

MIRZABAEV S.A. – PhD student (Almaty, Academy of logistics and transport)
IBRAGIMOV O.A. – c.t.s., assoc. professor (Almaty, Kazakh university ways of communications)
TOIGOZHINOVA A.Z. – PhD, assoc. professor (Almaty, Academy of logistics and transport)
KVASHNIN M.Ya. – c.t.s., assoc. professor (Almaty, Academy of logistics and transport)

AUTOMATIC SYSTEM FOR REGULATING THE STRESS-STRAIN STATE OF A BRIDGE STRUCTURE ELEMENT

Abstract

The problem of synthesizing a regulator of the stress-strain state of a bridge structure element in the form of a plate with a complex shape is posed. The high efficiency of the regulator is shown on the example of impulse action. The results of numerical calculations for specific dimensions of the structure are presented.

Key words: doubly connected plate, systems with one degree of freedom, Matlab LQR programs, controller synthesis implementation scheme, external influence, optimal controller synthesis.

УДК 621.39.075

СУЛТАНГАЗИНОВ С.К. – д.т.н., профессор (г. Алматы, Казахский университет путей сообщения)
БАЙДЕЛЬДИНОВ У.С. – к.ф.-м.н., доцент (г. Алматы, Казахский университет путей сообщения)
ДАРАЕВ А.М. – к.т.н., доцент (г. Алматы, Казахский университет путей сообщения)
ТОКСАНБАЕВА Б.А. – магистрант (г. Актобе, Актюбинский университет им. С.Баишева)

МОДЕЛЬ РАЗОМКНУТОЙ СИСТЕМЫ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ – ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ ДЛЯ ПОГРУЖНЫХ НАСОСОВ НЕФТЕДОБЫЧИ

Аннотация

Рассматриваются структурные схемы асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором с двумя и с одним входами. Структурная схема двигателя с одним входом дает возможность создать систему регулирования напряжением на статоре двигателя.

В системе регулирования используются нелинейные звенья для обеспечения соответствующего качества переходных процессов скорости и момента двигателя. Приведены графики переходных процессов скорости и электромагнитного момента двигателя. Дается программа расчета переходных процессов скорости и момента двигателя на алгоритмическом языке MATLAB.

Ключевые слова: асинхронный двигатель, преобразователь частоты, система автоматического управления, переходные процессы, энергосбережение, алгоритмический язык MATLAB.

В процессе создания компьютерной модели разомкнутой системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель (ПЧ – АД) с системой автоматического управления (САУ) по напряжению статора двигателя открываются широкие возможности анализа и синтеза САУ системы ПЧ – АД. В системе ПЧ – АД асинхронный двигатель выбран с короткозамкнутым ротором, так как такая система с САУ является энергосберегающей [1]. Структурная схема модели асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором (АКЗ) в неподвижной системе координат с параметрами [2] в MATLAB представлена на рисунке 1.

