

УДК 62-83(075.8)

## Параметрический синтез многодвигательного асинхронного электропривода с тиристорными преобразователями напряжения

К.Т. Тергемес

РГКП «Каспийский государственный университет технологий и инжиниринга им. Ш. Есенова»,  
Актау, Казахстан  
E-mail: tergemes@mail.ru

### Авторское резюме

**Состояние вопроса:** В существующих системах многодвигательного электропривода механизмов синхронного вращения применяется большое количество тиристорных преобразователей напряжения и асинхронных двигателей, что усложняет математическое описание данных электроприводов.

**Материалы и методы:** Для параметрического синтеза многодвигательного асинхронного электропривода с тиристорными преобразователями напряжения использована математическая модель асинхронного двигателя в пределах рабочей характеристики и пакет прикладных программ MATLAB. Блок-схема алгоритма параметрического синтеза составлена на основе теории прямого метода Ляпунова, численного метода сканирования и случайных чисел.

**Результаты:** Разработаны тиристорные системы управления многодвигательным асинхронным электроприводом, позволяющие поддерживать синхронность вращения при значительных разностях нагрузок приводных двигателей, например, чесальных аппаратов. Составлена блок-схема алгоритма параметрического синтеза многодвигательного асинхронного электропривода с тиристорными преобразователями напряжения, позволяющая рассчитать коэффициенты связи по разностям скоростей двигателей, которые обеспечивают синхронность вращения двигателей при различных нагрузках на их валах.

**Выводы:** Рассчитанные численные значения коэффициентов связи, обеспечивающие синхронное вращение механизмов и их многодвигательных асинхронных электроприводов с тиристорными преобразователями, подтверждаются полученными кривыми переходных процессов скоростей вращения двигателей.

**Ключевые слова:** многодвигательный электропривод, алгоритм, параметрический синтез, коэффициент связи, тиристорный преобразователь напряжения.

## Parametric Synthesis of Multimotor Asynchronous Drive with Thyristor Converter of Voltage

K.T. Tergemes

Caspian State University of Technologies and Engineering named after Sh. Esenov, Aktau, Kazakhstan  
E-mail: tergemes@mail.ru

### Abstract

**Background:** In existing systems of multimotor electric drive for synchronous rotation a considerable quantity of thyristor converters of voltage and asynchronous motors are applied. It complicates the mathematical description of the given electric drives.

**Materials and methods:** For parametric synthesis of multimotor asynchronous electric drive with thyristor voltage converters the author uses the mathematical model of the asynchronous motor within the scope of performance characteristics as well as the application program package MATLAB. The flow diagram of parametric synthesis algorithm is developed on the basis of the theory of Lyapunov's direct method, scanning numerical method, and random numbers.

**Results:** The thyristor control systems of multimotor asynchronous electric drive which allow to support the rotation synchronism with great differences of loads of driving motors such as a card. The author draws up the flow diagram of parametric synthesis algorithm of multimotor asynchronous electric drive with thyristor voltage converters which helps to calculate the connection coefficients according to the differences of engines speed to provide synchronism of engine rotation at different loads on the shafts.

**Conclusions:** The calculated numerical values of the connection coefficients provide the synchronous rotation of all mechanisms and their multimotor asynchronous electric drives with thyristor voltage converters. It confirms with the given and completely matched curves of transitional processes of engine rotation speed.

**Key words:** multimotor electric drive, algorithm, parametric synthesis, connection coefficient, thyristor voltage converter.

Многодвигательные асинхронные электроприводы (МАЭП) нашли широкое применение в оборудовании текстильной промышленности. Многопрочесные чесальные аппараты в качестве электропривода имеют многодвигательные асинхронные электродвигатели с

фазными роторами, соединенными между роторами на общее трехфазное сопротивление.

Такая система получила название «системы рабочего электрического вала» (ЭРВ) [1]. Она имеет существенные недостатки, такие как ограниченная разность нагрузок на валах двигателей, пониженная скорость вра-

щения двигателей из-за наличия сопротивлений в общей роторной цепи и, как следствие, пониженная самовентилируемость и охлаждаемость двигателей и ограниченная область устойчивой работы системы в целом.

Для повышения синхронизирующей способности таких систем нами предложен ряд схем многодвигательных асинхронных электроприводов с тиристорными преобразователями напряжения (МАЭП с ТПН), лишенных недостатков системы ЭРВ электропривода чесальных аппаратов, обеспечивающих плавность регулирования скорости вращения двигателей, защищенных авторскими свидетельствами СССР и Республики Казахстан<sup>1</sup>. МАЭП с ТПН позволяют повысить разницу нагрузок на валах двигателей на 20–30 %, по сравнению с системой ЭРВ.

