y(1,2)}, \quad (3.29)$$

мұнда $K_{ПЧ(1,2)}$ - жиілік түрлендіргішінің беріліс коэффициенті;

$K_{PC(1,2)}$ - жылдамдық реттегішінің беріліс коэффициенті.

Қабылданған (3.28), (3.29) ұйғарымдарын және

$$\Delta u_{y(1,2)} = \Delta u_{\omega(1,2)} - k_{\omega(1,2)} \Delta \omega_{(1,2)}, \quad (3.30)$$

теңдеуін ескере отырып, түрлендірулерден кейін, яғни (3.30) теңдеуі (3.29) теңдеуіне, (3.29) теңдеуі (3.28) теңдеуіне, ал алынған (3.28) теңдеуі (3.27) теңдеулер жүйесінің екінші теңдеуіне қойылады да нәтижесінде (3.27) теңдеулер жүйесі келесі түрге ие болады:

$$\begin{cases} \frac{d\Delta\omega_{(1,2)}}{dt} = y_{(1,2)}; \\ \frac{dy_{(1,2)}}{dt} = \frac{K_{p(1,2)}}{T_{\vartheta(1,2)}T_{m(1,2)}}\Delta u_{\vartheta(1,2)} - \frac{K_{p(1,2)}k_{o.c(1,2)}}{T_{\vartheta(1,2)}T_{m(1,2)}}\Delta\omega_{(1,2)} - \frac{1}{T_{\vartheta(1,2)}}y_{(1,2)} - \frac{1}{T_{\vartheta(1,2)}T_{m(1,2)}}\Delta\omega_{(1,2)}, \end{cases} \quad (3.31)$$

мұнда $K_{n.c(1,2)}K_{p.c(1,2)} = K_{p(1,2)}$.

(3.31) теңдеуіне $K_{p1} = K_{пч1}K_{pc1} = 2 \cdot 20 = 40$, $T_{\vartheta 1} = 0,086$ с, $T_{m1} = 0,344$ с мәндерін қойып, $\Delta\omega_{(1,2)} = x_1$, $y_{(1,2)} = x_2$ белгілеулерден кейін (3.31) дифференциалдық теңдеулер жүйесі келесі түрде жазылады:

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = x_2; \\ \frac{dx_2}{dt} = 1352.08u_{\vartheta} - (1352.08k_{o.c1} + 33.8)x_1 - 11.628x_2. \end{cases} \quad (2.42)$$

А.М. Ляпуновтың тура тәсілінің теоремасына сәйкес, (2.42) жүйесі орнықты болу үшін, келесі шарт орындалу қажет:

$$V = -\frac{dV}{dt}, \quad (2.43)$$

мұнда V - Ляпунов функциясы;

$\frac{dV}{dt}$ - Ляпунов функциясының толық туындысы.

Сонымен, кері байланыс коэффициенттерін анықтау жоғарыда келтірілген (2.43) шарты бойынша орындалады.

Берілген V функциясы келесі түрде жазылады:

$$V = A_{11}x_1^2 + A_{12}x_1x_2 + A_{22}x_2^2. \quad (2.44)$$

V функциясының дербес туындылары:

$$\begin{cases} \frac{\partial V}{\partial x_1} = 2A_{11}x_1 + A_{12}x_2; \\ \frac{\partial V}{\partial x_2} = 2A_{22}x_2 + A_{12}x_1. \end{cases} \quad (2.45)$$

Ляпунов функциясының толық туындысы келесі түрде жазылады:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\partial V}{\partial x_1} \cdot \frac{dx_1}{dt} + \frac{\partial V}{\partial x_2} \cdot \frac{dx_2}{dt}. \quad (2.46)$$

(2.45) теңдеулерін және (2.42) теңдеулер жүйесін (2.46) теңдеуіне қойып, (2.46) теңдеуі келесі түрде жазылады:

$$\frac{dV}{dt} = (2A_{11}x_1 + A_{12}x_2) \cdot x_2 + (2A_{22}x_2 + A_{12}x_1) \cdot (- (1352.08k_{o.c1} + 33.8)x_1 - 11.628x_2), \quad (2.47)$$

немесе

$$\begin{aligned} \frac{dV}{dt} = & 2A_{11}x_1x_2 - 2704.16k_{o.c1}A_{22}x_1x_2 - 67.6A_{22}x_1x_2 - 11.628A_{12}x_1x_2 - \\ & - 1352.08k_{o.c1}A_{12}x_1^2 - 33.8A_{12}x_1^2 + A_{12}x_2^2 - 23.256A_{22}x_2^2. \end{aligned} \quad (2.48)$$

(2.43) теңдеуіне (2.48) және (2.44) теңдеулерін қойып, келесі өрнек алынады:

$$\begin{aligned} A_{11}x_1^2 + A_{12}x_1x_2 + A_{22}x_2^2 + 2A_{11}x_1x_2 - 2704.16k_{o.c1}A_{22}x_1x_2 - 67.6A_{22}x_1x_2 - \\ - 11.628A_{12}x_1x_2 - 1352.08k_{o.c1}A_{12}x_1^2 - 33.8A_{12}x_1^2 + A_{12}x_2^2 - 23.256A_{22}x_2^2 = 0. \end{aligned} \quad (2.49)$$

x_1 , x_2 және x_1x_2 сәйкес дәрежелерін ескере отырып, (2.49) теңдеуінің коэффициенттерін нөлге теңестіріледі де алгебралық теңдеулер жүйесі құрылады:

$$\begin{cases} A_{11} - 1352.08k_{o.c1}A_{12} - 33.8A_{12} = 0; \\ A_{12} + 2A_{11} - 2704.16k_{o.c1}A_{22} - 67.6A_{22} - 11.628A_{12} = 0; \\ A_{22} + A_{12} - 23.256A_{22} = 0. \end{cases} \quad (2.50)$$

Түрлендірулерден кейін (2.50) теңдеулер жүйесі келесі түрде жазылады:

$$\begin{cases} A_{11} - (1352.08k_{o.c1} + 33.8)A_{12} = 0; \\ 2A_{11} - (2704.16k_{o.c1} + 67.6)A_{22} - 10.628A_{12} = 0; \\ A_{12} - 22.256A_{22} = 0. \end{cases} \quad (2.51)$$

(2.51) теңдеулер жүйесінен белгісіздер саны (A_{11} , A_{12} , A_{22} , $K_{o.c1}$) теңдеулер санынан көп екендігі көрінеді. Сондықтан көп айнымалылар функциясын минимизациялау үшін Монте-Карло әдісі және координат бойынша түсу әдісі қолданылады [61]. Бұл кезде (2.51) теңдеулер жүйесі, көп айнымалылар функциясы ретінде, келесі түрде жазылады:

$$\begin{aligned} F = & [A_{11} - (1352.08k_{o.c1} + 33.8)A_{12}]^2 + [2A_{11} - (2704.16k_{o.c1} + 67.6)A_{22} - 10.628A_{12}]^2 + \\ & + [A_{12} - 22.256A_{22}]^2. \end{aligned} \quad (2.52)$$

(2.52) көп айнымалылар функциясын шешудің программасы Matlab.7

тілінің алгоритмінде құрылған.

Берілген (2.52) теңдеуін шешу үшін 2.13,а суретте көрсетілген m-file құрылды, ал оның есептеу нәтижелері 2.13,б-суретте көрсетілген.

```

1 function Koc
2 x1=rand;
3 x2=rand;
4 x3=rand;
5 k=rand;
6 j=0;
7 while j<30000
8 f=((x1-(1352.08*k+33.8)*x2)^2)+((2*x1-10.628*x2-(2704.16*k+67.6)*x3)^2)+...
9 ((x2-22.256*x3)^2);
10 if abs(f)<=0.001; break; end;
11 j=j+1;
12 end
    
```

```

k=
0.4078

k=
0.3844

k=
0.3227

k=
0.5055

k=
0.0162

k=
0.4619

k=
0.4454
    
```

а)

б)

2.13 сурет – $k_{o.cl}$ мәнін анықтау үшін m-file (а) және есептеу нәтижелерінің терезесі (б)

$k_{o.cl}$ коэффициенттердің кездейсоқ алынған 77 мәнінен ең жиі кездескен сандары таңдалды, яғни 0,2... - 5 рет, 0,4... - 8 рет, 0,6... - 18 рет, 0,8 – 8 рет, олардың мәндері 2.1 кестеге енгізілді.

Кері байланыс коэффициенттерінің $k_{o.cl}$ оптималды мәнін анықтау үшін орташа мәндері алынып, олардың динамикалық сипаттамалары салыстырылады.

(2.42) теңдеулер жүйесіне $k_{o.c}$ мәндерін қойып, өтпелі процестерді анықтау үшін 2.14,а суретте көрсетілген программа құрылды да ол бойынша алынған графиктер 2.14,б суретте көрсетілген.