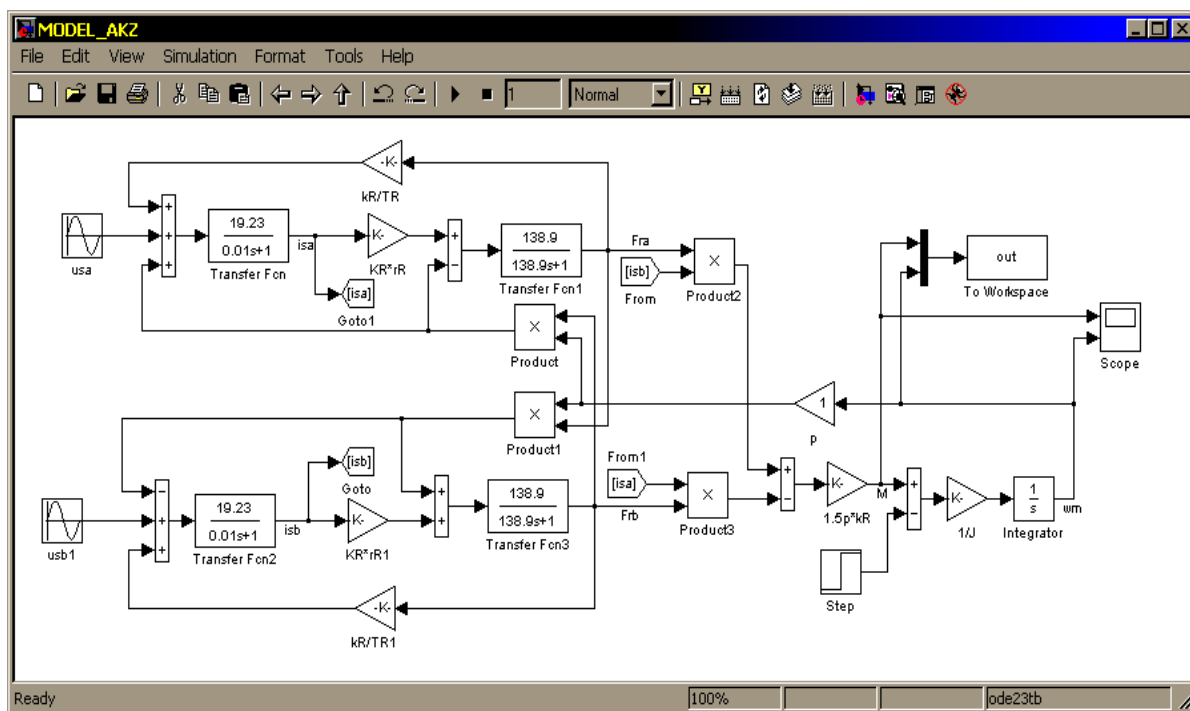


Рисунок 1 – Модель асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

Как видно из рисунка 1, на вход модели подаются напряжения $U_{sa} = \cos t$, $U_{sb} = \sin t$, реализуя прямой пуск двигателя. Токи статора и потокосцепления ротора, на рисунке 1, обозначены: isa , isb , Fra , Frb . Кроме этого отметим, что в структуре модели имеются множительные нелинейные звенья. Численные значения коэффициентов в модели АКЗ (рисунок 1) в безразмерных единицах. Переходные процессы скорости и момента асинхронного двигателя представлены на рисунке 2.

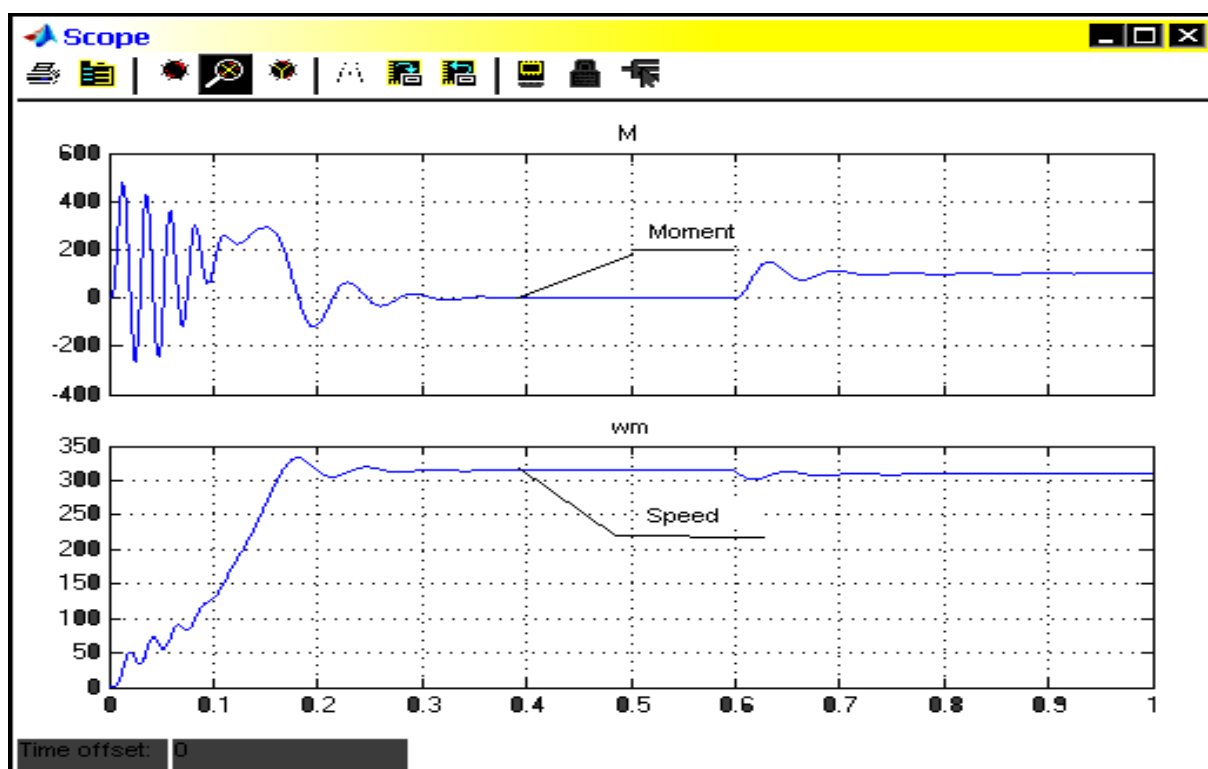


Рисунок 2 – Переходные процессы скорости и момента АКЗ

Модель АКЗ с одним входом представлена на рисунок 3.