На рис. 1 приведена структурная схема МАЭП синхронного вращения с индивидуальными тиристорными преобразователями напряжения (МАЭП СВ с ТПН). Данная линеаризованная структурная схема в линейной части механической характеристики АД позволяет произвести параметрический синтез параметров системы управления в процессе проектирования МАЭП.

Многодвигательные электроприводы чесальных аппаратов в большинстве случаев состоят из идентичных асинхронных двигателей. Взаимосвязь локальных систем МАЭП СВ с ТПН осуществляется с помощью введения сигналов по углам рассогласования положения роторов двигателей, которые подаются на входы тиристорных преобразователей напряжения (рис. 1) [2].

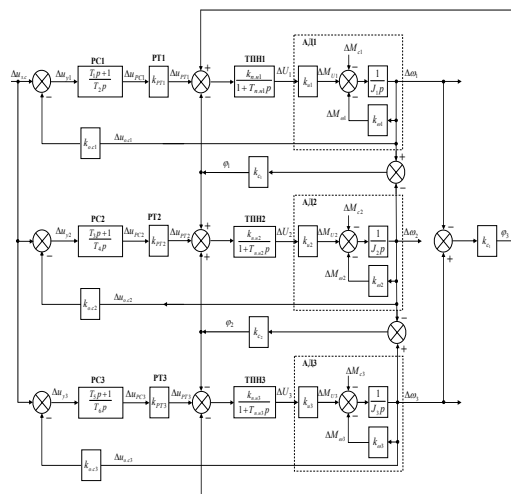


Рис. 1. Структурная схема МАЭП с ТПН синхронного вращения, состоящего из трех асинхронных двигателей

Каждая система «тиристорный преобразователь напряжения – асинхронный двигатель» (ТПН – АД) имеет регулятор тока, регулятор скорости и отрицательную обратную связь по скорости [3]. Синтез параметров данной тиристорной системы управления МАЭП рассматривается на основе теории прямого метода Ляпунова [4], численного метода сканирования [5] и метода случайных чисел.

Принимаем, что численные значения параметров системы ТПН – АД известны. Исходя из этого предположения, определению подлежат численные значения коэффициентов связи между системами ТПН – АД  $K_{ci}$ . Следует отметить, что коэффициенты связи  $K_{ci}$  предназначены для синхронизации скоростей вращения асинхронных двигателей МАЭП.

Система дифференциальных уравнений, описывающая динамику движения трехдвигательного электропривода при значениях  $\Delta u_{3.c}$  и  $\Delta M_{ci}$ , равных нулю, запишется в следующем виде:

<sup>1</sup> А.С. СССР №1233255. Многодвигательный электропривод переменного тока / П.И. Сагитов, К.Т. Тергемесов // Открытие. Изобретение. 1986, № 13; А.С.РК № 56488. Многодвигательный электропривод переменного тока / Тергемес К.Т. Оpubл. в БИ, № 9, 2008.

$$\begin{cases}
 \frac{dx_1}{dt} = \frac{k_U}{J} x_2 - \frac{k_\omega}{J} x_1, \\
 \frac{dx_2}{dt} = \frac{k_{пн} k_{PT1}}{T_{пн}} x_3 - \frac{k_{пн}}{T_{пн}} (k_{c1} + k_{c3}) x_1 + \\
 + \frac{k_{пн}}{T_{пн}} k_{c1} x_2 + \frac{k_{пн}}{T_{пн}} k_{c3} x_3 - \frac{1}{T_{пн}} x_2, \\
 \frac{dx_3}{dt} = -\frac{k_{OC1} T_1 k_U}{T_2 J} x_2 + \left( \frac{T_1 k_\omega k_{OC1}}{T_2 J} - \frac{k_{OC1}}{T_2} \right) x_1, \\
 \frac{dx_4}{dt} = \frac{k_U}{J} x_5 - \frac{k_\omega}{J} x_4, \\
 \frac{dx_5}{dt} = \frac{k_{пн} k_{PT2}}{T_{пн}} x_6 - \frac{k_{пн}}{T_{пн}} (k_{c1} + k_{c2}) x_4 + \\
 + \frac{k_{пн}}{T_{пн}} k_{c1} x_1 + \frac{k_{пн}}{T_{пн}} k_{c2} x_7 - \frac{1}{T_{пн}} x_5, \\
 \frac{dx_6}{dt} = -\frac{k_{OC2} T_1 k_U}{T_2 J} x_5 + \left( \frac{T_1 k_\omega k_{OC2}}{T_2 J} - \frac{k_{OC2}}{T_2} \right) x_4, \\
 \frac{dx_7}{dt} = \frac{k_U}{J} x_8 - \frac{k_\omega}{J} x_7, \\
 \frac{dx_8}{dt} = \frac{k_{пн} k_{PT3}}{T_{пн}} x_9 - \frac{k_{пн}}{T_{пн}} (k_{c2} + k_{c3}) x_7 + \\
 + \frac{k_{пн}}{T_{пн}} k_{c3} x_1 + \frac{k_{пн}}{T_{пн}} k_{c2} x_4 - \frac{1}{T_{пн}} x_8, \\
 \frac{dx_9}{dt} = -\frac{k_{OC3} T_1 k_U}{T_2 J} x_8 + \left( \frac{T_1 k_\omega k_{OC3}}{T_2 J} - \frac{k_{OC3}}{T_2} \right) x_7,
 \end{cases} \quad (1)$$

