

Разработана программа расчета фазовой кривой динамики ПЧ – АД.
График фазовой кривой показывает что замкнутая система ПЧ – АД устойчива.

Список литературы

1. Фельдбаум А.А., Бутковский А.Г. Методы теории автоматического управления. – М.: Издательство «Наука», 1971.
2. Воронов А.А. Основы теории автоматического управления. Л. – М.: Издательство «Энергия», 1966.
3. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. – СПб: Издательство «Профессия», 2004.
4. Терехов И.М., Осипов О.И. Системы управления электроприводов. – М.: Издательский центр «Академия», 2008.
5. Ануфриев И.Е., Смирнов А.Б., Смирнова Е.Н. MATLAB 7. – СПб.: БХВ – Петербург, 2005.
6. Попов Е.П. Теория нелинейных систем автоматического регулирования и управления. – М.: «Наука», 1988.

References

1. Feldbaum A.A., Butkovsky A.G. Methods of the theory of automatic control. – M.: Nauka publishing house, 1971.
2. A.A's ravens. Bases of the theory of automatic control. L. – M.: Energiya publishing house, 1966.
3. Besekersky V.A., Popov E.P. Theory of systems of automatic control. – SPb: Professiya publishing house, 2004.
4. Terekhov I.M., Osipov O. I. Control systems of electric drives. – M.: Publishing center "Akademiya", 2008.
5. Anufriyev I.E., Smirnov A.B., Smirnova E.N. MATLAB 7. – SPb.: BHV – St. Petersburg, 2005.
6. Popov E.P. Theory of nonlinear systems of automatic control and managements. – M.: "Science", 1988.

УДК 621.39.075

УПРАВЛЕНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ – АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

Касымова Айнура Есбергеновна, старший преподаватель КазАТК им. М.Тынышпаева, Казахстан, Алматы, ул. Шевченко 97, e-mail: kasymova_79@mail.ru

В статье рассматриваются замкнутая система ПЧ-АД с корректирующим нелинейным звеном. Дается математическая модель динамики переходных процессов скорости электромагнитного момента асинхронного двигателя. Приведена программа расчета оптимального управления на алгоритмическом языке MATLAB.

Ключевые слова: Корректирующее звено, Математическая модель, Переходные процессы, асинхронный двигатель

OPTIMUM CONTROL OF NONLINEAR SYSTEM THE FREQUENCY CONVERTER – THE ASYNCHRONOUS ENGINE

Darayev A. Shadkhin of Yu. Kasymov A.

In article are considered the closed system of PCh-AD with the correcting nonlinear link. The mathematical model of dynamics of transition processes of speed of the electromagnetic moment of the asynchronous engine is given. The program of calculation of optimum control is given in algorithmic language of MATLAB.

Keywords: The correcting link, Mathematical model, Transition processes, the asynchronous engine

Формирование плавно протекающих переходных процессов в электроприводе переменного тока с короткозамкнутым асинхронным двигателем является одной из основных задач уменьшения больших электромагнитных моментов двигателя, особенно в режиме его пуска [1]. Для осуществления плавно протекающих переходных процессов замкнутой системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель (ПЧ – АД) необходимо обеспечить систему задатчиком интенсивности с оптимальным законом управления $U(t)$, что позволит снизить потери электроэнергии системы ПЧ – АД. Структурная схема нелинейной системы ПЧ – АД в среде MATLAB представлена на рисунке 1.