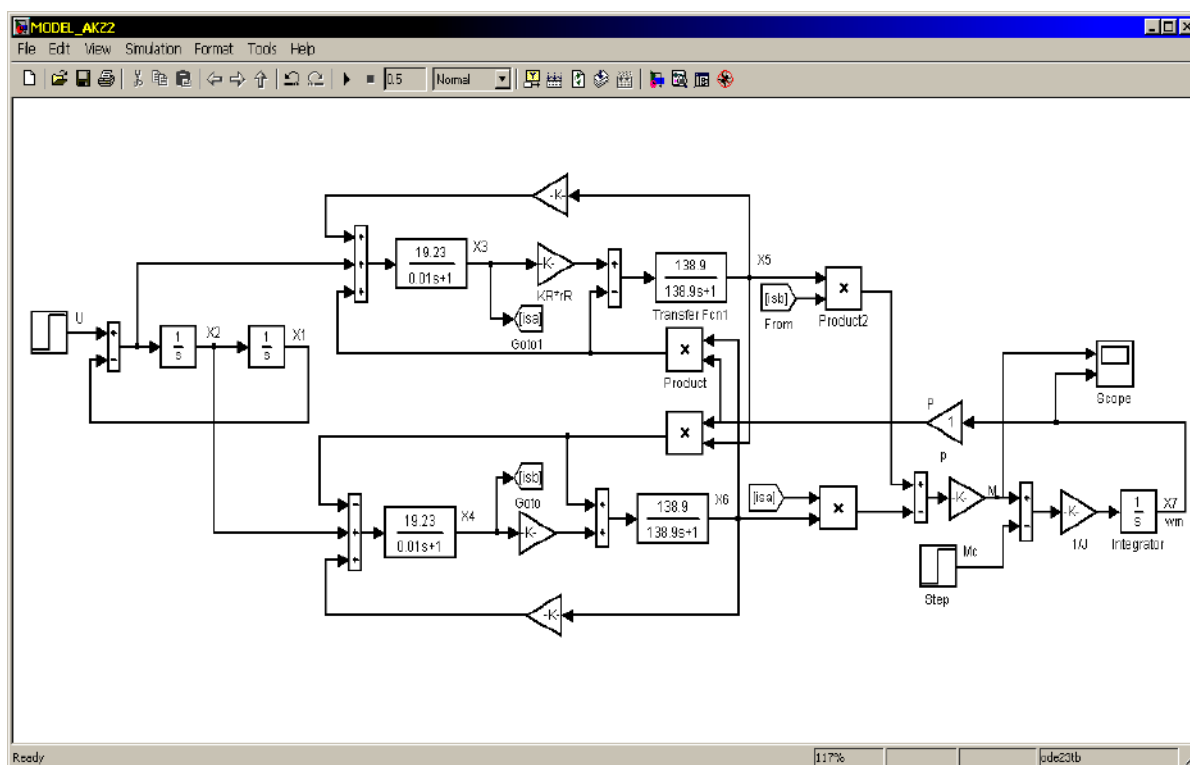
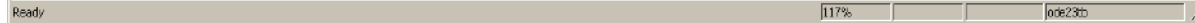


Рисунок 3 – Модель АКЗ с источником питания по напряжению U

Полученная модель АКЗ (рисунок 3) дает возможность ввести в структуру модели АКЗ систему автоматического управления (САУ) по напряжению статора двигателя. Структурная схема модели АКЗ с САУ приведена на рисунке 4.



Сравнивая переходные процессы скорости и момента асинхронного двигателя рисунка 2 (прямой пуск двигателя) с переходными процессами двигателя рисунка 5, следует отметить, что на рисунке 5 колебания момента и скорости незначительны, т.е. регулируемый электропривод обладает более качественными характеристиками переходных процессов [3-6].

Математическое описание модели АКЗ с системой управления представлено следующей системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{aligned}
 \frac{dx_1}{dt} &= \frac{1.5pkR}{j}(x_2x_5 - x_3x_4) - \frac{1}{j}M_c; \\
 \frac{dx_2}{dt} &= \frac{K_2kRrR}{T_2}x_3 - \frac{K_2}{T_2}x_1x_4 - \frac{1}{T_2}x_2; \\
 \frac{dx_3}{dt} &= \frac{K_3}{T_3}(x_8 - x_7) + \frac{K_3kR}{T_3T_R}x_2 + \frac{K_3}{T_3}x_1x_4 - \frac{1}{T_3}x_3; \\
 \frac{dx_4}{dt} &= \frac{K_4kRrR}{T_4}x_5 - \frac{K_4}{T_4}x_1x_2 - \frac{1}{T_4}x_4; \\
 \frac{dx_5}{dt} &= \frac{K_5}{T_5}x_6 + \frac{K_5kR}{T_5T_R}x_4 + \frac{K_5}{T_5}x_1x_2 - \frac{1}{T_5}x_5; \\
 \frac{dx_6}{dt} &= x_8 - x_7; \\
 \frac{dx_7}{dt} &= x_6; \\
 \frac{dx_8}{dt} &= \frac{K_P}{T_P}(u - k_{oc}x_8 + x_9\text{sign}(x_9)) - \frac{1}{T_P}x_8; \\
 \frac{dx_9}{dt} &= \frac{1}{T}u - \frac{T_0k_o}{T_k}\frac{dx_8}{dt} - \frac{k_o}{T_k}x_8 - \frac{1}{T_k}x_9; \\
 \frac{dx_9}{dt} &= 1.5p kR (x_5 * dx_2 / dt + x_2 * dx_5 / dt - \\
 &\quad x_4 * dx_3 / dt - x_3 * dx_4 / dt),
 \end{aligned} \tag{1}$$

где $x_1 = \omega$ – угловая скорость АД;

$x_2 = F_{Ra}$, $x_4 = F_{Rb}$ – потокосцепления ротора;

