

Ю. И. ШАДХИН, Ж. Ж. ТОЙГОЖИНОВА, А. Н. БЕСТЕРЕКОВА

(Алматинский университет энергетики и связи, Алматы, Казахстан)

## УСТОЙЧИВОСТЬ ЗАМКНУТОЙ НЕЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ – АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

**Аннотация.** В статье приводится замкнутая нелинейная система управления ПЧ – АД, ее математическое описание и расчет фазовой кривой системы в среде MATLAB.

**Ключевые слова:** преобразователь частоты, нелинейные системы, устойчивость.

**Тірек сөздер:** жиілікті түрлендіргіш, бейсызықты жүйе, тұрақтылық.

**Keywords:** converter of frequency, nonlinear systems, sustainability.

Основное условие нормального функционирования системы автоматического управления состоит в требовании устойчивости ее переходного процесса [1]. Исследование нелинейных систем управления связано с преодолением значительных математических трудностей. Основная трудность состоит в том, что не существует единого точного метода решения нелинейных уравнений и для каждого вида нелинейности приходится изыскивать специфический частный метод [2]. В данной работе для определения устойчивости замкнутой системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель (ПЧ – АД), структурная схема которой представлена на рисунке 1 в MATLAB, выбран метод фазового пространства [3]. Метод дает возможность получить наглядную и точную картину переходных процессов системы управления и по фазовым траекториям определять устойчивость или неустойчивость системы.

В структурной схеме преобразователь частоты представлен безынерционным звеном с коэффициентом передачи  $k_{PR}$ , асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором [4] представлен двумя динамическими звеньями,  $(1/J)s$  и  $b/(T_q s + 1)$ , охваченные единичной отрицательной обратной связью. Обратная связь с коэффициентом передачи  $K_s$ , образована суммированием сигналов с датчиков скорости (коэффициент передачи  $C1$ ) и сигналом с выхода нелинейного звена  $NZ$ . Структурная схема (рисунок 1) замкнутой системы ПЧ – АД является нелинейной системой, так

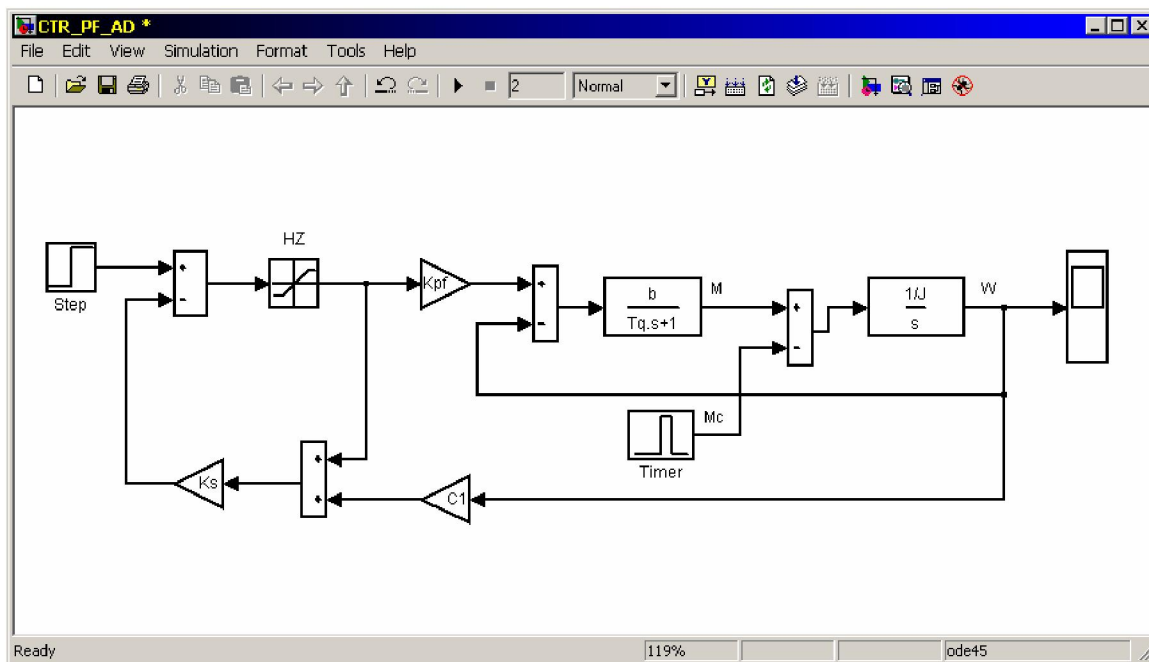


Рисунок 1 – Структурная схема замкнутой системы ПЧ – АД

как в систему управления введено нелинейное звено типа ограничение [5]. Введенное нелинейное звено придает системе как бы свойство самонастройки по величине ошибки системы, возникающей в системе в процессе управления [6].

