

УДК 621.313

**ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ
ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНОГО ТРЕХФАЗНОГО ДВИГАТЕЛЯ НЕПРЕРЫВНЫМИ ФУНКЦИЯМИ
НА ОСНОВЕ ПОЛИНОМОВ ЧЕБЫШЕВА НА МНОЖЕСТВЕ РАВНОУДАЛЕННЫХ ТОЧЕК**

С. Г. Буряковский, А. С. Маслий

Украинская государственная академия железнодорожного транспорта
пл. Фейербаха, 7, г. Харьков, Украина. E-mail: a.masliy@bk.ru, sergbyr@rambler.ru

Б. Г. Любарский

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»
ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, 61002, Украина. E-mail: lboris19111972@mail.ru

Для получения непрерывных зависимостей параметров вентильно-индукторного двигателя, таких, как потокосцепление и электромагнитный момент, результаты цифрового моделирования предлагается аппроксимировать непрерывными функциями. При этом был использован метод на основе многочленов Чебышева на множестве равноудаленных точек. Определены рациональные значения степеней полиномов, аппроксимирующих потокосцепления фаз и электромагнитный момент.

Ключевые слова: вентильно-индукторный двигатель, многочлен Чебышева, потокосцепление.

**ИДЕНТИФІКАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ВЕНТИЛЬНО-ІНДУКТОРНОГО
ТРИФАЗНОГО ДВИГУНА БЕЗПЕРЕРВНИМИ ФУНКЦІЯМИ НА ОСНОВІ ПОЛІНОМІВ ЧЕБИШЕВА
НА МНОЖИНІ РІВНОВІДДАЛЕНИХ ТОЧОК**

С. Г. Буряковський, А. С. Маслій

Українська державна академія залізничного транспорту
пл. Фейербаха, 7, м. Харків, Україна.

Б. Г. Любарський

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»
вул. Фрунзе, 21, м. Харків, 61002, Україна. E-mail: lboris19111972@mail.ru

Для отримання безперервної залежності параметрів вентильно-індукторного двигуна, таких, як потокосцеплення й електромагнітний момент, результати цифрового моделювання пропонується апроксимувати безперервними функціями. При цьому був використаний метод на основі многочленів Чебишева на множині рівновіддалених точок. Визначено раціональні значення ступенів поліномів, апроксимуючих потокосцеплення фаз та електромагнітний момент.

АКУТАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. В [1] была разработана математическая модель реактивного индукторного трехфазного электромеханического преобразователя на основе решения уравнения Лагранжа для электромеханической системы.

Целью данного исследования является идентификация параметров этой модели в виде непрерывных функций потокосцеплений и электромагнитного момента.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. При выборе типа зависимости решались следующие задачи:

- функция и ее производные по углу поворота ротора в начале и конце интервала, на котором производится аппроксимация (полное деление вентильно-индукторного двигателя), должны быть одинаковыми;

- предлагаемая функция должна учитывать изменения токов не только собственной, но и соседних фаз;

- предлагаемая функция должна иметь достаточно простой вид аналитических частных производных по всем координатам.

Поэтому результаты цифрового моделирования предлагаем аппроксимировать непрерывными функциями вида

$$f(i_A, i_B, i_C, \gamma) = \sum_{l=1}^m \left[\left(\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \sum_{k=0}^n aa_{ijk} i_A^i i_B^j i_C^k \right) \times \cos(l\gamma) + \left(\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \sum_{k=0}^n bb_{ijk} i_A^i i_B^j i_C^k \right) \sin(l\gamma) \right] + \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \sum_{k=0}^n c\tilde{n}_{ijk} i_A^i i_B^j i_C^k, \quad (1)$$

где $aa_{ijk}, bb_{ijk}, cc_{ijk}$ – коэффициенты полинома; i_A, i_B, i_C – токи соответствующих фаз; γ – угол поворота ротора; l – номер гармоники.

Для определения коэффициентов регрессии предлагается использовать метод на основе полиномов Чебышева [2]. Аппроксимация полиномом Чебышева выполнялась по следующему алгоритму. Пусть задано множество точек $\{x_i\} \{i=1,2,3,\dots,m\}$.

Рекуррентные соотношения, определяющие ортогональные многочлены Чебышева $g_k(x) \{k=1,2,3,\dots,m-1\}$, имеют вид:

$$g_0 \equiv 1; \quad g_1(x) = x - a; \\ g_k(x) = (x - a_k)g_{k-1}(x) - b_k g_{k-2}(x); \quad (2) \\ (k = 2,3,\dots,m-1).$$

Значения коэффициентов $a_0 \equiv a, a_k, b_k$ находятся по выражениям:

$$a = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_i; \quad (3)$$

$$a_k = \frac{\sum_{i=1}^m x_i g_{k-1}^2(x_i)}{\sum_{i=1}^m g_{k-1}^2(x_i)}; \quad (4)$$

$$b_k = \frac{\sum_{i=1}^m x_i g_{k-2}(x_i) g_{k-1}(x_i)}{\sum_{i=1}^m g_{k-2}^2(x_i)}. \quad (5)$$

Полученные полиномы с различными степенями токов трёх фаз, а также с различным содержанием высших гармоник необходимо сравнить и выбрать тот, который более точно описывает изменение

величини, полученной расчетным путем (момента и потокосцепления фаз). Для этого определим величину максимального отклонения аппроксимирующей функции (рис. 1).