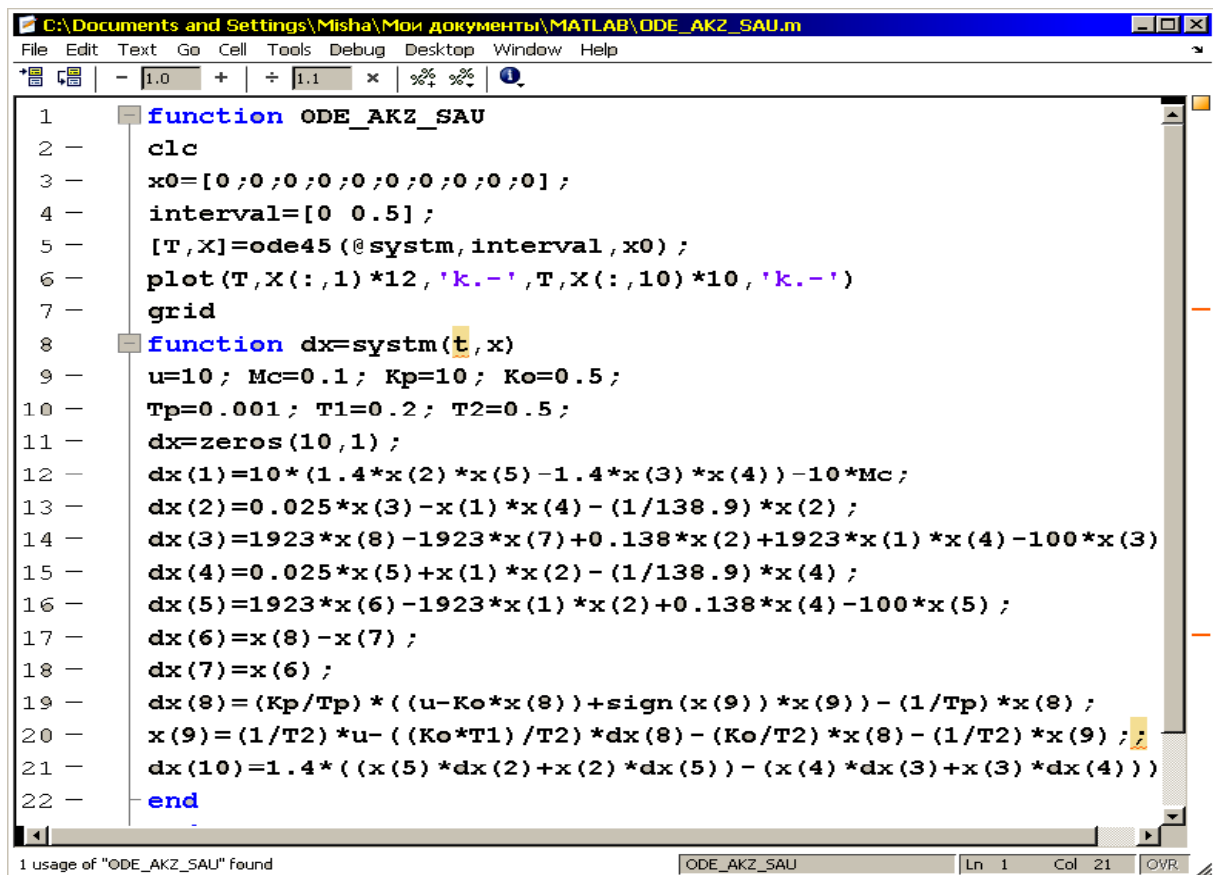
$x_3 = F_{sa}$, $x_5 = F_{sb}$ – токи статора;

x_6, x_7 – переменные источника питания двигателя;

$x_8 = u_p$ – напряжение на выходе преобразователя частоты;

$x_9 = u_k$ – напряжение на выходе корректирующего звена системы управления АД.

Программа решения системы уравнений (1) в MATLAB, общеизвестным численным методом Рунге и- Кутта [5], представлена на рисунке 6.



```

1 function ODE_AKZ_SAU
2 clc
3 x0=[0;0;0;0;0;0;0;0;0;0];
4 interval=[0 0.5];
5 [T,X]=ode45(@system,interval,x0);
6 plot(T,X(:,1)*12,'k.-',T,X(:,10)*10,'k.-')
7 grid
8 function dx=system(t,x)
9 u=10; Mc=0.1; Kp=10; Ko=0.5;
10 Tp=0.001; T1=0.2; T2=0.5;
11 dx=zeros(10,1);
12 dx(1)=10*(1.4*x(2)*x(5)-1.4*x(3)*x(4))-10*Mc;
13 dx(2)=0.025*x(3)-x(1)*x(4)-(1/138.9)*x(2);
14 dx(3)=1923*x(8)-1923*x(7)+0.138*x(2)+1923*x(1)*x(4)-100*x(3);
15 dx(4)=0.025*x(5)+x(1)*x(2)-(1/138.9)*x(4);
16 dx(5)=1923*x(6)-1923*x(1)*x(2)+0.138*x(4)-100*x(5);
17 dx(6)=x(8)-x(7);
18 dx(7)=x(6);
19 dx(8)=(Kp/Tp)*(u-Ko*x(8))+sign(x(9))*x(9)-(1/Tp)*x(8);
20 x(9)=(1/T2)*u-((Ko*T1)/T2)*dx(8)-(Ko/T2)*x(8)-(1/T2)*x(9);
21 dx(10)=1.4*(x(5)*dx(2)+x(2)*dx(5))-(x(4)*dx(3)+x(3)*dx(4));
22 end

```

Рисунок 6 – Программа расчета переходных процессов системы ПЧ – АД

Результаты моделирования представлены на рисунке 7.