где  $x_1 = \Delta\omega_1$ ,  $x_2 = \Delta U_1$ ,  $x_3 = \Delta U_{PC1}$ ,  $x_4 = \Delta\omega_2$ ,  
 $x_5 = \Delta U_2$ ,  $x_6 = \Delta U_{PC2}$ ,  $x_7 = \Delta\omega_3$ ,  $x_8 = \Delta U_3$ ,  
 $x_9 = \Delta U_{PC3}$ .

Алгоритм вычислений следующий:

1. Вводятся исходные данные по каждой переменной  $x_i$  – величина шага  $h = \Delta x_j$ , вводится начальное приближение функции многих переменных  $f = 1e^{-9}$ , задаются случайные значения коэффициентов  $a_{ij}$  квадратичной формы функции  $S = \sum \sum a_{ij} x_i x_j$  с использованием датчика случайных величин.
2. Проверяется условие выполнения неравенства численного значения переменной  $x_i$ .
3. Вычисляются частные производные функции  $S$  по каждой переменной  $x_i$ .
4. Вычисляются численные значения правой части системы дифференциальных уравнений  $d_i = dx_i / dt$ , описывающей динамику переходных процессов МАЭП с системой управления.
5. Методом сканирования вычисляется минимум функции  $f$ , представляющей собой сумму функции Ляпунова  $V = \sum x_i^2$  и ее полной производной  $dV / dt = (\partial S / \partial x_i) d_i$ ;
6. Вычисляются новые численные значения переменных  $x_i = x_i + h$  с передачей управления счета на проверку условия непре-

вышения заданной верхней границы переменных  $x_i$ .

7. В случае невыполнения условия выводятся численные значения коэффициентов связи  $k_{C1}$ ,  $k_{C2}$ ,  $k_{C3}$ .

8. При полученных численных значениях  $k_{C1}$ ,  $k_{C2}$ ,  $k_{C3}$  по дифференциальным уравнениям методом Рунге – Кутты осуществляется расчет кривых переходного процесса скорости.

9. Для визуального наблюдения за качеством переходных процессов угловой скорости графики переходных процессов выводятся на экран дисплея.

Блок-схема алгоритма синтеза параметров тиристорной системы управления трехдвигательным асинхронным электроприводом приведена на рис. 2.

Программа алгоритма составлена на алгоритмическом языке системы MATLAB. В результате вычислений были получены следующие значения коэффициентов связи:  $k_{C1} = 0,4$ ;  $k_{C2} = 0,4$ ;  $k_{C3} = 0,3$ . (2)

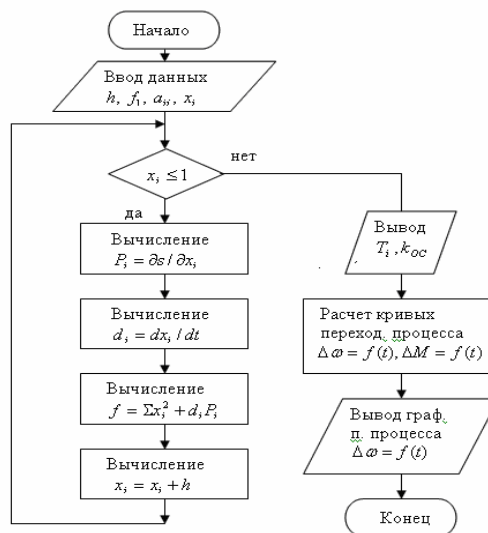


Рис. 2. Блок-схема алгоритма синтеза параметров тиристорной системы управления МАЭП с ТПН