Математическое описание замкнутой нелинейной системы ПЧ – АД при  $M_c = 0$  можно представить с следующим виде:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{J}(M - M_c); \quad (1)$$

$$\frac{dM}{dt} = \frac{Kprb}{T_\Delta} U_{PC} - \frac{b}{T_\Delta} \omega - \frac{1}{T_\Delta} M; \quad (2)$$

$$U_{PC} = z \cdot x; \quad x = U_Z - K_S U_{PC} - K_S C_1 \omega, \quad (3)$$

где  $\omega$  – скорость двигателя;  $M$  – электромагнитный момент двигателя;  $U_{PC}$  – напряжение на выходе нелинейного звена HZ;  $U_Z$  – напряжение на входе замкнутой системы ПЧ – АД;  $J$  – момент инерции ротора двигателя;  $b$  – модуль жесткости механической характеристики АД;  $T_\Delta$  – электромагнитная постоянная времени цепей статора и ротора;  $z$  – характеристика нелинейного звена HZ.

Подставив  $x$ , второе уравнение (3), в первое (3) получим:

$$U_{PC} = z \cdot (U_Z - K_S U_{PC} - K_S C_1 \omega). \quad (4)$$

Преобразуем уравнение (4) при  $U_Z = 0$  к следующему виду

$$U_{PC} = -\frac{K_S C_1 z}{(1 + K_S z)} \omega. \quad (5)$$

Подставляя выражение уравнения (5) во второе уравнение (3) также при  $U_Z = 0$ , получаем

$$x = -(K_S C_1 z / (1 + K_S z) + K_S C_1) \cdot \omega. \quad (6)$$

Характеристика нелинейного звена  $z$  выражается уравнениями [5]:

$$Z = \begin{cases} k \cdot x & \text{при } |x| \leq x_b \\ z_b \cdot \text{sign}(x) & \text{при } |x| > x_b \end{cases}. \quad (7)$$

Для удобства расчета фазовой кривой динамики системы на алгоритмическом языке MATLAB, по виду которой определяется устойчивость замкнутой нелинейной системы ПЧ – АД, необходимо уравнения (1), (2) и (6), с учетом уравнений (7) при  $M_c = 0$ , преобразовать к виду:

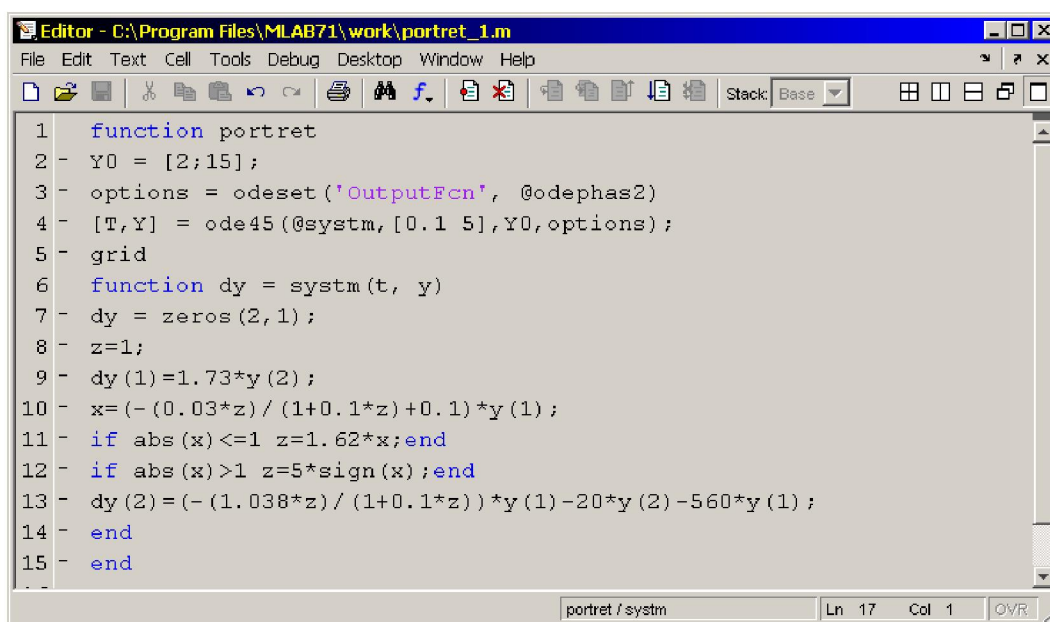
$$\frac{dy(1)}{dt} = \frac{1}{J} y(2), \quad (8)$$