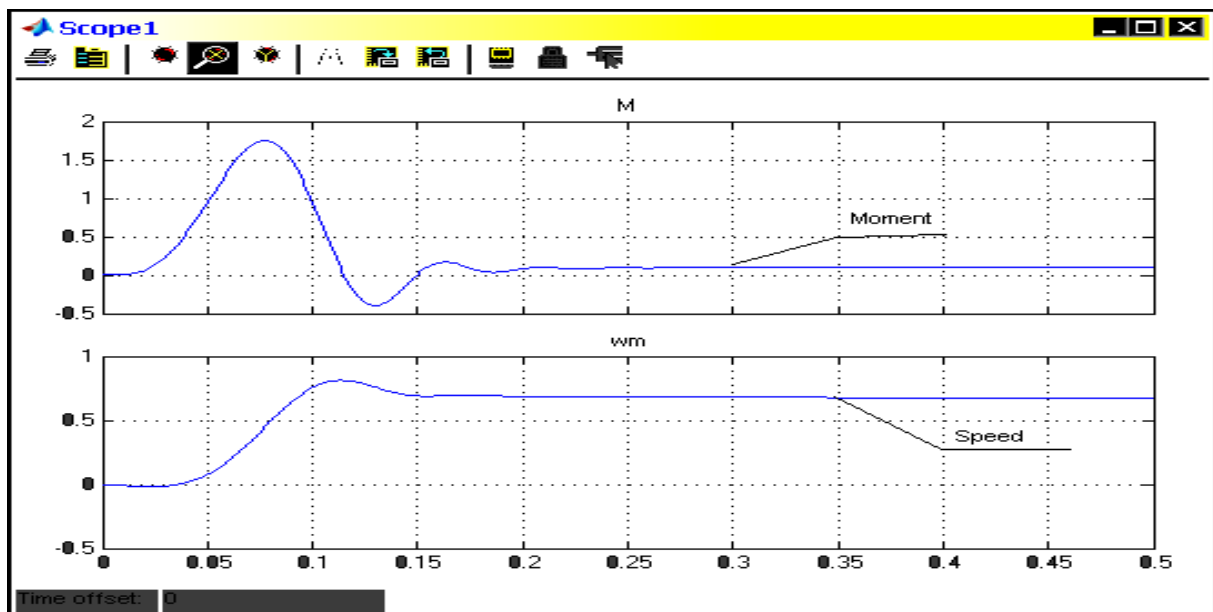


Рисунок 7 – Переходные процессы скорости и момента АД

Переходные процессы скорости и момента двигателя рисунка 6 и рисунка 7 идентичны.

Регулируемый электропривод подразделяется на две основные группы: постоянного и переменного тока. Электроприводом называют устройство, преобразующие электрическую энергию в механическую и состоящее из электродвигателя, передаточного механизма (трансмиссии, муфты, редуктора) и системы управления.

Процесс регулирования частоты вращения любого механизма, в том числе и насоса, удобно анализировать с помощью механических характеристик насосного агрегата.

Скорость вращения асинхронных двигателей определяется из выражения [2]:

$$n_2 = n_1(1-s) = \left(60 \frac{f_1}{p}\right)(1-s) \quad (2)$$

где n_1 – скорость вращения поля статора;

s – скольжение;

f_1 – частота питающей сети;

p – число пар полюсов.

Рассмотрим механические характеристики асинхронного двигателя и насосного агрегата. На рисунке 8 представлены механические характеристики центробежного насоса, оборудованного обратным затвором (кривая 1) и электродвигателя с короткозамкнутым ротором (кривая 2). Разница значений вращающего момента электродвигателя и момента сопротивления называется динамическим моментом. Если вращающий момент больше момента сопротивления, динамический момент считается положительным, если меньше – отрицательным. Под воздействием положительного динамического момента насосный агрегат начинает работать с ускорением, т.е. разгоняется. Если динамический момент отрицательный, насосный агрегат работает с замедлением, т.е. тормозится. При равенстве этих моментов имеет место, установившийся режим работы, т.е. насосный агрегат работает с постоянной частотой вращения. Эта частота вращения и соответствующий ей момент определяются пересечением механических характеристик электродвигателя и насоса (точка а на рисунке 8). Если в процессе регулирования тем или иным способом изменить механическую характеристику, например, сделать ее более мягкой за счет введения дополнительного сопротивления в роторную цепь электродвигателя (кривая 3 на рисунке 8), момент вращения электродвигателя станет меньше момента сопротивления. Под воздействием отрицательного динамического момента насосный агрегат начинает работать с замедлением, т.е. тормозится до тех пор, пока вращающий момент и момент сопротивления опять не уравновесятся (точка б на рисунке 8).

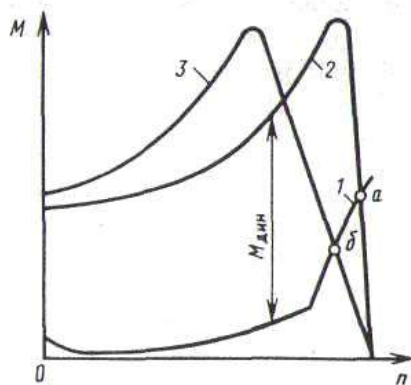


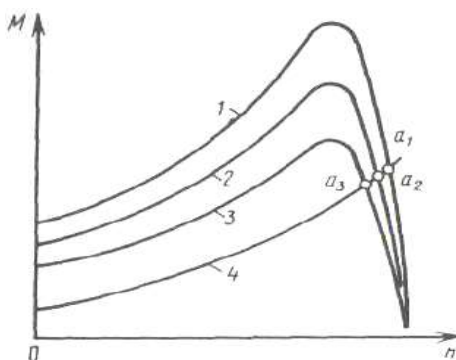
Рисунок 8 – Механические характеристики асинхронного двигателя и насосного агрегата

Этой точке соответствует своя частота вращения и свое значение момента. Таким образом, процесс регулирования частоты вращения насосного агрегата непрерывно сопровождается изменениями вращающего момента электродвигателя и момента сопротивления насоса [7-9].