Кесте 2.1 – $k_{o.cl}$ кері байланыс коэффициенттерінің мәндері

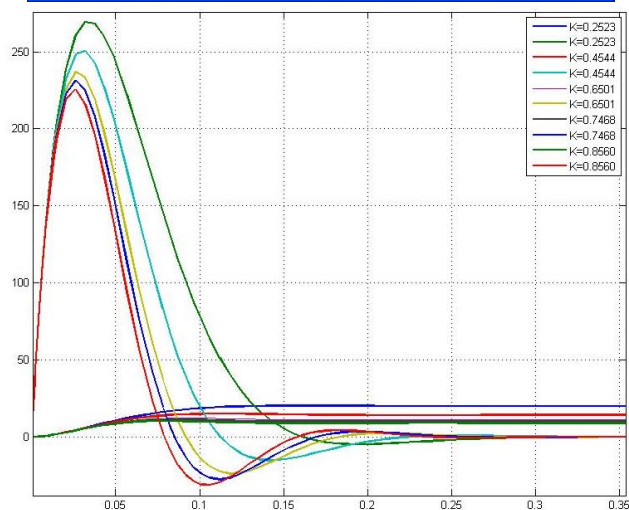
кері байланыс коэффициенттерінің мәндері	$k_{o.cl}=0,2\dots$	$k_{o.cl}=0,4\dots$	$k_{o.cl}=0,6\dots$	$k_{o.cl}=0,7\dots$	$k_{o.cl}=0,8\dots$
Кері байланыс коэффициенттерінің кездейсоқ мәндері	k=0.2897	k=0.4860	k=0.6038	k=0.7919	k=0.8936
	k=0.2523	k=0.4057	k=0.6721	k=0.7468	k=0.8801
	k=0.2324	k=0.4186	k=0.6822	k=0.7889	k=0.8928
	k=0.2393	k=0.4289	k=0.6979	k=0.7313	k=0.8903

	k=0.2644	k=0.4120 k=0.4544 k=0.4574 k=0.4893	k=0.6449 k=0.6213 k=0.6614 k= 0.6435 k=0.6288 k=0.6299 k=0.6124 k=0.6315 k=0.6756 k=0.6458 k=0.6501 k=0.6318 k=0.6991 k=0.6649		k=0.8560 k=0.8376 k=0.8066 k=0.8230
Орташа мәні	0,2556	0,444	0,6498	0,7647	0,86
Орташа мәніне жақын мәні	0,2523	0,4544	0,6501	0,7468	0,8560

```

Editor - C:\Program Files\MATLAB71\work\K.m
File Edit Text Cell Tools Debug Desktop Window Help
1 function dx=K(t,x)
2 dx=zeros(10,1);
3 koc1=0.2;
4 koc2=0.4;
5 koc3=0.6;
6 koc4=0.7;
7 koc5=0.8;
8 dx(1)=x(2);
9 dx(2)=1352.08*380-11.628*x(2)-(1352.08*koc1+33.8)*x(1);
10 dx(3)=x(4);
11 dx(4)=1352.08*380-11.628*x(4)-(1352.08*koc2+33.8)*x(3);
12 dx(5)=x(6);
13 dx(6)=1352.08*380-11.628*x(6)-(1352.08*koc3+33.8)*x(5);
14 dx(7)=x(8);
15 dx(8)=1352.08*380-11.628*x(8)-(1352.08*koc4+33.8)*x(7);
16 dx(9)=x(10);
17 dx(10)=1352.08*380-11.628*x(10)-(1352.08*koc5+33.8)*x(9);
18 end
K Ln 1 Col 1 OVR

```



a)

b)

2.14 сурет – Өтпелі процестерді анықтауға арналған программа (а)
және өтпелі процестер графигі

2.14,б суретінде көрсетілген өтпелі процестер графиктері бойынша өтпелі процесс уақыты және асыра реттеу бойынша кері байланыс коэффициентінің $k_{o.c}=0,4544$ мәні оптималды вариант болып табылады.

Зерттеліп отырған екіқозғалтқышты ленталы конвейердің қозғалтқыштары бірдей болғандықтан, жылдамдық бойынша кері байланыс коэффициенттерінің мәндері бірдей қабылданады $k_{o.c1}=k_{o.c2}$.

2.3.2 «Жиілік түрлендіргіш-асинхронды қозғалтқыш» жүйесінің екіқозғалтқышты электржетегінің жылдамдық бойынша кері байланыс коэффициенттерін есептеу

Көпқозғалтқышты асинхронды электр жетегі жылдамдықтарының келіспеуі бойынша кері байланыс коэффициенттерін анықтау үшін, $T_s T_m \ll 0$ болғандықтан, (2.36) теңдеуін келесі түрде жазуға болады:

$$T_{m(1,2,3)} \frac{d\Delta\omega_{(1,2,3)}}{dt} + \Delta\omega_{(1,2,3)} = \Delta\omega_{0(1,2,3)}, \quad (2.53)$$

мұнда $\Delta\omega_{0(1,2,3)} = K_{p(1,2,3)}\Delta u_{z(1,2,3)} - K_{p(1,2,3)}k_{o.c(1,2,3)}\Delta\omega_{(1,2,3)}$.

(2.53) теңдеуін түрлендіргеннен кейін:

$$T_{m(1,2,3)} \frac{d\Delta\omega_{(1,2,3)}}{dt} + (1 + K_{p(1,2,3)}k_{o.c(1,2,3)})\Delta\omega_{(1,2,3)} = K_{p(1,2,3)}\Delta u_{z(1,2,3)}. \quad (2.54)$$

Көпқозғалтқышты электржетегінің динамикасын сипаттайтын дифференциалдық теңдеулер жүйесі келесі түрде жазылады:

$$\begin{cases} \frac{d\Delta\omega_1}{dt} = \frac{K_{p1}}{T_{m1}} \Delta u_{z1} - \frac{1 + K_{p1}k_{o.c1}}{T_{m1}} \Delta\omega_1; \\ \frac{d\Delta\omega_2}{dt} = \frac{K_{p2}}{T_{m2}} \Delta u_{z2} - \frac{1 + K_{p2}k_{o.c2}}{T_{m2}} \Delta\omega_2; \end{cases} \quad (2.55)$$

мұнда

$$\begin{aligned} \Delta u_{z1} &= \Delta u_z + k_{o.p.c1}(\Delta\omega_2 - \Delta\omega_1) - k_{o.p.c3}(\Delta\omega_1 - \Delta\omega_3); \\ \Delta u_{z2} &= \Delta u_z + k_{o.p.c2}(\Delta\omega_3 - \Delta\omega_2) - k_{o.p.c1}(\Delta\omega_2 - \Delta\omega_1). \end{aligned} \quad (2.56)$$

Жүйе қозғалтқыштары бірдей болғандықтан, (2.55) теңдеуінде

$$K_{p1} = K_{p2}, T_{m1} = T_{m2}, k_{o.c1} = k_{o.c2}, \frac{K_{p(1,2)}}{T_{m(1,2)}} = \epsilon, \frac{1 + K_{p(1,2)}k_{o.c(1,2)}}{T_{m(1,2)}} = a.$$

Шартты түрде белгілеулер енгізіледі:

$$\begin{aligned}\varphi_1 &= \Delta\omega_2 - \Delta\omega_1; \\ \varphi_2 &= \Delta\omega_3 - \Delta\omega_2.\end{aligned}\tag{2.57}$$

Алынған теңдеулердің туындылары:

$$\begin{aligned}\dot{\varphi}_1 &= \Delta\dot{\omega}_2 - \Delta\dot{\omega}_1; \\ \dot{\varphi}_2 &= \Delta\dot{\omega}_3 - \Delta\dot{\omega}_2.\end{aligned}\tag{2.58}$$

(2.55) теңдеулер жүйесі шартты белгілеулерден кейін келесі түрде жазылады:

$$\begin{cases} \frac{d\Delta\omega_1}{dt} = \epsilon(\Delta u_3 + k_{o.p.c1}\varphi_1 - k_{o.p.c3}\varphi_3) - a\Delta\omega_1; \\ \frac{d\Delta\omega_2}{dt} = \epsilon(\Delta u_3 + k_{o.p.c2}\varphi_2 - k_{o.p.c1}\varphi_1) - a\Delta\omega_2. \end{cases}\tag{2.59}$$

$k_{o.p.c1}, k_{o.p.c2}$ коэффициенттерін анықтау бойынша есептеулер барысында басқарушы әсер Δu_3 ескерілмейді.

(2.59) теңдеулер жүйесі (2.58) теңдеулеріне қойылады.

$$\begin{aligned}\dot{\varphi}_1 &= \epsilon(k_{o.p.c2}\varphi_2 - k_{o.p.c1}\varphi_1) - a\Delta\omega_2 - \epsilon(k_{o.p.c1}\varphi_1 - k_{o.p.c3}\varphi_3) + a\Delta\omega_1; \\ \dot{\varphi}_2 &= \epsilon(k_{o.p.c3}\varphi_3 - k_{o.p.c2}\varphi_2) - a\Delta\omega_3 - \epsilon(k_{o.p.c2}\varphi_2 - k_{o.p.c1}\varphi_1) + a\Delta\omega_2,\end{aligned}\tag{2.60}$$

мұнда бірінші теңдеуде $a\Delta\omega_2 - a\Delta\omega_1 = a\varphi_1$. Сәйкесінше екінші және үшінші теңдеулерде $a\Delta\omega_3 - a\Delta\omega_2 = a\varphi_2$.

(2.60) теңдеулерін түрлендіргеннен соң:

$$\begin{aligned}\dot{\varphi}_1 &= \epsilon k_{o.p.c2}\varphi_2 - (2\epsilon k_{o.p.c1} + a)\varphi_1 + \epsilon k_{o.p.c3}\varphi_3; \\ \dot{\varphi}_2 &= \epsilon k_{o.p.c3}\varphi_3 - (2\epsilon k_{o.p.c2} + a)\varphi_2 + \epsilon k_{o.p.c1}\varphi_1.\end{aligned}\tag{2.61}$$

Квадраттық функция (Ляпунов функциясы) келесі түрде жазылады:

$$V = A_{11}\varphi_1^2 + A_{12}\varphi_1\varphi_2 + A_{12}\varphi_1\varphi_2 + A_{22}\varphi_2^2.\tag{2.62}$$

(2.62) формуланың туындысы:

$$\begin{cases} \frac{\partial V}{\partial \varphi_1} = 2A_{11}\varphi_1 + A_{12}\varphi_2 + A_{13}\varphi_3; \\ \frac{\partial V}{\partial \varphi_2} = 2A_{22}\varphi_2 + A_{12}\varphi_1 + A_{23}\varphi_3. \end{cases} \quad (2.63)$$

Берілген мәселені шешуді оңайлату үшін Ляпунов функциясының $\left(\frac{dV}{dt}\right)$ толық туындысының қосылғыштары табылады:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{\partial V}{\partial \varphi_1} \cdot \frac{d\varphi_1}{dt} + \frac{\partial V}{\partial \varphi_2} \cdot \frac{d\varphi_2}{dt}. \quad (2.64)$$