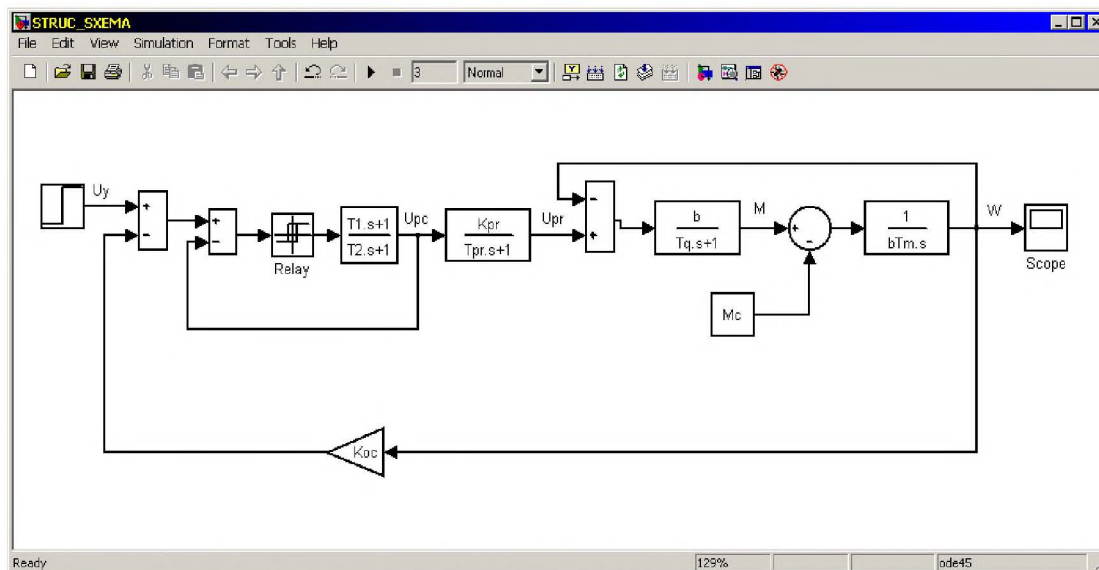


Рис. 1. Структурная схема нелинейной системы ПЧ – АД

Структурная схема нелинейной системы ПЧ – АД создана на основе линеаризованной системы ПЧ – АД с обратной связью по скорости [2]. Как видно из рисунка 1 в структурной схеме замкнутой нелинейной системы ПЧ – АД в регулятор скорости введено идеальное релейное звено, которое обеспечивает желаемые свойства системы [3].

В структурной схеме приняты следующие обозначения [4]:

b – модуль жесткости линеаризованной механической характеристики АД;

T_q – электромагнитная постоянная времени цепей статора и ротора АД;

T_m – электромеханическая постоянная времени двигателя;

T_{pr} – постоянная времени цепи управления преобразователя частоты;

T_1, T_2 – постоянные времени интегро – дифференцирующего звена регулятора скорости;

K_{pr} – передаточный коэффициент преобразователя частоты;

K_{oc} – коэффициент обратной связи по скорости.

Математическое описание замкнутой системы ПЧ – АД на основе передаточных функций структурной схемы (рисунок 1), принимает следующий вид:

$$\begin{aligned} \frac{d\omega}{dt} &= \frac{1}{bT_m p} M - M_c, \\ \frac{dM}{dt} &= \frac{bK_{pr}}{T_q} U_{PC} - \frac{b}{T_q} \omega - \frac{1}{T_q} M, \\ \frac{dU_{PC}}{dt} &= \frac{T_1}{T_3} \frac{dU}{dt} + \frac{1}{T_3} U - \frac{K_{oc} T_1}{T_3} \left(\frac{1}{bT_m p} M - M_c \right) - \\ &\quad - \frac{K_{oc}}{T_3} \omega - \frac{a}{T_3} U_{PC}, \end{aligned} \quad (1)$$

где ω – угловая скорости вала асинхронного двигателя;

M – электромагнитный момент двигателя;

U_{PC} – напряжение на выходе регулятора скорости;

U – управление;

$T_3 = (\frac{T_2}{q(A)} + T_1)$, $a = \frac{1}{q(A)} + 1$, $q(A)$ – коэффициент гармонической линеаризации статической характеристики идеального релейного звена.