Регулирование частоты вращения электродвигателей изменением напряжения на его статоре. Вращающий момент асинхронного электродвигателя пропорционален квадрату напряжения, подводимого к электродвигателю:

$$M_{BP} = KU^2 \quad (3)$$

По этой причине изменение напряжения на зажимах статора изменяет форму механической характеристики электродвигателя. Рассматривая совместно механические характеристики насоса и электродвигателя (рисунок 9), на зажимах которого изменяется напряжение, видим, что каждому изменению напряжения соответствует своя рабочая точка $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$, каждой точке соответствует свое скольжение $s_1, s_2, s_3, \dots, s_n$.



1 - естественная характеристика; 2, 3 - характеристика при пониженном напряжении;
4 - механическая характеристика насоса

Рисунок 9 – Механические характеристики электродвигателя при изменении напряжения

При изменении напряжения значение критического скольжения не изменяется, поэтому максимальный момент при любых изменениях напряжения соответствует одному и тому же значению скольжения, равному примерно 0,1-0,2. Этим определяется сравнительно узкий диапазон регулирования по частоте вращения, который может обеспечить этот способ регулирования. Регулирование напряжения на статоре двигателя осуществляется обычно с помощью тиристорного (частотного) регулятора напряжения (рисунок 10).

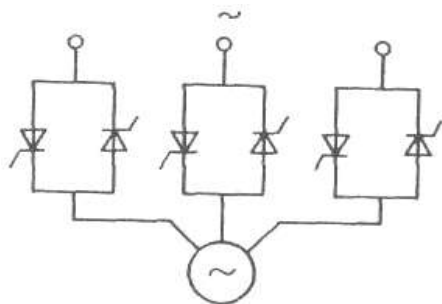


Рисунок 10 – Электропривод с тиристорным (частотным) регулятором напряжения

Частотный электропривод. Основным элементом частотного электропривода является тиристорный (частотный) преобразователь. В этом преобразователе постоянная частота питающей сети f_1 преобразуется в переменную f_2 . Пропорционально частоте f_2 изменяется частота вращения электродвигателя, подключенного к выходу преобразователя.

Частотные преобразователи подразделяются на два основных вида: с промежуточным звеном постоянного тока и с непосредственной связью. Схема частотного преобразователя первого вида представлена на рисунках 11 и 12. Преобразователь состоит из выпрямителя B , фильтра Φ и инвертора I .

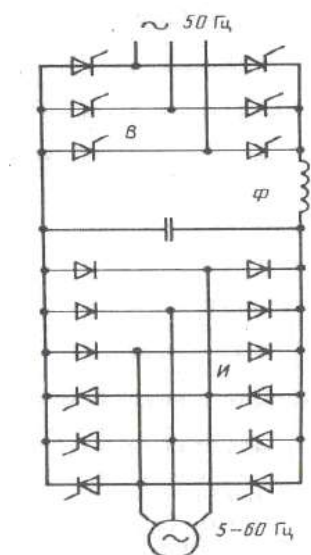


Рисунок 11 – Схема частотного электропривода с инвертором напряжения

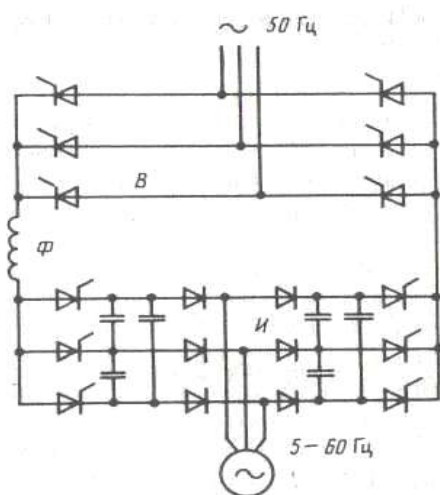


Рисунок 12 – Схема частотного электропривода с инвертором тока

Посредством частотного преобразователя практически неизменные сетевые параметры напряжения U_1 и частота f_1 преобразуются в изменяемые параметры U_2 и f_2 , требуемые для системы управления.

Для обеспечения устойчивой работы электродвигателя ограничения его перегрузки по току и магнитному потоку, поддержания высоких энергетических показателей

частотный преобразователь должен поддерживать определенное соотношение между входными и выходными параметрами, зависящее от вида механической характеристики насоса. Эти соотношения получаются из уравнения закона частотного регулирования Костенко [6]:

$$U_1 / U_2 = \sqrt{M_1 / M_2 f_1 / f_2} \quad (4)$$

Для насосов, работающих без статического напора, т.е. тех, чья механическая характеристика описывается уравнением квадратичной параболы:

$$U_1 / f_1^2 = U_2 / f_2^2 = \text{const} \quad (5)$$

Для насосов, работающих со статическим напором, должно соблюдаться более сложное соотношение

$$U_1 / f_1^{1+\frac{k}{2}} = U_2 / f_2^{1+\frac{k}{2}}, \quad (6)$$

где k – показатель степени в уравнении механической характеристики насоса.