$$\frac{dy(2)}{dt} = \frac{K_{pr} \cdot b}{T_{\vartheta}} \cdot \frac{K_s C_1 z}{(1 + K_s z)} y(1) - \frac{b}{T_{\vartheta}} y(1) - \frac{1}{T_{\vartheta}} y(2), \quad (9)$$

$$x = -(K_s C_1 z / (1 + K_s z) + K_s C_1) \cdot y(1), \quad (10)$$

где  $y(1) = \omega$ ,  $y(2) = M$ .

Численное интегрирование дифференциальных уравнений (8), (9), с учетом уравнений (7) и (10), и с визуализацией результата решения уравнений на фазовую плоскость, осуществляется с помощью программы в среде MATLAB [7]. Программа численного интегрирования дифференциальных уравнений представлена на рисунке 2.



```

1 function portret
2 - Y0 = [2;15];
3 - options = odeset('OutputFcn', @odephas2)
4 - [T,Y] = ode45(@system,[0.1 5],Y0,options);
5 - grid
6 function dy = system(t, y)
7 - dy = zeros(2,1);
8 - z=1;
9 - dy(1)=1.73*y(2);
10 - x=(-(0.03*z)/(1+0.1*z)+0.1)*y(1);
11 - if abs(x)<=1 z=1.62*x;end
12 - if abs(x)>1 z=5*sign(x);end
13 - dy(2)=(-(1.038*z)/(1+0.1*z))*y(1)-20*y(2)-560*y(1);
14 - end
15 - end

```

Рисунок 2 – Программа решения дифференциальных уравнений

В программе (рисунок 2) коэффициенты дифференциальных уравнений рассчитаны для асинхронного двигателя 4A132S6Y3 (5,5 кВт).

Фазовая траектория замкнутой нелинейной системы ПЧ – АД изображена на рисунке 3.