Бірінші қосылғыш

$$\begin{aligned} \frac{\partial V}{\partial \varphi_1} \cdot \frac{\partial \varphi_1}{\partial t} &= (2A_{11}\varphi_1 + A_{12}\varphi_2 + A_{13}\varphi_3) (\epsilon k_{o.p.c2}\varphi_2 - (2\epsilon k_{o.p.c1} + a)\varphi_1 + \epsilon k_{o.p.c3}\varphi_3) = \\ &= 2\epsilon A_{11}k_{o.p.c2}\varphi_1\varphi_2 + \epsilon A_{12}k_{o.p.c2}\varphi_2^2 + \epsilon A_{13}k_{o.p.c2}\varphi_2\varphi_3 - \\ &- 2A_{11}(2\epsilon k_{o.p.c1} + a)\varphi_1^2 - A_{12}(2\epsilon k_{o.p.c1} + a)\varphi_1\varphi_2 - A_{13}(2\epsilon k_{o.p.c1} + a)\varphi_1\varphi_3 + \\ &+ 2\epsilon A_{11}k_{o.p.c3}\varphi_1\varphi_3 + \epsilon A_{12}k_{o.p.c3}\varphi_2\varphi_3 + \epsilon A_{13}k_{o.p.c3}\varphi_3^2. \end{aligned} \quad (2.65)$$

Екінші қосылғыш

$$\begin{aligned} \frac{\partial V}{\partial \varphi_2} \cdot \frac{\partial \varphi_2}{\partial t} &= (2A_{22}\varphi_2 + A_{12}\varphi_1 + A_{23}\varphi_3) (\epsilon k_{o.p.c3}\varphi_3 - (2\epsilon k_{o.p.c2} + a)\varphi_2 + \epsilon k_{o.p.c1}\varphi_1) = \\ &= 2\epsilon A_{22}k_{o.p.c3}\varphi_2\varphi_3 + \epsilon A_{12}k_{o.p.c3}\varphi_1\varphi_3 + \epsilon A_{23}k_{o.p.c3}\varphi_3^2 - \\ &- 2A_{22}(2\epsilon k_{o.p.c2} + a)\varphi_2^2 - A_{12}(2\epsilon k_{o.p.c2} + a)\varphi_1\varphi_2 - A_{23}(2\epsilon k_{o.p.c2} + a)\varphi_2\varphi_3 + \\ &+ 2\epsilon A_{22}k_{o.p.c1}\varphi_1\varphi_2 + \epsilon A_{12}k_{o.p.c1}\varphi_1^2 + \epsilon A_{23}k_{o.p.c1}\varphi_1\varphi_3. \end{aligned} \quad (2.66)$$

(2.43) және (2.64)-(2.6) теңдеулерінен

$$\begin{aligned}
V + \frac{dV}{dt} = & A_{11}\varphi_1^2 + A_{12}\varphi_1\varphi_2 + A_{13}\varphi_1\varphi_3 + A_{22}\varphi_2^2 + A_{23}\varphi_2\varphi_3 + A_{33}\varphi_3^2 + \\
& + 2\mathcal{A}_{11}k_{o,p,c2}\varphi_1\varphi_2 + \mathcal{A}_{12}k_{o,p,c2}\varphi_2^2 + \mathcal{A}_{13}k_{o,p,c2}\varphi_2\varphi_3 - \\
& - 2A_{11}(2\mathcal{B}k_{o,p,c1} + a)\varphi_1^2 - A_{12}(2\mathcal{B}k_{o,p,c1} + a)\varphi_1\varphi_2 - A_{13}(2\mathcal{B}k_{o,p,c1} + a)\varphi_1\varphi_3 + \\
& + 2\mathcal{A}_{11}k_{o,p,c3}\varphi_1\varphi_3 + \mathcal{A}_{12}k_{o,p,c3}\varphi_2\varphi_3 + \mathcal{A}_{13}k_{o,p,c3}\varphi_3^2 + \\
& + 2\mathcal{A}_{22}k_{o,p,c3}\varphi_2\varphi_3 + \mathcal{A}_{12}k_{o,p,c3}\varphi_1\varphi_3 + \mathcal{A}_{23}k_{o,p,c3}\varphi_3^2 - \\
& - 2A_{22}(2\mathcal{B}k_{o,p,c2} + a)\varphi_2^2 - A_{12}(2\mathcal{B}k_{o,p,c2} + a)\varphi_1\varphi_2 - A_{23}(2\mathcal{B}k_{o,p,c2} + a)\varphi_2\varphi_3 + \\
& + 2\mathcal{A}_{22}k_{o,p,c1}\varphi_1\varphi_2 + \mathcal{A}_{12}k_{o,p,c1}\varphi_1^2 + \mathcal{A}_{23}k_{o,p,c1}\varphi_1\varphi_3 + \\
& + 2\mathcal{A}_{33}k_{o,p,c1}\varphi_1\varphi_3 + \mathcal{A}_{23}k_{o,p,c1}\varphi_1\varphi_2 + \mathcal{A}_{13}k_{o,p,c1}\varphi_1^2 - \\
& - 2A_{33}(2\mathcal{B}k_{o,p,c3} + a)\varphi_3^2 - A_{23}(2\mathcal{B}k_{o,p,c3} + a)\varphi_2\varphi_3 - A_{13}(2\mathcal{B}k_{o,p,c3} + a)\varphi_1\varphi_3 + \\
& + 2\mathcal{A}_{33}k_{o,p,c2}\varphi_2\varphi_3 + \mathcal{A}_{23}k_{o,p,c2}\varphi_2^2 + \mathcal{A}_{13}k_{o,p,c2}\varphi_1\varphi_2.
\end{aligned} \tag{2.67}$$

(2.68) теңдеуінің φ_1 ; φ_2 және $\varphi_1\varphi_2$, $\varphi_2\varphi_1$ сәйкес дәрежелерінде коэффициенттерін нөлге теңестіріп, $A_{11}, A_{12}, A_{21}, A_{22}$ және $k_{o,c1}, k_{o,c2}$ анықтау үшін алгебралық теңдеулер жүйесі құрылады:

$$\begin{aligned}
\varphi_1^2 & \Rightarrow A_{11} - 2A_{11}(2\mathcal{B}k_{o,p,c1} + a) + \mathcal{A}_{12}k_{o,p,c1} + \mathcal{A}_{13}k_{o,p,c1} = 0; \\
\varphi_2^2 & \Rightarrow A_{22} + \mathcal{A}_{12}k_{o,p,c2} - 2A_{22}(2\mathcal{B}k_{o,p,c2} + a) + \mathcal{A}_{23}k_{o,p,c2} = 0; \\
\varphi_1\varphi_2 & \Rightarrow A_{12} + 2\mathcal{A}_{11}k_{o,p,c2} - A_{12}(2\mathcal{B}k_{o,p,c1} + a) - A_{12}(2\mathcal{B}k_{o,p,c2} + a) + \\
& + 2\mathcal{A}_{22}k_{o,p,c1} + \mathcal{A}_{23}k_{o,p,c1} + \mathcal{A}_{13}k_{o,p,c2} = 0; \\
\varphi_2\varphi_1 & \Rightarrow A_{12} - A_{12}(2\mathcal{B}k_{o,p,c1} + a) + 2\mathcal{A}_{11}k_{o,p,c2} + \mathcal{A}_{12}k_{o,p,c2} + \mathcal{A}_{21}k_{o,p,c1} + \\
& + 2\mathcal{A}_{22}k_{o,p,c1} - A_{11}(2\mathcal{B}k_{o,p,c3} + a) = 0;
\end{aligned} \tag{2.69}$$

Matlab программасында мәселені шешу ыңғайлылығы үшін айнымалылар келесі түрде алмастырылады: $A_{11} = x_1$; $A_{12} = x_2$; $A_{21} = x_2$;

$$\mathcal{B} = \frac{K_{p(1,2)}}{T_{m(1,2)}} = 50, \quad a = \frac{1 + K_{p(1,2)}k_{o,c(1,2)}}{T_{m(1,2)}} = 22,5.$$

Сонда (2.69) теңдеулері төмендегідей жазылады:

$$\begin{aligned}
(-200k_{o,p,c1} - 44)x_1 + 50k_{o,p,c1}x_2 + 50k_{o,p,c1}x_3 & = 0; \\
50k_{o,p,c2}x_2 + (-200k_{o,p,c2} - 44)x_4 + 50k_{o,p,c2}x_5 & = 0; \\
50k_{o,p,c3}x_3 + 50k_{o,p,c3}x_5 + (-200k_{o,p,c3} - 44)x_6 & = 0; \\
100k_{o,p,c2}x_1 + (-100k_{o,p,c1} - 100k_{o,p,c2} - 44)x_2 + 100k_{o,p,c1}x_4 + 50k_{o,p,c1}x_5 + 50k_{o,p,c2}x_3 & = 0; \\
(-100k_{o,p,c1} - 100k_{o,p,c3} - 44)x_3 + 100k_{o,p,c3}x_1 + 50k_{o,p,c3}x_2 + 50k_{o,p,c1}x_5 + 100k_{o,p,c1}x_6 & = 0; \\
50k_{o,p,c2}x_3 + 50k_{o,p,c3}x_2 + 100k_{o,p,c3}x_4 + (-100k_{o,p,c2} - 100k_{o,p,c3} - 44)x_5 + 100k_{o,p,c2}x_6 & = 0.
\end{aligned} \tag{2.7}$$

0)

Берілген теңдеулер жүйесін шешу үшін Matlab.7 тілінің алгоритмдерінде құрылған программасы 2.15, 2.16 суреттерде көрсетілген

[62].

```

1 function f=mac(x1,x2,x3,x4,x5,x6)
2 global k1 k2 k3
3 k1=1/exp(rand);
4 k2=1/exp(rand);
5 k3=1/exp(rand);
6 f=(-200*k1+44)*x1+50*k1*x2+50*k1*x3)^2+(50*k2*x2+(-200*k2-44)*x4+50*k2*x5)^2+...
7 (50*k3*x3+50*k3*x5+(-200*k3-44)*x6)^2+(100*k2*x1+(-100*k1-100*k2-44)*x2+100*k1*x4+...
8 50*k1*x5+50*k2*x3)^2+((-100*k1-100*k3-44)*x3+100*k3*x1+50*k3*x2+50*k1*x5+100*k1*x6)^2+...
9 (50*k2*x3+50*k3*x2+100*k3*x4+(-100*k2-100*k3-44)*x5+100*k2*x6)^2;

