

АППРОКСИМАЦИЯ ЗАВИСИМОСТЕЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТЯГОВОГО СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ВОЗБУЖДЕНИЕМ ОТ ПОСТОЯННЫХ МАГНИТОВ

Б. Г. Любарский
Доцент*

Т. В. Парфенюк
Аспирантка*

Б. Х. Ерицян
Ассистент

Национальный технический университет “Харьковский
политехнический институт”
ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, 61002

Запропонована методика апроксимації залежності поточкозчеплень фаз обмотки статора і електромагнітного моменту від кута повороту ротора і струмів у фазах тягового синхронного двигуна зі збудженням від постійних магнітів, отримані за наслідками електромагнітних розрахунків

Ключові слова: апроксимація поточкозчеплень, гармонійні функції, поліноми Чебишева, синхронний двигун із збудженням від постійних магнітів

Предложена методика аппроксимации зависимостей поточкозчеплений фаз обмотки статора и электромагнитного момента от угла поворота ротора и токов в фазах тягового синхронного двигателя с возбуждением от постоянных магнитов, полученных по результатам электромагнитных расчетов

Ключевые слова: аппроксимация поточкозчеплений, гармонические функции, полиномы Чебышева, синхронный двигатель с возбуждением от постоянных магнитов

A method is offered of approximation of dependences of flux linked phases of puttee of stator and electromagnetic moment of hauling SMPM from the corner of turn of rotor and currents in phases got on results electromagnetic computations

Keywords: approximation of flux linked, harmonic functions, polynomials Chebisheva, synchronous motor with excitation from the permanent magnets

Актуальным направлением по повышению качества и объема перевозок на железнодорожном транспорте является создание отечественного мотор-вагонного подвижного состава для малонагруженных участков перевозок так называемые рельсовые автобусы и повышение энергосбережения и снижение затрат на железных дорогах.

Основной проблемой существующей на данный момент является выбор типа тягового привода для такого подвижного состава, обеспечивающего необходимый уровень энергоэффективности при минимальных эксплуатационных издержках.

В работах [1-2] проведен анализ существующих и перспективных типов электромеханических преобразователей энергии для подвижного состава. Одним из перспективных типов является преобразователь на базе синхронного двигателя с возбуждением от постоянных магнитов (СДПМ).

Однако в настоящее время для создания тяговых приводов на базе СДПМ отсутствуют обобщенные модели привода в целом, позволяющие проводить моделирование переходных и аварийных режимов привода. Для создания такой модели необходимо разработать модель тягового синхронного двигателя, параметры которой отражали состояние магнитной системы в различных режимах ее работы. В работе [3] рассматривается методика определения зависимостей электромагнитных параметров СДПМ, таких как поточкозчепления фаз обмоток статора и электромагнитного момента по результатам расчета магнитного поля методом конечных элементов. Полученные зависимости адекватно описывают состояние магнитной СДПМ во всех режимах его работы. Однако, табличные зависимости дискретны, а для их использования в обобщенной модели тягового привода их необходимо представить в непрерывном виде.

Поэтому в работе поставлена цель: разработать методику аппроксимации зависимостей электромагнитных параметров тягового синхронного двигателя с возбуждением от постоянных магнитов

В работе рассматривается методика на примере тягового СДПМ со следующими параметрами: мощность двигателя 250 кВт номинальная частота вращения 1200 об/мин, внешний диаметр статора 650 мм длина активного статора 300 мм. Результаты расчетов электромагнитных параметров приведены в работе [3]. Часть этих результатов представлена на рис. 1 и 2.

Так как зависимости электромагнитного момента и потокосцепления фаз обмоток статора носят периодический характер в зависимости от угла поворота ротора то на аппроксимирующую функцию накладывается условие равенства ее значений и ее значений ее производных в начале и конце периода.