В большинстве случаев в насосных установках приходится использовать преобразователи промышленного исполнения, обеспечивающие соотношение

$$U_1 / f_1 = U_2 / f_2 = \text{const} \quad (7)$$

На рисунке 13 представлены механические характеристики асинхронного электродвигателя при частотном регулировании и соблюдении соотношения (6). При уменьшении частоты f_2 механическая характеристика не только меняет свое положение в координатах $n-M$, но несколько изменяет свою форму. В частности, снижается максимальный момент электродвигателя, что обусловлено тем, что при соблюдении соотношения (7) при изменении частоты f_1 не учитывается влияние на вращающий момент изменений активного сопротивления статора. При частотном регулировании с учетом этого влияния максимальный момент остается неизменным, форма механической характеристики сохраняется, меняется только ее положение.

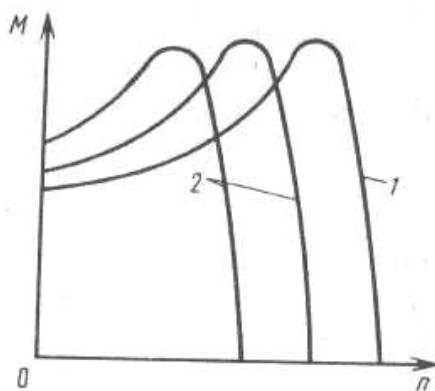


Рисунок 13 – Механические характеристики частотного электропривода при максимальных (1) и пониженных (2) частотах

Частотные преобразователи выполняются на базе автономных инверторов тока (АИТ) или на базе автономных инверторов напряжения (АИН). В частотных преобразователях на базе АИН (рисунок 11) в звене постоянного тока выпрямляется напряжение. Сглаживающий фильтр в этих преобразователях состоит из дросселя, включенного последовательно с инвертором, и конденсатора, подключаемого параллельно АИН. На выходе преобразователя форма кривой выходного напряжения (обычно прямоугольная) определяется порядком переключения тиристоров, а форма кривой тока (синусоидальная) зависит от характера нагрузки.

В частотных преобразователях на базе АИТ (рисунок 12) в звене постоянного тока выпрямляется ток. Сглаживающий фильтр состоит из дросселя, включаемого последовательно с инвертором. На выходе преобразователя форма кривой выходного тока определяется порядком переключения тиристоров, а форма кривой напряжения (синусоидальная) – характером нагрузки [10-12].

Частотные преобразователи на базе АИН с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) имеют более высокие энергетические характеристики за счет того, что на выходе преобразователя обеспечивается форма кривых тока и напряжения, приближающаяся к синусоидальной. В этих преобразователях в отличие от описанных выше могут использоваться неуправляемые выпрямители.

Выводы.

1. При прямом пуске двигателя наблюдаются значительные колебания скорости и момента двигателя.
2. Разработанная система регулирования напряжением на статоре двигателя существенно снижает амплитуду и частоту колебаний скорости и момента двигателя.
3. Для асинхронных двигателей энергосберегающими методами регулирования их скорости вращения являются методы регулирования амплитуды и частоты питающей сети двигателя. Анализ влияния изменения скорости вращения приводных двигателей насосных агрегатов на напор и подачи центробежных колес насоса значительно влияют на энергосбережение и поддерживает высокий КПД системы.

Литература

1. Браславский И.Я., Ишматов З.Ш., Поляков В.И. Энергосберегающий асинхронный электропривод. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 256 с
2. Герман – Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0. – СПб.: КОРОНА принт, 2007. – 320 с.
3. Алексеев Е.Р., Чеснокова О.В. MATLAB 7. – М.: НТ Пресс, 2006. – 464 с.
4. Половко А.М., Бутусов П.Н. MATLAB для студента. – СПб.: БХВ – Петербург, 2005.
5. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. – СПб, Издательство «Профессия», 2004.
6. Грей Ф. Добыча нефти. – М, 2006. – 416 с.
7. Ивановский В.Н., Дарищев В.И., Сабиров А.А., Каштанов В.С., Пекин С.С. Скважинные насосные установки для добычи нефти. – М., 2002. – 824 с.
8. Щуров В.И. Технология и техника добычи нефти. – М.: Учебник, 2005. – 510 с.
9. Ивановский В.Н. Нефтегазопромысловое оборудование. – М.: Учебник, 2006. – 720 с.
10. Лезнов Б.С. Экономия электроэнергии в насосных установках. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 144 с.
11. Масленко В.В. Автоматизированный электропривод. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 410 с.
12. Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Теория автоматизированного электропривода. – М.: Энергоиздат, 1981. – 576 с.