```

2.15 сурет – $k_{o.p.c1}$, $k_{o.p.c2}$ анықтауға арналған бағыныңқы программа тас

```

1 function darun
2 global k1 k2 k3
3 n=6; h=input('h='); e=input('e=');
4 % Бастапқы жауықтауды енгізу
5 for i=1:n
6 % a(i)=input(strcat('a',int2str(i),'='));
7 a(i)=1;
8 end
9 g=0;s1=0;s2=0;s3=0;
10 m=10;
11 for i=1:m
12 j=1;
13 while j<1000
14 s=1;
15 while s~=0
16 for i=1:n
17 z=a(i);
18 v=mac(a(1),a(2),a(3),a(4),a(5),a(6));
19 a(i)=z-h;
20 w=mac(a(1),a(2),a(3),a(4),a(5),a(6));
21 a(i)=z+h;
22 u=mac(a(1),a(2),a(3),a(4),a(5),a(6));
23 t=w*(2^z+h)-4*v*z+u*(2^z-h);
24 t=t/(w-2^v+u)/2;
25 if abs(t-z)<=e s=0;end
26 a(i)=t;
27 end;
28 if s==0 break; end
29 end;
30 j=j+1;
31 end;
32 % disp('a(1)=');disp(a(1));
33 s1=s1+k1;s2=s2+k2;s3=s3+k3;
34 g=g+1;
35 if g==m break;end
36 end
37 cr1=s1/m;cr2=s2/m;cr3=s3/m;
38 % disp('cr1=');disp(cr1);
39 disp('Көэффициенттерді есептеу нәтижелері');
40 fprintf('cr1=%4.1f cr2=%4.1f cr3=%4.1f,cr1,cr2,cr3');
41 end

```

```

h=0.01
e=0.001
Көэффициенттерді есептеу нәтижелері
cr1= 0.6 cr2= 0.6 cr3= 0.6>>
h=0.01
e=0.001
Көэффициенттерді есептеу нәтижелері
cr1= 0.7 cr2= 0.7 cr3= 0.6>>
h=0.01
e=0.001
Көэффициенттерді есептеу нәтижелері
cr1= 0.7 cr2= 0.6 cr3= 0.5>>
h=0.01
e=0.001
Көэффициенттерді есептеу нәтижелері
cr1= 0.6 cr2= 0.6 cr3= 0.6>>
h=0.01
e=0.001
Көэффициенттерді есептеу нәтижелері
cr1= 0.6 cr2= 0.6 cr3= 0.8>>
h=0.01
e=0.001
Көэффициенттерді есептеу нәтижелері
cr1= 0.5 cr2= 0.7 cr3= 0.7>>
h=0.01
e=0.001
Көэффициенттерді есептеу нәтижелері
cr1= 0.6 cr2= 0.7 cr3= 0.7>>
h=0.01
e=0.001
Көэффициенттерді есептеу нәтижелері
cr1= 0.8 cr2= 0.6 cr3= 0.6>>

```

а)

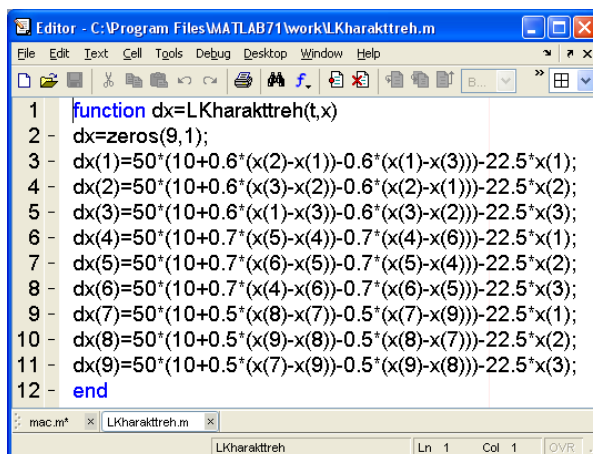
б)

2.16 сурет – $k_{o.p.c1}$, $k_{o.p.c2}$ коэффициенттерін анықтауға арналған m-file (а) және осы коэффициенттерді есептеу нәтижелерінің командалық терезесі $k_{o.p.c1}$, $k_{o.p.c2}$ (б)

Есептеу нәтижелері көрсетіп тұрғандай, ең жиі кездесетін жылдамдықтардың келіспеуі бойынша кері байланыс коэффициенттерінің мәндері 0,6; 0,5 және 0,7. Алынған мәнің бірін таңдау өтпелі процестер графиктері бойынша орындалады.

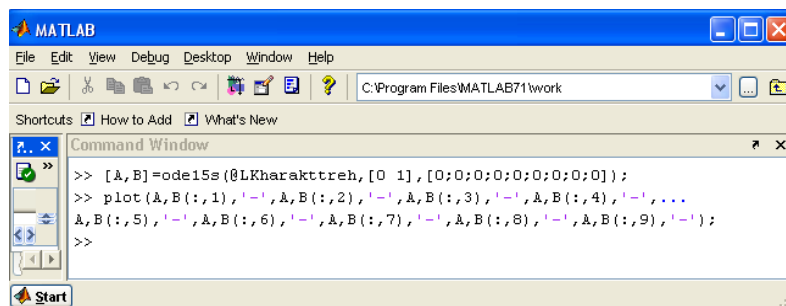
Өтпелі процестерді анықтау программасы 2.17, 2.18 суреттерде

көрсетілген.



```
1 function dx=LKharaktreh(t,x)
2 dx=zeros(9,1);
3 dx(1)=50*(10+0.6*(x(2)-x(1))-0.6*(x(1)-x(3)))-22.5*x(1);
4 dx(2)=50*(10+0.6*(x(3)-x(2))-0.6*(x(2)-x(1)))-22.5*x(2);
5 dx(3)=50*(10+0.6*(x(1)-x(3))-0.6*(x(3)-x(2)))-22.5*x(3);
6 dx(4)=50*(10+0.7*(x(5)-x(4))-0.7*(x(4)-x(6)))-22.5*x(1);
7 dx(5)=50*(10+0.7*(x(6)-x(5))-0.7*(x(5)-x(4)))-22.5*x(2);
8 dx(6)=50*(10+0.7*(x(4)-x(6))-0.7*(x(6)-x(5)))-22.5*x(3);
9 dx(7)=50*(10+0.5*(x(8)-x(7))-0.5*(x(7)-x(9)))-22.5*x(1);
10 dx(8)=50*(10+0.5*(x(9)-x(8))-0.5*(x(8)-x(7)))-22.5*x(2);
11 dx(9)=50*(10+0.5*(x(7)-x(9))-0.5*(x(9)-x(8)))-22.5*x(3);
12 end
```

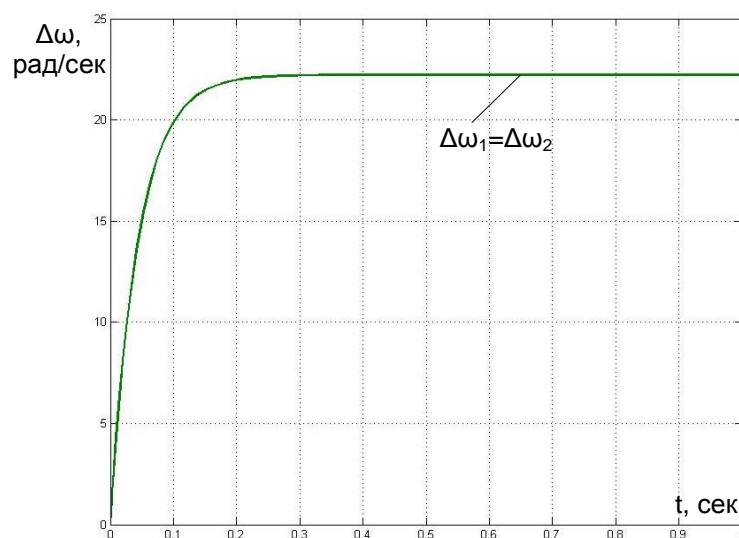
2.17 сурет – Кері байланыс коэффициенттерінің әртүрлі мәндеріндегі өтпелі процестерді анықтауға арналған m-file



```
>> [A,B]=ode15s(@LKharaktreh,[0 1],[0;0;0;0;0;0;0;0;0]);
>> plot(A,B(:,1),'-r',A,B(:,2),'-b',A,B(:,3),'-g',A,B(:,4),'-m',...
A,B(:,5),'-c',A,B(:,6),'-k',A,B(:,7),'-r',A,B(:,8),'-b',A,B(:,9),'-r');
>>
```

2.18 сурет – Өтпелі процестердің графиктерін алуға арналған командалық терезе

2.19 суретте сорғының екіқозғалтқышты электржетегі қозғалтқыштарының жылдамдықтарының келіспеуі бойынша кері байланыс коэффициенттерінің әртүрлі мәндеріндегі өтпелі процестер графиктері көрсетілген.



2.19 сурет – Өтпелі процестер графиктері

Алынған қозғалтқыштардың жылдамдықтарының келіспеуі бойынша кері байланыс коэффициенттерінің әртүрлі мәндеріндегі өтпелі процестердің бір-бірінен айырмашылығы жоқтығын 2.19 суреттен көруге болады. Демек, кері байланыс коэффициенттерінің мәні ретінде алынған мәндердің орташа мәні 0,6 қабылданады, ал ленталы конвейердің үшқозғалтқышты электржетегі қозғалтқыштары біртүрлі болғандықтан, кері байланыс коэффициенттерінің мәндері бір-біріне тең етіп қабылданады.

2.7 Екінші бөлім бойынша тұжырым

1. Роторлары электрік байланысқан синхронды айналатын көпқозғалтқышты асинхронды электржетегінің математикалық моделі құрылды, КАЭЖ-нің құрылымдық схемасы құрылып, ол бойынша электр қозғалтқыштарының біліктеріндегі әртүрлі жүктемелері кезінде өтпелі процестерінің модельдеуі көрсетілген.