С целью удобства решения задачи оптимального управления замкнутой системой ПЧ – АД преобразуем уравнение (1), при $M_C = 0$, к следующему виду:

$$\begin{aligned}\frac{dx_1}{dt} &= a_1 x_2, \\ \frac{dx_2}{dt} &= a_2 x_3 - a_3 x_1 - a_4 x_2, \\ \frac{dx_3}{dt} &= a_5 \varphi + a_6 x_4 - a_7 x_2 - a_8 x_1 - a_9 x_3,\end{aligned}\tag{2}$$

$$\frac{dx_4}{dt} = \varphi,$$

здесь $x_1 = \omega$, $x_2 = M$, $x_3 = U_{PC}$, $x_4 = U$, φ – вспомогательная переменная.

Решение задачи оптимального управления осуществляется методом принцип максимума Понтрягина [5,6]. Критерием оптимальности, в нашем случае, будет минимум функционала

$$I = \frac{1}{2} \int_0^T (\sum_{i=1}^4 x_i^2 + c \varphi^2) dt.\tag{3}$$

Образуем функцию Н, которая будет иметь вид

$$\begin{aligned}H &= \psi_0 \frac{1}{2} (x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + x_4^2 + c \varphi^2) + \psi_1 a_1 x_2 + \psi_2 (a_2 x_3 - a_3 x_1 - a_4 x_2) + \\ &+ \psi_3 (a_5 \varphi + a_6 x_4 - a_7 x_2 - a_8 x_1 - a_9 x_3) + \psi_4 \varphi,\end{aligned}\tag{4}$$

где ψ_i – вспомогательные переменные.

Согласно вышеуказанному методу решения задачи оптимального управления, составим следующую систему уравнений:

$$\begin{aligned}\frac{d\psi_1}{dt} &= x_1 - a_3 \psi_2 + a_8 \psi_3, \\ \frac{d\psi_2}{dt} &= x_2 - a_1 \psi_1 + a_4 \psi_2 + a_7 \psi_3, \\ \frac{d\psi_3}{dt} &= x_3 - a_2 \psi_2 + a_9 \psi_3, \\ \frac{d\psi_4}{dt} &= x_4 - a_6 \psi_3.\end{aligned}\tag{5}$$

Так как на управление $x_4 = U$ ограничение не накладывается, то максимум Н (4) определяется из условия $\partial H / \partial \varphi = 0$:

$$\frac{\partial H}{\partial \varphi} = -c\varphi + \psi_4 = 0,$$

откуда

$$\varphi = (1/c)\psi_4.$$

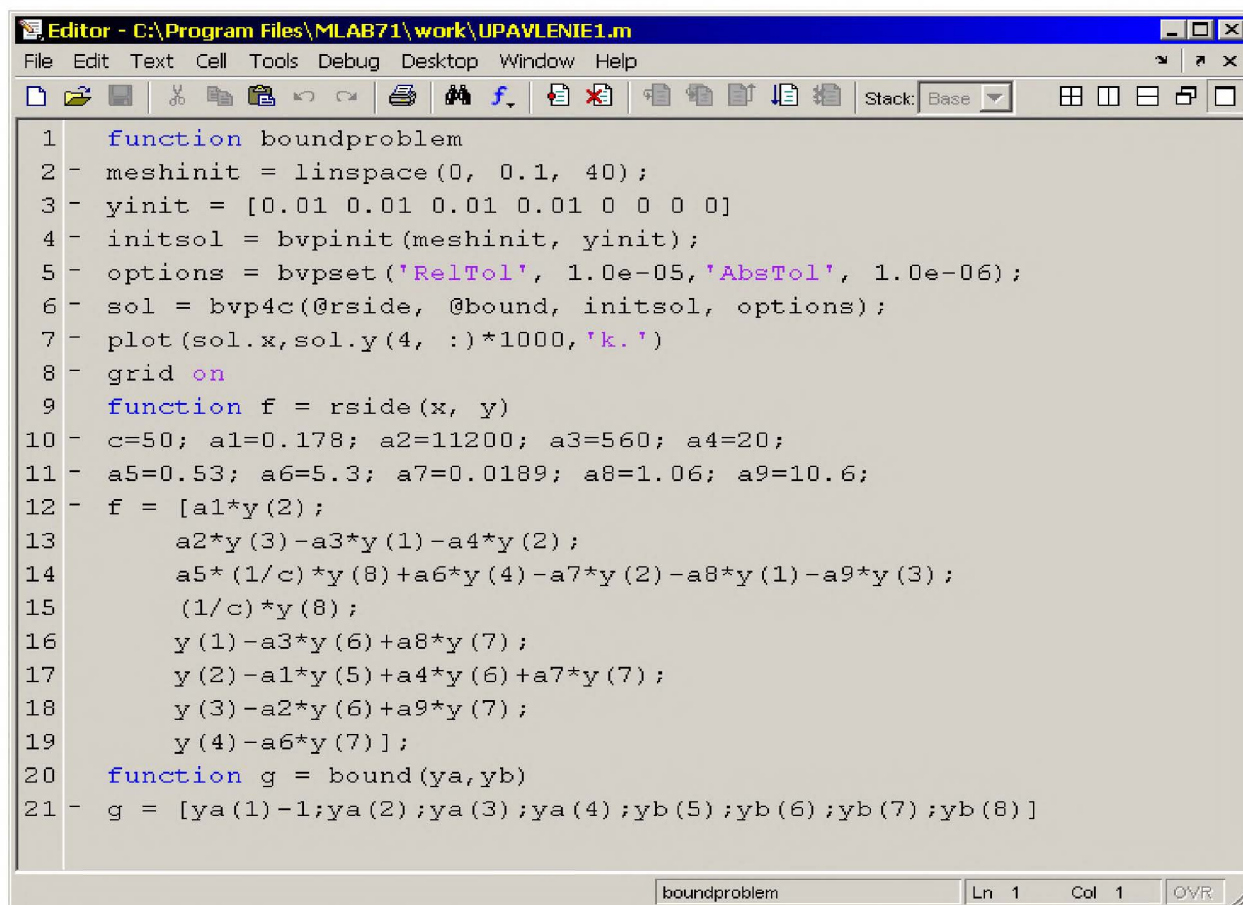
Подставляя значение $\varphi = (1/c)\psi_4$ в систему уравнений (2) и объединяя эту систему с уравнениями (5), приходим к следующей системе уравнений:

$$\begin{aligned}\frac{dy_1}{dt} &= a_1 y_2, \\ \frac{dy_2}{dt} &= a_2 y_3 - a_3 y_1 - a_4 y_2, \\ \frac{dy_3}{dt} &= a_5 (1/c) y_8 + a_6 y_4 - a_7 y_2 - a_8 y_1 - a_9 y_3, \\ \frac{dy_4}{dt} &= (1/c) y_8, \\ \frac{dy_5}{dt} &= y_1 - a_3 y_6 + a_8 y_7, \\ \frac{dy_6}{dt} &= y_2 - a_1 y_5 + a_4 y_6 + a_7 y_7, \\ \frac{dy_7}{dt} &= y_3 - a_2 y_6 + a_9 y_7, \\ \frac{dy_8}{dt} &= y_4 - a_6 y_7.\end{aligned}\tag{6}$$

Граничные условия системы уравнений (6) имеют вид:

$$\begin{aligned}y_1(0) &= y^{(0)}, \quad y_2(0) = 0, \quad y_3(0) = 0, \quad y_4(0) = 0, \\ y_5(T) &= 0, \quad y_6(T) = 0, \quad y_7(T) = 0, \quad y_8(T) = 0.\end{aligned}\tag{7}$$