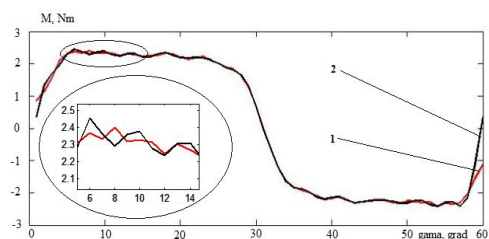


Рисунок 1 – Кривая изменения момента:
1 – по результатам цифрового эксперимента;
2 – аппроксимированная полиномиальной функцией

Распределение максимального отклонения для полиномов различных степеней представлено графически в виде гистограмм (рис. 2–5).

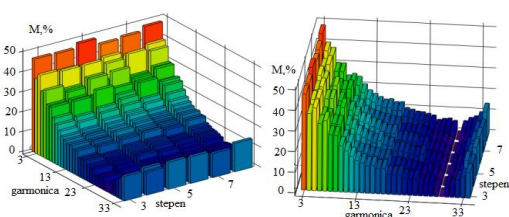


Рисунок 2 – Максимальное отклонение в полиномах, описывающих поведение электромагнитного момента ВВД

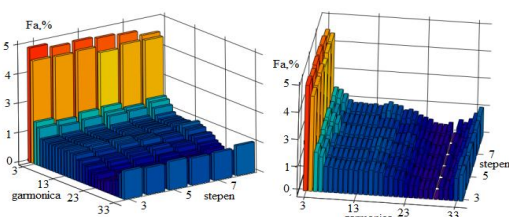


Рисунок 3 – Максимальное отклонение в полиномах, описывающих поведение потокосцепления фазы А

ВЫВОДЫ. Полученные результаты показывают, что с увеличением содержания в полиноме высших гармоник максимальное отклонение уменьшается.

IDENTIFICATION OF PARAMETERS IN MATHEMATICAL MODELS SWITCHED RELUCTANCE THREE-PHASE ELECTRIC MOTOR OF CONTINUOUS FUNCTIONS ON CHEBYSHEV POLYNOMIALS BASED ON THE SET EQUIDISTANT POINTS

S. Buryakovskiy, A. Masliy

Ukrainian State Academy of Railway Transport

pl. Feyerbaha, 7, Kharkov, Ukraine. E-mail: a.masliy@bk.ru, sergbyr@rambler.ru

B. Lyubarskiy

National Technical University "Kharkov Polytechnic Institute"

ul. Frunze, 21, Kharkov, 61002, Ukraine. E-mail: lboris19111972@mail.ru

For continuous dependence of the parameters of switched-reluctance motor such as the flux linkage and electromagnetic torque results of numerical modeling is proposed to approximate continuous functions. At the same method was used, based on Chebyshev polynomials on a set of equidistant points. Determined by rational values of degrees of polynomials approximating the phase flux linkage and electromagnetic torque.

Key words: valve-inductor drive, Chebyshev polynomial, linkage.

REFERENCES

1. Lyubarskiy B.G., Buryakovskiy S.G., Masliy A.S. and oth. The Mathematical model swished reluctance three-phase of the electromechanic converter // *Herald of NTU "HPI"*. – 2012. – PP. 95–105. [in Russian]
2. Rakinin V.I., Pervushin V.E. *Practical manual*

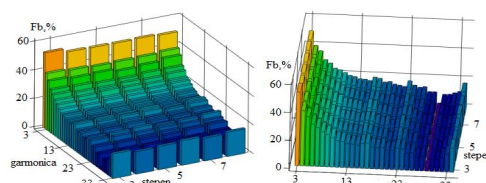


Рисунок 4 – Максимальное отклонение в полиномах, описывающих поведение потокосцепления фазы В

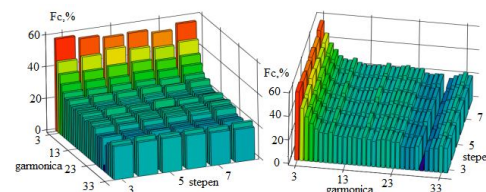


Рисунок 5 – Максимальное отклонение в полиномах, описывающих поведение потокосцепления фазы С

При этом существует определенный минимум - 29 гармоника, после которой увеличение гармонического состава приводит к увеличению отклонения. Полином, включающий в себя токи четвертой и седьмой степеней, оптимально описывает реальное изменение расчетной величины по критерию максимального отклонения. Но, применяя такие полиномы, в дальнейшем для создания математической модели более рационально использовать полиномы (как для электромагнитного момента машины, так и для потокосцеплений фаз), включающие в себя токи третьей степени и содержащие 29 гармонику. При таких полиномах величина максимального отклонения не превышает 3 %, что считаем допустимым при моделировании, а порядок математической модели при этом будет значительно ниже.

ЛИТЕРАТУРА

1. Любарский Б.Г., Маслий С.Г., Буряковский Н.А. и др. Математическая модель реактивного индукторного трехфазного электромеханического преобразователя // *Вісник НТУ «ХПІ»*. – 2012. – С. 95–105.
2. Ракин В.И., Петрушин В.Е. *Практическое руководство по методам вычисления*. – М.: Высшая школа, 1998. – 383 с.

Статья надійшла 13.07.2012.
Рекомендовано до друку
д.т.н., проф. Загірняком М.В.