2. Жиілік түрлендіргішті үшқозғалтқышты асинхронды электржетегінің математикалық моделі және оның сызықтандырылған құрылымдық схемасы құрылды, бірқозғалтқышты электржетегі үшін жылдамдық бойынша кері байланыс коэффициенттерін анықтау және көпқозғалтқышты асинхронды электржетегінің жылдамдықтарының келіспеуі бойынша кері байланыс коэффициенттерін анықтау әдістемесі құрылды.

3. Лентаның тартылысын ескеретін ленталы конвейердің жиілік түрлендіргішті үшқозғалтқышты асинхронды электржетегінің математикалық моделі және оның құрылымдық схемасы құрылды.

3 Энергияны үнемдейтін реттелетін көпқозғалтқышты асинхронды электржетектерін құру

Қазіргі заманғы инженерлік практикада көпқозғалтқышты электржетектері құрылғыларымен технологиялық сферада энергияны үнемдеудің басты жолы реттелмейтін электржетектерінен реттелетін электржетектеріне ауысу болып табылады. Жабдықтың техникалық деңгейін жоғарылататын бұл процесс энергетикалық мәселелердің рационалды шешіміне мүмкіндік береді. Реттелетін көпқозғалтқышты электржетектерінің кең қолданысы қазіргі заманғы көпқозғалтқышты электр жетегінің өндірістік механизмдерді механикалық энергиямен қамтамасыз ететін энергияның күштік негізі ғана емес, сонымен қатар технологиялық процесті басқару құрылғысы болып табылады. Себебі қазіргі кезде өндірістік процестердің сапасын іске асыру мәселелері технологиялық автоматтандыру жүйелерімен бірге реттелетін электржетектерінің басқару жүйелеріне жүктеледі. Электр энергиясына баға өсіп бара жатқандықтан және энергияны өндіретін қондырғылардың қуатын арттыру мүмкіндігі шектеулі болғандықтан, энергияны үнемдеу проблемаларын шешу үшін реттелетін көпқозғалтқышты электржетектерін құру өнеркәсіптің әртүрлі салаларында ерекше сипатқа ие болуда.

Қазіргі кезде жартылай өткізгіштік құрылғылармен асинхронды қозғалтқыштарды басқару жүйелерінің дамуымен, әсіресе, тиристорлық кернеу түрлендіргіштерімен (ТКТ) және жиілік түрлендіргіштерімен КАЭЖ-нің реттелетін жүйелері кең қолданыс тапты. Әрине, бұл жүйелердің әрқайсысы техникалық талаптарынан және объектінің технологиялық процестері қоятын талаптарынан таңдалады. Берілген тарауда энергияны минималды тұтынуды және электр энергиясын үнемдеуді қамтамасыз ететін басқару жүйесін таңдау үшін қолданыстағы және құрылатын КАЭЖ-нің жүйелері сарапталады.

3.1 Реттелетін электржетектері энергияны үнемдеу құрылғысы ретінде

Автоматтандырылған электр жетегі, оның ішінде көпқозғалтқышты электржетегі электрлік энергияның механикалық энергияға басқарылатын түрленуін және керісінше түрленуін жүзеге асыратын, электрлік және механикалық бөліктері өзара әсерде болатын электр энергиясын үнемдеуге мүмкіндік беретін күрделі электрмеханикалық жүйе болып табылады.

3.1.1 Электржетектерімен энергияны үнемдеу жолдары

Электржетегінің күштік каналының әр элементінде энергияны тарату және түрлендіру процесін, сонымен қатар күштік электрониканың даму деңгейін сараптай отырып, КЭЖ-нің энергетикалық тиімділігін жоғарылатудың келесідей негізгі жолдарын анықтауға болады:

– арнайы техникалық құралдарды – энергияны үнемдеу, баяу іске қосылу және тежелу функцияларын орындайтын, торап пен қозғалтқыштың

статоры арасына қосылатын электрлік энергияның реттеуіштерін жасау;

– энергияның күштік түрлендіргіштерін (реттеуіштерін) қолдана отырып, реттелмейтін электр жетектерін реттелетін электр жетектеріне ауысу.

Біріншіден, электржетегі арқылы жұмыс істейтін технологиялық процеспен технологиялық кешенде реттелетін электржетектерін қолдану энергияны үнемдеуге мүмкіндік береді;

Екіншіден, пайдалы энергетикалық және басқа эффектілерді алу үшін кейбір аралықта электржетегінің координаталарын өзгерту қажет болады, мысалы, ортадан тепкіш сораптардың айналу жылдамдығының аз ғана өзгерісі оның берісі мен арынының бінеше есе өзгерісіне әкеледі, демек электрлік энергияны үнемдейді;

Үшіншіден, реттелетін электржетегін қолдана отырып, белгілі бір параметрі бойынша технологиялық процесті оптималды реттеуге қол жеткізуге болады.

3.2 Тиристорлық кернеу түрлендіргішті көпқозғалтқышты асинхронды электржетектерін зерттеу

Тиристорлық кернеу түрлендіргіштері (ТКТ) айнымалы токты электржетектерінде кеңінен қолданыс тапты. Мұнда асинхронды қозғалтқыштардың статорындағы кернеуді реттеу арқылы өтпелі процестерде қозғалтқыштардың токтарының және моменттерінің реттелуі, фазалардағы токтардың симметриялығы, қозғалтқыштың бірқатар қорғанысы және т.б. операциялар қамтамасыз етіледі. Осындай операциялардың бірі аз жүктемелер кезінде асинхронды электржетектерінің энергетикалық көрсеткіштерін жоғарылатумен байланысты. Бұл функцияны орындайтын тиристорлық кернеу түрлендіргіштері тиімділіктің реттегіштері немес экономайзер деген атауға ие болды.

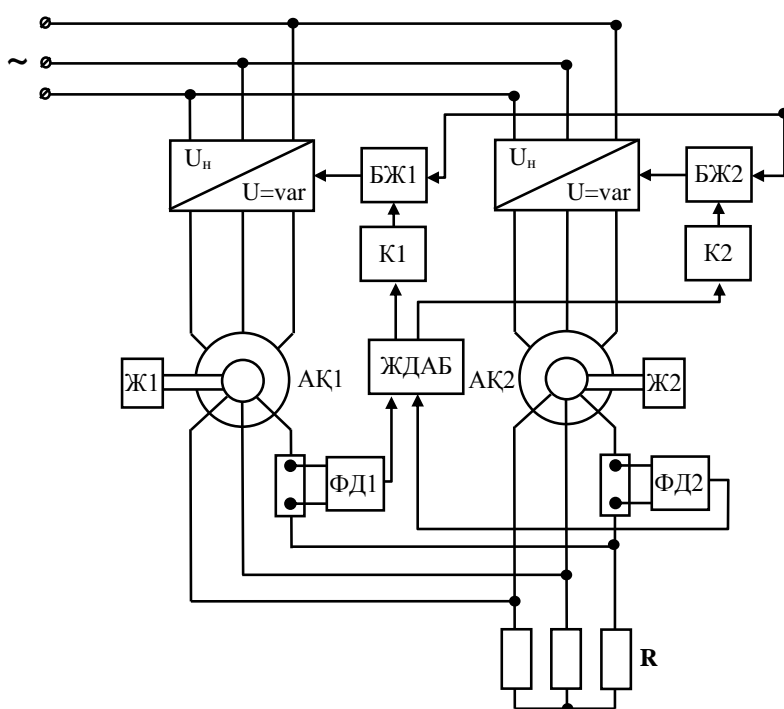
ТКТ КАЭЖ зерттеу барысында жұмысшы механизмдердің синхронды-синфазалы айналуын (қозғалысын) қамтамасыз ететін схемалық шешімдері құрылды.

ТКТ КАЭЖ электр қозғалтқыштарының айналу жылдамдығын реттеу және синхронды айналуын ұстап тұру тәсілдері бойынша күштік элементтердің жалғану схемаларын сарапталуынан 3.1-суретте жүзеге асырылуы қарапайым ТКТ КАЭЖ-нің схемасы келтірілген.

Реттеу сапасының жақсы болатындай көзқарас жағынан қарсы-параллель жалғанған тиристорлармен ТКТ-нің күштік схемасын қолданған жөн (оқшауланған бейтарабымен жұлдызша түрінде жалғануы).

Үшқозғалтқышты электржетегі роторлық орамалары ортақ үшфазалы кедергіге жалғанған үш асинхронды қозғалтқыштан тұрады. Ротор тізбегінің әрбір атаулы фазаларына ротор токтарының фаза датчиктері (ФД) жалғанған. ФД-терінен сигналдар фаза бойынша жүктелу деңгейін анықтау блогында (ЖДАБ) салыстырылады. ФД-терінің және ЖДАБ-ның дәлдігінен толығымен электржетегі жүйесінің сезгіштігі байланысты. Бұрыштардың келіспеуінің

датчиктері жоғары сенімді және қажетті дәлдікпен бұрыштардың келіспеуін үздіксіз анықтайтын болу керек. Берілген электржетегінде бұл датчиктер сонымен қатар толығымен жүйенің жұмыс қабілеттілігі байланысты реттеуші орган болып табылады. Қозғалтқыштардың синхронды айналуы мақсатында импульстік-фазалық басқару жүйелеріне (ИФБЖ1-3) реттелетін жалпы тапсырма сигналы U_T беріледі. Электр қозғалтқыштарының біліктеріндегі жүктеме бірдей болғанда, барлық қозғалтқыштың кернеу түрлендіргіштеріне бірдей басқарушы сигнал беріледі, себебі ТКТ-нің басқару жүйесіне бірдей сигнал әсер етеді $U_{\sigma 1} = U_{\sigma 2} = U_{\sigma 3} = U_T$. Бірақ тәжірибе жүзінде қозғалтқыштардың біліктеріндегі жүктемелер әртүрлі болады, бұл олардың роторлық токтарының фазаларында байқалады. Көбірек жүктелген қозғалтқыш роторының тогы азырақ жүктелген қозғалтқыштардың роторлық токтарынан фазалары бойынша озады.