Программа решения уравнений (7) приведена на рисунке 2. Программа составлена на основе [7].



```

1 function boundproblem
2 - meshinit = linspace(0, 0.1, 40);
3 - yinit = [0.01 0.01 0.01 0.01 0 0 0 0];
4 - initsol = bvpinit(meshinit, yinit);
5 - options = bvpset('RelTol', 1.0e-05, 'AbsTol', 1.0e-06);
6 - sol = bvp4c(@rside, @bound, initsol, options);
7 - plot(sol.x, sol.y(4, :) * 1000, 'k.')
8 - grid on
9 function f = rside(x, y)
10 - c=50; a1=0.178; a2=11200; a3=560; a4=20;
11 - a5=0.53; a6=5.3; a7=0.0189; a8=1.06; a9=10.6;
12 - f = [a1*y(2);
13       a2*y(3)-a3*y(1)-a4*y(2);
14       a5*(1/c)*y(8)+a6*y(4)-a7*y(2)-a8*y(1)-a9*y(3);
15       (1/c)*y(8);
16       y(1)-a3*y(6)+a8*y(7);
17       y(2)-a1*y(5)+a4*y(6)+a7*y(7);
18       y(3)-a2*y(6)+a9*y(7);
19       y(4)-a6*y(7)];
20 function g = bound(ya, yb)
21 - g = [ya(1)-1; ya(2); ya(3); ya(4); yb(5); yb(6); yb(7); yb(8)]

```

Рис. 2. Программа расчета оптимального управления замкнутой системой преобразователь частоты – асинхронный двигатель

Параметры системы ПЧ – АД рассчитаны для асинхронного двигателя

Кривая переходного процесса оптимального управления $U(t)$ представлена на рисунке 3.

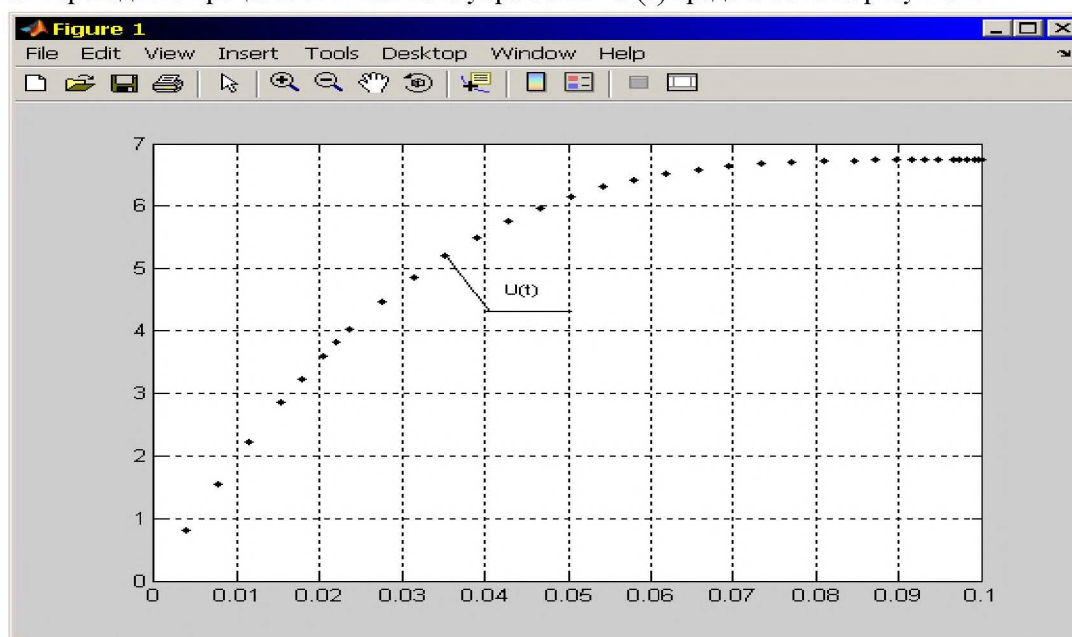


Рис. 3. Кривая переходного процесса оптимального управления замкнутой системой ПЧ - АД

Полученный график переходного процесса оптимального управления дает возможность определить постоянную времени переходного процесса оптимального управления.