На рис. 3 приведены кривые переходного процесса скорости вращения двигателей при заданных параметрах системы ТПН – АД с отрицательной обратной связью по скорости и полученных численных значениях коэффициентов связи (2). Получена синхронизация скоростей  $\Delta\omega_1 = \Delta\omega_2 = \Delta\omega_3$  при различных нагрузках двигателей, что подтверждается полным совпадением кривых переходных процессов, полученных отдельно для каждого двигателя.

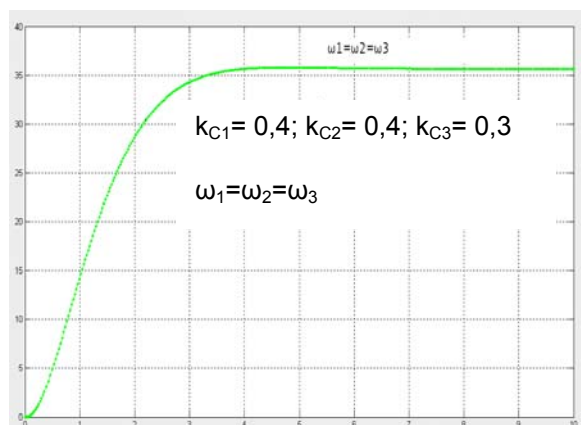


Рис. 3. Кривые переходного процесса скорости вращения двигателей при заданных параметрах системы ТПН – АД с отрицательной обратной связью по скорости и полученных численных значениях коэффициентов связи

### Заключение

Разработанные тиристорные системы управления многодвигательным асинхронным электроприводом позволяют поддерживать синхронность вращения при значительных разностях нагрузок приводных двигателей (например, чесальных аппаратов).

Составленный алгоритм параметрического синтеза многодвигательного асинхронного электропривода с тиристорными преобразователями напряжения позволяет рассчитать коэффициенты связи по разностям скоростей двигателей, которые обеспечивают синхрон-

ность вращения двигателей при различных нагрузках на их валах.

### Список литературы

1. Садовский И.М. Согласованное вращение асинхронных двигателей. – М.; Л.: Госэнергоиздат, 1948. – 210 с.
2. Тергемес К.Т. Многодвигательные асинхронные электроприводы чесальных аппаратов с тиристорными преобразователями напряжения. – Алматы: Изд-во КБТУ, 2007. – 108 с.
3. Терехов В.Н., Осипов О.И. Системы управления электроприводов. – М.: Академия, 2006. – С. 188–189.
4. Фельдбаум А.А., Бутковский А.Г. Методы теории автоматического управления. – М.: Наука, 1971. – С. 312–321.
5. Бояринов А.И., Кафаров В.В. Методы оптимизации в химической технологии. – М.: Химия, 1975. – С. 508–512.

### References

1. Sadovskiy, I.M. *Soglasovannoe vrashchenie asinkhronnykh dvigateley* [Conformal rotation of asynchronous engines]. Moscow, Gosenergoizdat, 1948. 210 p.
2. Tergemes, K.T. *Mnogodvigatel'nye asinkhronnye elektroprivody chesal'nykh apparatov s tiristornymi preobrazovatelyami napryazheniya* [Multimotorial asynchronous electric drives of cards with thyristor voltage converters]. Almaty, Izdatel'stvo KBTU, 2006. 108 p.
3. Terekhov, V.N., Osipov, O.I. *Sistemy upravleniya elektroprivodov* [Control systems of Electric Drives]. Moscow, Academy, 2006, pp.188–189.
4. Fel'dbaum, A.A., Butkovskiy, A.G. *Metody teorii avtomaticheskogo upravleniya* [Methods of Automatic Control Theory]. Moscow, Nauka, 1971, pp. 312–321.
5. Boyarinov, A.I., Kafarov, V.V. *Metody optimizatsii v khimicheskoy tekhnologii* [Optimisation methods in Chemical Technology]. Moscow, Khimiya, 1971, pp. 312–321.

Тергемес Кажыбек Тлеугалиевич,

Каспийский государственный университет технологий и инжиниринга им. Ш. Есенова,  
кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой энергетики,  
e-mail: tergemes@mail.ru