3.1 сурет – Екіқозғалтқыштардың жүктелу айырмашылығын анықтайтын ТКТ КАЭЖ-нің функционалды схемасы

Берілген схемада әр қозғалтқыштың токтарының фазалары салыстырылатын бұл токтың фазасы негізгі болып табылады. Қозғалтқыштардың жүктелу деңгейі салыстыру блоктарында келесі түрде анықталады: роторлық токтардың фаза датчиктерінде роторлық токтардың фазаларына пропорционал сигналдар бөлінеді де салыстыру схемаларында ортақ роторлық токқа қатысты әр қозғалтқыштың роторлық токтарының бұрыштарының келіспеуіне пропорционал басқарушы сигналға түрленеді.

U_{T1} , U_{T2} басқару сигналдары әр қозғалтқышқа берілетін энергия ағынының өзгерісі арқылы роторлық токтардың фазаларын теңестіреді, яғни

КАЭЖ жүйесінің барлық қозғалтқыштарының айналу жылдамдықтарының синхронды айналуын қамтамасыз етеді. Ортақ роторлық кедергісімен ТКТ КАЭЖ схемасының теңестіруші моментіне қозғалтқыштардың қорек кернеуінің айырмашылығына байланысты теңестіруші әсер беріледі. Бұл кезде жылдамдығы артқан, жүктемесі азырақ қозғалтқышқа аз кернеу беріледі де жылдамдығы азырақ қозғалтқыштарға бұрыштардың келіспеу шамасына және таңбасына байланысты қорек кернеуі сәйкесінше беріледі. Көбірек жүктелген қозғалтқыштың тиристорлар тобы толығымен ашылады.

Жүйенің жалпы жылдамдығын реттеу үлкен емес диапазондарда U_T сигналын немесе бұл схемада минималды бола алатын R_k ортақ кедергіні өзгерту арқылы жүзеге асыруға болады.

3.2.1 Тиристорлық кернеу түрлендіргішті екіқозғалтқышты асинхронды электржетегінің моменттерін анықтау

Берілген ТКТ КАЭЖ жүйесінде айналдырушы моментін өзгерту арқылы қозғалтқыштың бірінің қорек кернеуінің амплитудасының өзгерісі жүйенің теңестіруші моменттеріне әсер етеді:

КАЭЖ жүйесінің қозғалтқыштары біртепті болғандықтан, айналдырушы моментті тек бір қозғалтқыш үшін ғана көрсеткен жеткілікті болады, себебі қалған қозғалтқыштар үшін айналдырушы моменттер сәйкесінше анықталады:

$$M_1 = \frac{2}{3} M_{1m} \left[\frac{3 - \sum_{L=1}^3 \frac{K_L}{K_1} \left(\cos(\varphi_L - \varphi_1) - \frac{S}{S_m} \sin(\varphi_L - \varphi_1) \right)}{\frac{S}{S_m} + \frac{S_m}{S}} + \frac{\sum_{L=1}^3 \frac{K_L}{K_1} \left(\cos(\varphi_L - \varphi_1) - \frac{S}{S'_m} \sin(\varphi_L - \varphi_1) \right)}{\frac{S}{S'_m} + \frac{S'_m}{S}} \right], \quad (3.1)$$

мұнда M_{1m} – қозғалтқыштардың максималды моменттері, $M_{1m} = \frac{U^2 K_1^2}{2\sigma_{1x}}$;

$K_L = \frac{U_L}{U_n}$ – кернеу өзгерісінің коэффициенттері, $L=1, 2, 3$.

Бірінші қозғалтқыш үшін (3.1) моментті асинхронды және синхрондаушы құраушыларға бөліп жазған кезде:

(3.2) теңдеуінде қорек кернеуі шамасының өзгерісін ескеретін коэффициенттер енгізілген. Сонымен қатар, берілген қозғалтқыштың теңестіруші моментінің шамасына басқа қозғалтқыштардың қорек кернеуінің

өзгерісі әсер етеді.

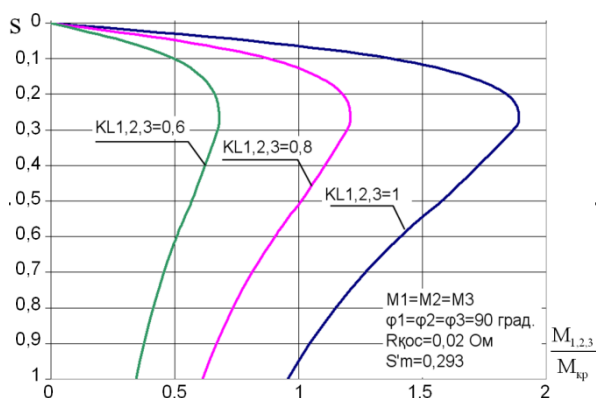
Бірінші және екінші қозғалтқыштардың арасындағы теңестіруші моментті анықтау үшін (3.2) теңдеуі бойынша екінші қозғалтқыштың моменті анықталып, төмендегі түрде табылады:

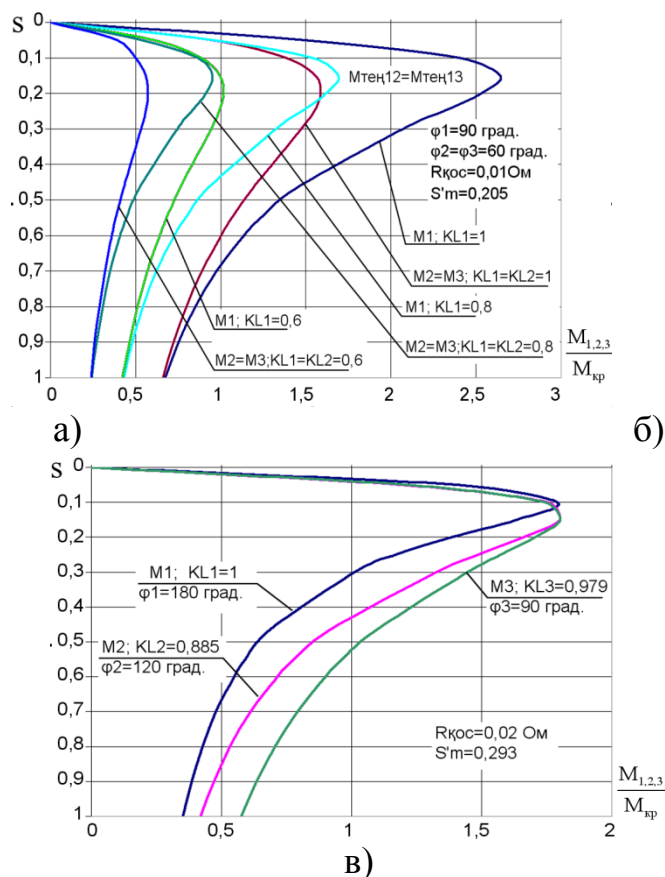
$$M_1 = \frac{U^2 K_1^2}{3\sigma_1 x} \left[\frac{3 - \sum_{L=1}^3 \frac{K_L}{K_1} \cos(\varphi_L - \varphi_1)}{\frac{S}{S_m} + \frac{S_m}{S}} + \frac{\sum_{L=1}^3 \frac{K_L}{K_1} \cos(\varphi_L - \varphi_1)}{\frac{S}{S'_m} + \frac{S'_m}{S}} \right] + \frac{U^2 K_1^2}{3\sigma_1 x} \left[\frac{\sum_{L=1}^3 \frac{K_L}{K_1} \frac{S}{S'_m} \sin(\varphi_L - \varphi_1)}{\frac{S}{S'_m} + \frac{S'_m}{S}} - \frac{\sum_{L=1}^3 \frac{K_L}{K_1} \frac{S}{S_m} \sin(\varphi_L - \varphi_1)}{\frac{S}{S_m} + \frac{S_m}{S}} \right]. \quad (3.2)$$

Жүйенің басқа қозғалтқыштары үшін теңдеулер сәйкесінше анықталады да (3.3)-тен қозғалтқыштың реттік нөміріне сәйкес индекстерімен өзгешеленеді. Реттелетін ТКТ КАЭЖ жүйесінің теңестіруші моменттері барлық қозғалтқыштардың қорек кернеуінің өзгерісі коэффициенттерін ескерумен анықталатын асинхронды және синхрондаушы құраушылардан тұрады. Реттелмейтін КАЭЖ жүйесінде синхрондау қабілеттілігі моменттің синхрондаушы құраушысымен ғана анықталады. Сәйкесінше кернеуі реттелетін КАЭЖ жүйесінің токтары, моменттері, теңестіруші моменттері өрнектерін жазуға болады.

3.2.2 Тиристорлық кернеу түрлендіргішті екіқозғалтқышты асинхронды электржетегінің механикалық сипаттамалары

Тұйықталған жүйеде жылдамдығы автоматты реттелетін ТКТ КАЭЖ электр қозғалтқыштарының механикалық сипаттамалары 3.2 суретте көрсетілген.





3.2 сурет – ТКТ КАЭЖ механикалық сипаттамалары

3.2,а суретінде көрсетілгендей, роторлардың бірдей бұрыштық келіспеулерімен әр қозғалтқыштың қорек кернеуін реттеген кезде механикалық сипаттамаларының қисықтары бірдей болады. 3,2,б суретіне сәйкес екінші және үшінші қозғалтқыштарды біріншідегіден төмен жүктелгенде кернеу шамаларын реттеген кездегі механикалық сипаттамалар көрсетілген. Кернеу шамалары әртүрлі болған кезде қозғалтқыштардың механикалық сипаттамаларының қисықтары, 3.2,в суреттеріне сәйкес, жылдамдықтарының келіспеуінің жоқтығын көрсетеді, яғни қозғалтқыштардың біліктеріндегі жүктемелері әртүрлі болған кезде қозғалтқыштардың синхронды айналуы қамтамасыз етіледі.

3.3 Энергияны үнемдейтін жиілік түрлендіргішті екіқозғалтқышты асинхронды электржетегін құру

Тиристорлы кернеу түрлендіргіштерімен реттелетін электр қозғалтқыштарының механикалық сипаттамаларын есептеген кезде статор орамасының r_1 кедергісін ескермеуге болады. Жиіліктік реттеу әдісінде жиіліктің төмендеуі қозғалтқыштың реактивті кедергісіне қатысты r_1 активті кедергісі шамасының өлшемді болатыны байқалады, сол себепті статор орамасының r_1 активті кедергісін міндетті түрде ескеру қажет.