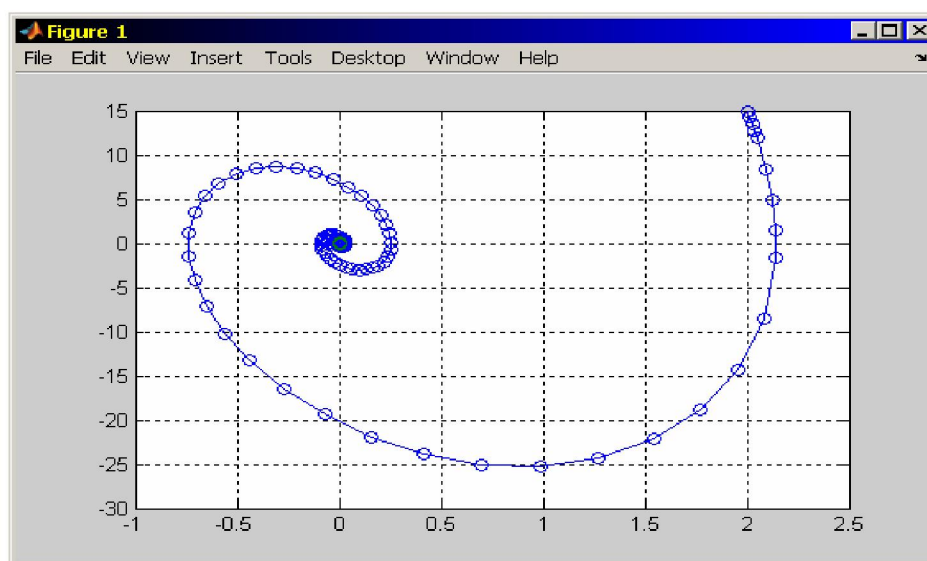


Рисунок 3 – Фазовая кривая динамики замкнутой системы ПЧ – АД

Как видно из рисунка 3, фазовая траектория стремится к положению равновесия (затухающий процесс). Согласно [6], система устойчива.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1 Фельдбаум А.А., Бутковский А.Г. Методы теории автоматического управления. – М.: Наука, 1971. – 744 с.
- 2 Воронов А.А. Основы теории автоматического управления. Л.; М.: Энергия, 1966. – 364 с.
- 3 Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. – СПб.: Профессия, 2004. – 752 с.
- 4 Терехов И.М., Осипов О.И. Системы управления электроприводов. – М.: Академия, 2008. – 304 с.
- 5 Нетушила А.В. Теория автоматического управления. – Ч. II. – М.: Высшая школа, 1972. – 432 с.
- 6 Попов Е.П. Теория нелинейных систем автоматического регулирования и управления. – М.: Наука, 1988. – 255 с.
- 7 Ануфриев И.Е., Смирнов А.Б., Смирнова Е.Н. MATLAB 7. – СПб.: БХВ – Петербург, 2005. – 1104 с.

#### REFERENCES

- 1 Feldbaum A. A., Butkovsky A. G. M: Science publishing house, 1971. 744 p.
- 2 Voronov A. A., Foundations of the theory of automatic control. M.: Energy, 1966. 364 p.
- 3 Besekersky V. A., Popov E. P. M.: Profession, 2004. 752 p.
- 4 Terekhov I. M., Osipov O. I. M.: Akademy, 2008. 304 p.
- 5 Netushila A. V. Theory of automatic control. M.: High school, 1972. 432 p.
- 6 Popov E. P. Theory of nonlinear automatic control systems and management. M.: Nauka, 1988. 255 p.
- 7 Anufriev I. E., Smimov A. B., Smimova E. N. BHV – Petersburg, 2005. 1104 p.

#### Резюме

*Ю. И. Шадхин, Ж. Ж. Тойгожинова, А. Н. Бестерекова*

(Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы, Қазақстан)

#### АСИНХРОНДЫ ҚОЗҒАЛТҚЫШ – ЖИЛІКТІ ТҮРЛЕНДІРГІШ ЭЛЕКТР ЖЕТЕГІНІҢ ТҮЙЫҚТАЛҒАН БЕЙСЫЗЫҚТЫ БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІНІҢ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫ

MATLAB бағдарламасы фазалық жазықтықта жүйенің дифференциалдық теңдеулерін оңтайлы шешуге көмектеседі.

**Тірек сөздер:** жиілікті түрлендіргіш, бейсызықты жүйе, тұрақтылық.

#### Summary

*Y. I. Shadkhin, J. J. Toygozhinova, A. N. Besterekova*

(Almaty university of Power engineering & telecommunications, Almaty, Kazakhstan)

#### STABILITY OF NONLINEAR CLOSED-LOOP CONTROL SYSTEMS FOR ELECTRIC DRIVE FREQUENCY CONVERTER-INDUCTION MOTOR

This paper presents possibility of research of stability of motion of the «Frequency converter – Induction motor» nonlinear feedback system in the MATLAB software.

In the intended nonlinear system entering of the nonlinear link of limiting which entered into the linear system «Frequency converter – Induction motor», allows to reduce influence of disturbance on dynamics of system and possibility of changing form of frequency characteristics depending on the size of amplitude of a signal.

Dynamics of the «Frequency converter – Induction motor» nonlinear feedback system is described and equivalent to system of the ordinary differential equations, on the basis of which the program was created, on MATLAB algorithmic language, provides visualization of solution of these equations on the phase plane. In the program the characteristic of the nonlinear link is described by two equations, taking into account the conditional operator of «if». Numerical integration of the differential equations is performed by Runge-Kutta method. Standard function of MATLAB algorithmic language odephas2 of the program of the solution of the differential equations is intended for plotting decision component in phase coordinates for two-dimensional process.

By resulting data it is possible to determine stability of the «Frequency converter – Induction motor» nonlinear feedback system on the phase plane.

**Keywords:** converter of frequency, nonlinear systems, sustainability.

*Поступила 05.06.2014г.*