References

1. Braslavsky I.Ya., Ishmatov Z.Sh., Polyakov V.I. Energy-saving asynchronous electric drive. – M.: Publishing Center "Academy", 2004. – 256 p.
2. Herman-Galkin S.G. Computer modeling of semiconductor systems in MATLAB 6.0. – St. Petersburg: KORONA print, 2007. – 320 p.
3. Alekseev E.R., Chesnokova O.V. MATLAB 7. – Moscow: NT Press, 2006. – 464 p.
4. Polovko A.M., Butusov P.N. MATLAB for the student. – St. Petersburg: BHV-Petersburg, 2005.
5. Besekersky V.A., Popov E.P. Theory of automatic control systems. – St. Petersburg, Publishing House "Profession", 2004.
6. Gray F. Oil production. – M, 2006. – 416 p.
7. Ivanovsky V.N., Darishchev V.I., Sabirov A.A., Kashtanov V.S., Pekin S.S. Borehole pumping installations for oil production. – M., 2002. – 824 p.
8. Shchurov V.I. Technology and technique of oil production. – M.: Textbook, 2005. – 510 p.
9. Ivanovsky V.N. Neftegazopromyslovoe oborudovanie. – M.: Textbook, 2006. – 720 p.
10. Leznov B.S. Saving electricity in pumping installations. – M.: Energoatomizdat, 1991. – 144 p.
11. Maslenko V.V. Automated electric drive. – M.: Energoatomizdat, 1986. – 410 p.
12. Chilikin M.G., Sandler A.S. Theory of automated electric drive. – M.: Energoizdat, 1981. – 576 p.

СҮЛТАНҒАЗИНОВ С.К. – т.ғ.д., профессор (Алматы қ., Қазақ қатынас жолдары университеті)

БАЙДЕЛЬДИНОВ У.С. – ф-м.ғ.к., доцент (Алматы қ., Қазақ қатынас жолдары университеті)

ДАРАЕВ А.М. – т.ғ.к., доцент (Алматы қ., Қазақ қатынас жолдары университеті)

ТОҚСАНБАЕВА Б.А. – магистрант (Ақтөбе қ., С. Бәйішев ат. Ақтөбе университеті)

АСИНХРОНДЫ ҚОЗГАЛТҚЫШТЫҢ АШЫҚ ЖҮЙЕСІНІҢ МОДЕЛІ – СУАСТЫ МҰНАЙ СОРҒЫЛАРЫНА АРНАЛҒАН ЖИІЛІК ТҮРЛЕНДІРГІШІ

Аңдатпа

Екі және бір кірісі бар қысқа тұйықталған роторы бар асинхронды қозғалтқыштың құрылымдық схемалары қарастырылады. Бір кірісі бар қозғалтқыштың құрылымдық схемасы қозғалтқыштың статорындағы кернеуді басқару жүйесін құруға мүмкіндік береді.

Реттеу жүйесінде жылдамдық пен қозғалтқыш моментінің өтпелі процестерінің тиісті сапасын қамтамасыз ету үшін сызықты емес сілтемелер қолданылады. Қозғалтқыштың жылдамдығы мен электромагниттік моментінің өтпелі графиктері келтірілген. MATLAB алгоритмдік тілінде қозғалтқыштың жылдамдығы мен моментінің өтпелі процестерін есептеу бағдарламасы берілген.

Түйінді сөздер: асинхронды қозғалтқыш, жиілік түрлендіргіші, автоматты басқару жүйесі, өтпелі, энергияны үнемдеу, MATLAB алгоритмдік тілі.

SULTANGAZINOV S.K. – d.t.s., professor (Almaty, Kazakh university ways of communications)

BAIDELDINOV U.S. – c.p-m.s., assoc. professor (Almaty, Kazakh university ways of communications)

DARAEV A.M. – c.t.s., assoc. professor (Almaty, Kazakh university ways of communications)

TOKSANBAYEVA B.A. – magistant (Aktobe, Aktobe university named after S. Baishev)

MODEL OF OPEN-LOOP ASYNCHRONOUS MOTOR SYSTEM – FREQUENCY CONVERTER FOR SUBMERSIBLE PUMPS OF OIL PRODUCTION

Abstract

The structural schemes of an asynchronous motor with a short-circuited rotor with two and one inputs are considered. The block diagram of the motor with a single input makes it possible to create a voltage control system on the motor stator.

The control system uses non-linear links to ensure the appropriate quality of the transients of the speed and torque of the engine. Graphs of the transient processes of the speed and electromagnetic torque of the engine are given. A program for calculating the transients of the speed and torque of the engine in the algorithmic language MATLAB is given.

Keywords: asynchronous motor, frequency converter, automatic control system, transients, energy saving, algorithmic language MATLAB.

УДК 004.94

САРБАЕВ С.Ш. – д.т.н., профессор (г. Алматы, Евразийский технологический университет)

ОРУНБЕКОВ М.Б. – докторант PhD (г. Алматы, Академия логистики и транспорта)

СРЕДА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ANYLOGIC В ЗАДАЧАХ ИССЛЕДОВАНИЯ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Аннотация

Описаны задачи и процессы имитационного моделирования, и их различные методы моделирования. Рассмотрены вопросы применения среды моделирования AnyLogic для исследования различных задач на железнодорожном транспорте. Кроме того, описаны блоки железнодорожной библиотеки среды моделирования AnyLogic. Построена имитационная модель станции «Нұрлы жол» с применением блоков железнодорожной библиотеки и получены результаты моделирования.

Ключевые слова: железная дорога, моделирование, имитационное моделирование, AnyLogic.

Введение.

Актуальность исследования является применение средств имитационного моделирования для решения практических задач. Так как, зачастую решение проблемы нельзя найти путем проведения натурных экспериментов: строить новые объекты,