Жиіліктік реттеу кезіндегі қозғалтқыштың моменті:

$$M_{1,2} = \frac{3U_{11,2j}^2 r'_{1,2}}{\omega_{01,2j} s_{1,2j} \left[x_{\kappa n1,2,3}^2 f_{11,2,3*}^2 + \left(r_{1,2} + \frac{r'_{1,2}}{s_{1,2j}} \right)^2 + \frac{r_{1,2} r'_{1,2}}{s_{1,2j} x_{\mu n1,2} f_{1,2*}} \right]} \quad (3.4)$$

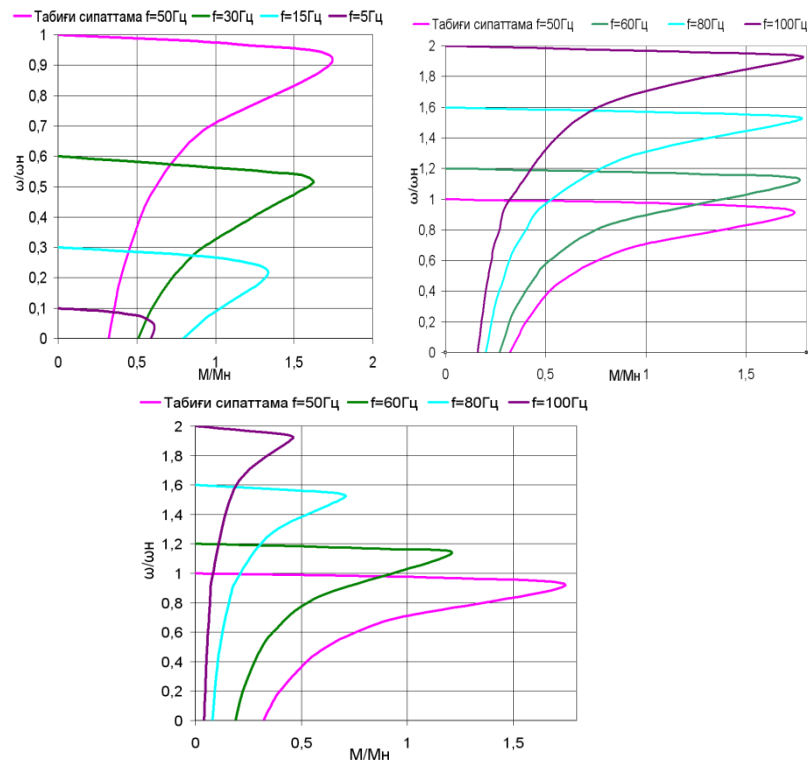
Максималды момент

$$M_{\kappa 1,2} = \frac{3U_{1,2}^2}{\omega_{01,2j} \left[r_{1,2} + \sqrt{\left(r_{1,2}^2 + x_{\kappa n1,2}^2 f_{1,2*}^2 \right) \left(1 + \frac{r_{1,2}^2}{x_{\mu n1,2}^2 f_{1,2*}^2} \right)} \right]} \quad (3.5)$$

Салыстырмалы критикалық сырғанау

$$s_{\kappa j1,2} = r'_{21,2} \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{r_{11,2}}{x_{\mu n1,2,3} f_{11,2*}} \right)^2}{r_{11,2}^2 + x_{\kappa n1,2}^2 f_{11,2,3*}^2}} \quad (3.6)$$

4A355S4Y3 маркалы қысқа тұйықталған роторлы асинхронды қозғалтқыштың айналу жылдамдығын жиіліктік реттеудің әртүрлі заңдарында ($U_1/f_1 = const$; $M_c = const$; $U_1 = const$ болғанда) есептелген механикалық сипаттамалары 3.3-суретте көрсетілген.



а)

б)

а – $U_1/f_1 = const$ болғанда; б – $M_c = const$ болғанда; в – $U_1 = const$ болғанда;

3.3 сурет – Асинхронды қозғалтқышының жиіліктік басқарудың әртүрлі заңдары кезіндегі механикалық сипаттамалары

Желдеткіштік сипаттамадан кернеудің төменгі жиіліктерінде критикалық моменттің де төмендеуі байқалады, бұл r_1 активті кедергіде кернеудің түсуіне байланысты болады (3.3,а сурет).

$M_c = const$ болғанда жиіліктің төмендеуіне байланысты кернеудің төмендеуі төмендегі формула арқылы орындалады (3.3,б сурет):

$$U_{1(2,3)} = U_{n1(2,3)} f_{11(2,3)*} + I_{n1(2,3)} r_{11(2,3)} (1 - f_{11(2,3)*}) \quad (3.7)$$

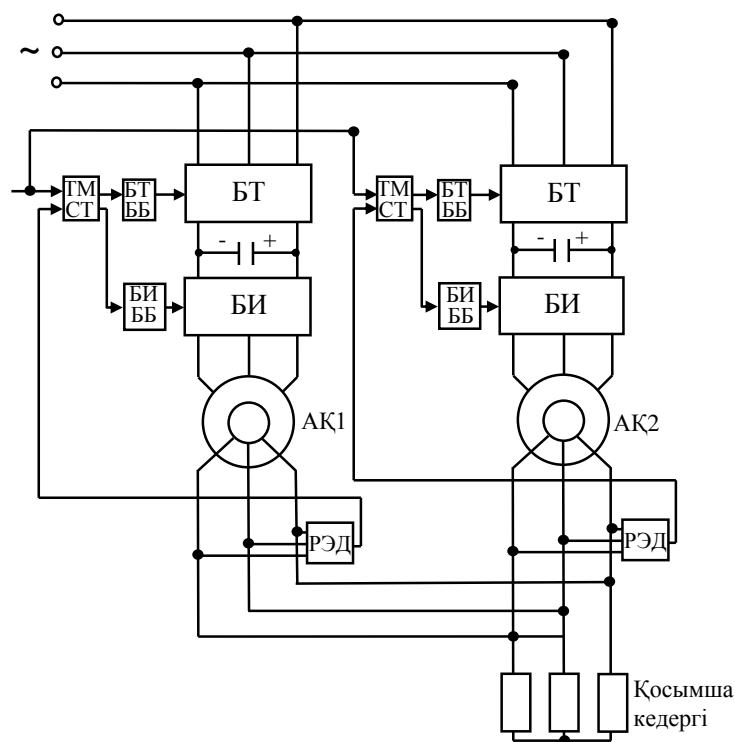
Кернеудің жиілігі номиналдыдан жоғары және $U_1 = const$ болғанда қозғалтқыштың жылдамдығы артады, бірақ максималды моменті төмендейді (3.3,в сурет).

Сорғының жиіліктік реттелетін көпқозғалтқышты асинхронды электр жетегін зерттеу барысында электр қозғалтқыштарының синхронды, келісімді айналуын қамтамасыз ететін, сонымен қатар іске қосылуы, тежелуі, электржетегінің өтпелі процестері кезінде энергияны үнемдеуге мүмкіндік беретін ЖТ КАЭЖ-нің автормен бірнеше схемалық шешімдері ұсынылды.

3.3.1 Энергияны үнемдейтін жеке жиілік түрлендіргішті көпқозғалтқышты асинхронды электржетегін зерттеу

3.4 суретте көрсетілген жеке жиілік түрлендіргішті көпқозғалтқышты асинхронды электр жетегі келесі түрде жұмыс істейді:

КАЭЖ-нің іске қосылуы және теңестіруші моменттерінің реттелуі теңестіруші моменттерді салыстыратын және тапсыратын құрылғы (ТМСТ) арқылы орындалады.



3.4 сурет – Жеке жиілік түрлендіргішті КАЭЖ

ТМСТ құрылғыларында тапсырма берілетін сигнал мен роторлық ЭҚК-нің датчиктерінен (РЭД) берілетін сигналдар салыстыралады. ТМСТ құрылғыдан сигналдар басқарылатын түзеткіштерді (БТ) және басқарылатын инверторларды (БИ) басқару блоктарына (БТББ, БИББ) беріледі. Басқарылатын түзеткіштер мен басқарылатын инверторлар жиынтығы әр қозғалтқыш үшін басқарылатын f_2 жиілігімен U_2 кернеуін беретін тұрақты ток буыны бар жиілік түрлендіргіштерін құрайды. Жүйенің теңестіруші моменттерінің қажетті мәндері фазалық роторлы асинхронды қозғалтқыштардың жүктемелеріне байланысты басқарылатын түзеткіштер мен басқарылатын инверторлардың күштік жартылай өткізгіштік элементтерінің (тиристорлар немесе транзисторлар) ашылу жағдайының деңгейімен орнатылады. Асинхронды қозғалтқыштардың бірдей айналу жылдамдықтарымен синхронды айналуы қозғалтқыштардың роторлық электрлік жалғануы арқылы жүзеге асады.

Құрастырылған синхронды айналатын көпқозғалтқышты асинхронды электржетегінде тұрақты ток буыны бар жиілік түрлендіргіштерінің қолданылуы жүйенің теңестіруші моменттерін реттеу диапазонын бір жарым-екі есе кеңейтуге мүмкіндік береді.

3.3.3 Көпқозғалтқышты асинхронды электр жетегін жиіліктік реттелетін іске қосылуы кезіндегі энергияның үнемделуі

Жиіліктік реттелетін көпқозғалтқышты асинхронды электр жетегі қозғалтқыштарының жүктемесін жуықтап есепке алу үшін өтпелі процестер кезінде қозғалтқыштың моменті өзгермей, белгілі бір $M_{орт}$ орташа моментке

тең деп алынады, демек энергия шығынын бұл кезде келесі түрде жазуға болады:

$$\Delta W = \frac{\Delta W_0 M_{\text{орт}}}{M_{\text{орт}} \pm M_c}, \quad (3.9)$$

мұнда $\Delta W, \Delta W_0$ - қозғалтқыштың жүктемесі болғанда және болмаған кездегі энергия шығындары;

$M_{\text{орт}}$ - қозғалтқыштың өтпелі процесс уақытында өзгермейтін орташа моменті («-» таңбасы қозғалтқыштың іске қосылу режиміне, ал «+» таңбасы тежеу режиміне сәйкес келеді).