Выводы

1. Разработана структурная схема замкнутой релейной системы ПЧ – АД.
2. Разработана математическая модель динамики переходных процессов скорости электромагнитного момента асинхронного двигателя.
3. Разработана программа расчета оптимального управления замкнутой системой ПЧ – АД.

Список литературы

- 1.Браславский И.Я., Ишматов З.Ш., Поляков В.Н. Энергосберегающий асинхронный электропривод. – М.: Издательский центр «Академия», 2004.
- 2.Терехов В.М., Осипов О.И. Системы управления электроприводов. – М.: Издательский центр, «Академия», 2008.
3. Попов Е.П. Теория нелинейных систем автоматического регулирования и управления. – М.: Наука, Гл. ред. физ. – мат., лит. 1988.
4. Ключев В.И. Теория электропривода. – М.: Энергоатомиздат, 1998.
5. Фельдбаум А.А., Бутковский А.Г. Методы автоматического управления. – М.: Издательство «Наука», Гл. ред. физ. – мат., 1971.
- 6.Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. – СПб, Изд – во «Профессия», 2004.
7. Ануфриев И.Е., Смирнов А.В., Смирнова Е.Н. MATLAB 7. – СПб.: БХВ, 2005.

References

1. Braslavsky I. Ya., Ishmatov Z. Sh., Polyakov V. N. Energy saving asynchronous electric drive. – M.: Publishing center "Akademiya", 2004.
2. Terekhov V. M., Osipov O. I. Control systems of electric drives. – M.: Publishing center, "Academy", 2008.
3. Popov E. P. Theory of nonlinear systems of automatic control and management. – M.: Science, Hl. edition physical. – mat., litas. 1988.
4. Klyuchev V. I. Theory of the electric drive. – M.: Energoatomizdat, 1998.
5. Feldbaum A. A., Butkovsky A. G. Methods of automatic control. – M.: Nauka publishing house, Hl. edition physical. – mat., 1971.
6. Besekersky V. A., Popov E. P. Theory of systems of automatic control. – SPb, Prod. – in "Profession", 2004.
7. Anufriyev I. E., Smirnov A. V., Smirnova E. N. MATLAB 7. – SPb.: BHV, 2005.

УДК 621.39.075

СИНТЕЗ НЕЛИНЕЙНОГО КОРРЕКТИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ЗАМКНУТОЙ СИСТЕМЫ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ – АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ НА ЭВМ

Джуласва Жазира Тулегеновна, старший преподаватель КазАТК им. М.Тынышпаева, Казахстан, Алматы, ул. Шевченко 97, e-mail: zhazj@mail.ru

В статье представлена структурная схема замкнутой системы ПЧ-АД с нелинейным корректирующим устройством. Дается математическое описание динамики замкнутой системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором. Приводится алгоритм параметрического синтеза системы управления ПЧ-АД.

Ключевые слова: Структурная схема, преобразователь частоты, короткозамкнутый ротор, алгоритм.

PARAMETRICAL SYNTHESIS OF THE NONLINEAR CORRECTING DEVICE OF THE CLOSED SYSTEM THE FREQUENCY CONVERTER THE ASYNCHRONOUS ENGINE ON THE COMPUTER

Darayev A. Shadhin U. Dzhulayev Zh.

The block diagram of the closed system of PCh-AD is presented in article with the nonlinear correcting device. The frequency converter – the asynchronous engine with a short-circuited rotor is given the mathematical description of dynamics of the closed system. The algorithm of parametrical synthesis of a control system of PCh-AD is given.

Keywords: Block diagram, frequency converter, short-circuited rotor, algorithm.

Нелинейное корректирующее устройство замкнутой системы преобразователь частоты асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором аналогично звену переменной структуры. Нелинейное корректирующее