Егер электр жетегі әртүрлі жүктемелер немесе жылдамдықтар кезінде белгілі бір циклмен жұмыс істесе, ол реактивті энергияның тұтынушысы сияқты орташаөлшемді немесе циклдық қуат коэффициентімен сипатталады. Бұл қуат коэффициенті циклдың ішінде тұтынған энергияның W_a толық энергияға W_n қатынасымен келесі формула түрінде жазылады:

$$\cos \varphi_u = \frac{W_a}{W_n} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{ai} t_i}{\sum_{i=1}^n S_i t_i}, \quad (3.10)$$

мұнда S_i – толық қуат, $S_i = \sqrt{P_{ai}^2 + Q_i^2}$.

Орныққан режимде электр жетегінің жұмысы кезінде қуат коэффициенті келесі формуламен анықталады:

$$\cos \varphi = \frac{P_a}{S} = \frac{P_{ai}}{\sqrt{P_a^2 + Q^2}}. \quad (3.11)$$

(3.10) және (3.11) формулаларына кіретін активті P_a және реактивті Q қуаттары үшфазалы асинхронды қозғалтқышына қатысты төмендегі формулалар арқылы анықталады:

$$P_a = P_{1a} = P_{\text{мех}} + \Delta P = M\omega + K + V_1 + V_2; \quad (3.12)$$

$$Q = 3I_\mu^2 X_\mu + 3I_1^2 X_1 + 3I_2^2 X_2', \quad (3.13)$$

мұнда I_1, I_2', I_μ - сәйкесінше статор тогы, келтірілген ротор тогы және магниттелу тогы;

X_1, X_2', X_μ - сәйкесінше статордың индуктивті кедергісі, ротордың келтірілген кедергісі және магниттелу контурының кедергісі.

Бос жүріс және номиналды режимдердегі қозғалтқыштың жылдамдығы:

$$\omega_{0i} = \frac{2\pi f_{li}}{p}, \quad \omega_{ном.i} = \frac{\pi n_i}{30}, \quad i=1,2,3. \quad (3.14)$$

Қозғалтқыштың номиналды моменті:

$$M_{ном.i} = \frac{P_{ном.i}}{\omega_{ном.i}}, \quad i=1,2,3. \quad (3.15)$$

Номиналды режимде қозғалтқыштағы қуаттың толық шығыны:

$$\Delta P_{ном.i} = \frac{P_{ном.i}(1-\eta_{ном.i})}{\eta_{ном.i}}, \quad i=1,2,3. \quad (3.16)$$

Номиналды режимде статор орамаларындағы қуаттың айнымалы шығындары:

$$V_{ном.i} = M_{ном.i} \omega_{0i} s_{ном.i} \left(1 + \frac{R_{li}}{R_{2i}}\right), \quad i=1,2,3. \quad (3.17)$$

Қуаттың тұрақты шығыны:

$$K_{(1,2,3)} = \sum_{i=1}^3 (\Delta P_{ном.i} - V_{ном.i}). \quad (3.18)$$

Іске қосу және максималды (критикалық) моменттердің қосындысының жартысына тең қозғалтқыштың іске қосылуы кезіндегі орташа моменті:

$$M_{опт.i} = \frac{M_{нукт.i} + M_{макс.i}}{2}, \quad i=1,2,3. \quad (3.19)$$

Қозғалтқыштың іске қосылу уақыты:

$$t_{нукт(1,2,3)} = \frac{\sum_{i=1}^3 J_{\Sigma} \omega_{0i}^2}{\sum_{i=1}^3 (M_{опт.i} - M_{с.и})}. \quad (3.20)$$

Қуаттың айнымалы шығындарына байланысты іске қосу кезінде энергия шығыны:

$$\Delta W_{V(1,2,3)} = \sum_{i=1}^3 \left(\frac{J_{\Sigma i} \omega_{0i}^2 \left(1 + \frac{R_{li}}{R_{2i}}\right) (s_{баст.i}^2 + s_{сон.i}^2) M_{опт.i}}{2(M_{опт.i} - M_{с.и})} \right). \quad (3.21)$$

Қуаттың тұрақты шығындарына байланысты іске қосу кезінде энергия шығыны:

$$\Delta W_{K(1,2,3)} = K_{1,2,3} t_{\text{нукс}(1,2,3)} \cdot \quad (3.22)$$

(3.34) және (3.35) формулалары арқылы іске қосу уақытындағы энергия шығынының қосындысы келесі түрде жазылады:

$$\Delta W_{\text{нукс}(1,2,3)} = \Delta W_{V(1,2,3)} + \Delta W_{K(1,2,3)} \cdot \quad (3.23)$$

Жиілік түрлендіргіштерін қолдана отырып, қозғалтқыштарды жиіліктік реттелетін іске қосу кезінде энергия шығынын азайтуға болады.

Жиіліктік реттелетін іске қосу кезіндегі энергия шығыны:

$$\Delta W_{\text{нуксПЧ}(1,2,3)} = \Delta W_{\text{нукс}(1,2,3)} \cdot \frac{2T_m}{t_{\text{ЧП}}}, \quad (3.24)$$

мұнда $T_m = \frac{J_{\Sigma} \omega_0}{M_{\text{нукс}}}$, $t_{\text{ЧП}}$ - жиіліктік реттелетін іске қосу уақыты.

Қорытынды

Диссертациялық жұмыстың көлемінде орындалған зерттеулер нәтижесінде келесідей негізгі нәтижелер алынды:

- роторлары электрлік байланысқан КАЭЖ-нің математикалық моделін құрып, зерттеу нәтижесінде, қозғалтқыштардың синхронды айналуы статикалық моменттердің тек аз ғана айырмашылығында ғана жүзеге асатындығы анықталды;

- жүйе орнықтылығын қамтамасыз ететін жылдамдықтар айырмашылығы арқылы табылатын кері байланыс коэффициентін анықтау әдістемесін жасауға мүмкіндік беретін және конвейердегі лента тартылысын ескеретін, сәйкес жиілік түрлендіргішті КАЭЖ-нің математикалық модельдері мен құрылымдық схемалары құрылды. Осы модельдер негізінде қозғалтқыштардың синхронды айналуы олардың біліктеріндегі статикалық моменттердің үлкен айырмашылығында болатындығы дәлелденді;

- ортақ ротор тізбегінде реттелетін кедергісімен синхронды айналатын жүйенің энергетикалық шығындарының негізгі өрнектері және энергетикалық шығындардың сарапталуы келтірілді.

- жүктемелерге тәуелді роторлық бұрыштар айырымына сәйкес, электр қозғалтқыштардың синхронды айналуын қамтамасыз ететін, қорек кернеуін тиристорлық кернеу түрлендіргіштері арқылы реттейтін КАЭЖ құрылып, оның негізгі электрмеханикалық қатынастары алынды;

- ортақ және жеке жиілік түрлендіргішті және активті түзеткішімен энергияны үнемдейтін ЖТ КАЭЖ құрылды, тікелей іске қосылуы және жиіліктік реттелетін іске қосылуы кезіндегі энергия шығындары көрсетіліп, СА КАЭЖ-де жиілік түрлендіргіштерін қолданған кездегі электр энергиясының үнемделуі көрсетілді.

- ортақ активті түзеткішті және локалды кернеу инверторларын қолдана отырып энергияны үнемдеуді қамтамасыз ететін жиілік түрлендіргішті КАЭЖ құрылды;

- тиристорлық және жиіліктік реттеу кезіндегі энергияның тиімділігін есептеуге және бағалауға мүмкіндік беретін КАЭЖ-нің салыстырмалы энергетикалық көрсеткіштері алынды;

Қолданылған әдебиет тізімі

1. Кацман М.М. Электрический привод. – М.: Академия, 2005. – 384 с.
2. Москаленко В.В. Электрический привод. – М.: Академия, 2007. – 361 с.
3. Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода. – М.: Энергоатомиздат, 1981. – 576 с.
4. Соколов М.М. Автоматизированный электропривод общепромышленных механизмов. – М.: Энергия, 1976. – 488 с.
5. www.tyazhmash.com Официальный сайт ОАО «Тяжмаш».
6. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0: Учебное пособие. – СПб: КОРОНАпринт, 2001. – 320 с.
7. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием. – М.: Академия, 2006. – 260 с.
8. Сагитов П.И. Методика расчетов системы согласованного вращения асинхронных двигателей // Электромеханика. – 1979. – №6. – С.546-552.
9. Применение частотно-регулируемого электропривода в шахтных ленточных конвейерах. Статья из официального сайта [ООО НТЦ "Энергосервис-ПНИУИ"](http://www.ntc-esp.ru) www.ntc-esp.ru.
10. Соломенцев Ю.М. Теория автоматического управления. – М.: Высшая школа, 2003. – 295 с.
11. Мергенова Б. и др. Русско-казахский словарь. Издание третье, переработанное и дополненное. – Алматы: Дайк-Пресс, 2005. – 1147 с.
12. Коляров В.Г., Гридчин В.С. Применение промежуточных приводов на ленточных конвейерах // Уголь. – 1992. №9.
13. Кацман М.М. Электрический привод. – М.: Академия, 2005, 384с.
14. Москаленко В.В. Электрический привод. – М.: Академия, 2007, 361с.
15. Тергемес К.Т. Методика расчета энергетических показателей двигателей системы ЭРВ. Депонирована в КазНИИНТИ 18.08.88г., №2026, 1988
16. www.tyazhmash.com Официальный сайт ОАО «Тяжмаш».
17. www.drobilki.com Официальный сайт ОАО «Владимирдоркомплект».
18. www.bhmz.ru Официальный сайт ОАО «Белохолуницкий машиностроительный завод».
19. Белов М.П., Новиков В.А., Рассудов Л.Н. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов. – М.: Академия, 2004. – 576с.
20. Галкин В.И., Дмитриев В.Г., Дьяченко В.П., Запенин И.В., Шешко Е.Е. Современная теория ленточных конвейеров горных предприятий. – М.: Издательство Московского государственного университета, 2005. – 543с.: ил.