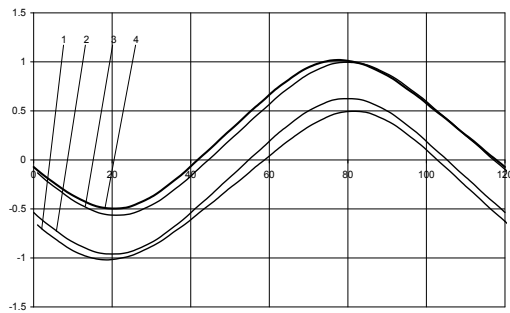


Рис. 1. Зависимость попокосцепления фазы А от угла поворота ротора при токах: 1– $i_A = -1000$ А $i_B = -1000$ А, 2– $i_A = -600$ А $i_B = 400$ А, 3– $i_A = 800$ А $i_B = 400$ А, 4– $i_A = 1000$ А $i_B = 1000$ А

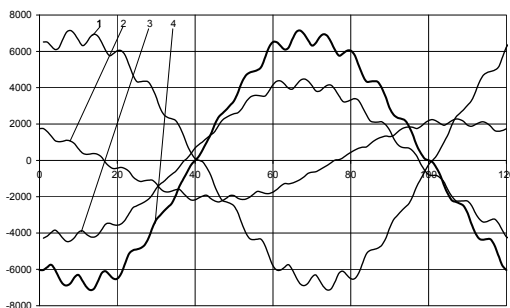


Рис. 2. Зависимость электромагнитного момента от угла поворота ротора при токах: 1– $i_A = -1000$ А $i_B = -1000$ А, 2– $i_A = -600$ А $i_B = 400$ А, 3– $i_A = 800$ А $i_B = 400$ А, 4– $i_A = 1000$ А $i_B = 1000$ А

Наилучшим образом этому условию удовлетворяет функция в виде суммы гармонического ряда – ряда Фурье. В результате предлагается провести аппроксимацию полученных электромагнитных зависимостей гармоническими функциями при различных значениях тока в обмотках статора:

$$\Psi_{i_A, i_B} = \sum_{k=1}^N [A \Psi_{i_A, i_B, k} \cos(k\gamma)] + \sum_{k=1}^N [B \Psi_{i_A, i_B, k} \sin(k\gamma)] + C \Psi_{i_A, i_B}$$

$$\Psi_{i_A, i_B} = \sum_{k=1}^N [A \Psi_{i_A, i_B, k} \cos(k\gamma)] + \sum_{k=1}^N [B \Psi_{i_A, i_B, k} \sin(k\gamma)] + C \Psi_{i_A, i_B}$$

$$M_{i_A, i_B} = \sum_{k=1}^N [A M_{i_A, i_B, k} \cos(k\gamma)] + \sum_{k=1}^N [B M_{i_A, i_B, k} \sin(k\gamma)] + C M_{i_A, i_B}$$

Где Ψ_{i_A, i_B} , Ψ_{i_A, i_B} , M_{i_A, i_B} – потокосцепление фаз статора А и В и электромагнитный момента при токах i_A, i_B , $A \Psi_{i_A, i_B}$, $B \Psi_{i_A, i_B}$, $C \Psi_{i_A, i_B}$ – коэффициента разложения в ряд Фурье значений цифрового эксперимента для определения потокосцепления фазы А при токах i_A, i_B в фазах статора А и В соответственно, $A \Psi_{i_A, i_B}$, $B \Psi_{i_A, i_B}$, $C \Psi_{i_A, i_B}$ – коэффициента разложения в ряд Фурье значений цифрового эксперимента для определения потокосцепления фазы В при токах i_A, i_B в фазах статора А и В соответственно, $A M_{i_A, i_B}$, $B M_{i_A, i_B}$, $C M_{i_A, i_B}$ – коэффициента разложения в ряд Фурье значений цифрового эксперимента для определения потокосцепления фазы В при токах i_A, i_B в фазах статора А и В соответственно, k – номер гармоники, N – число гармоник в разложении.

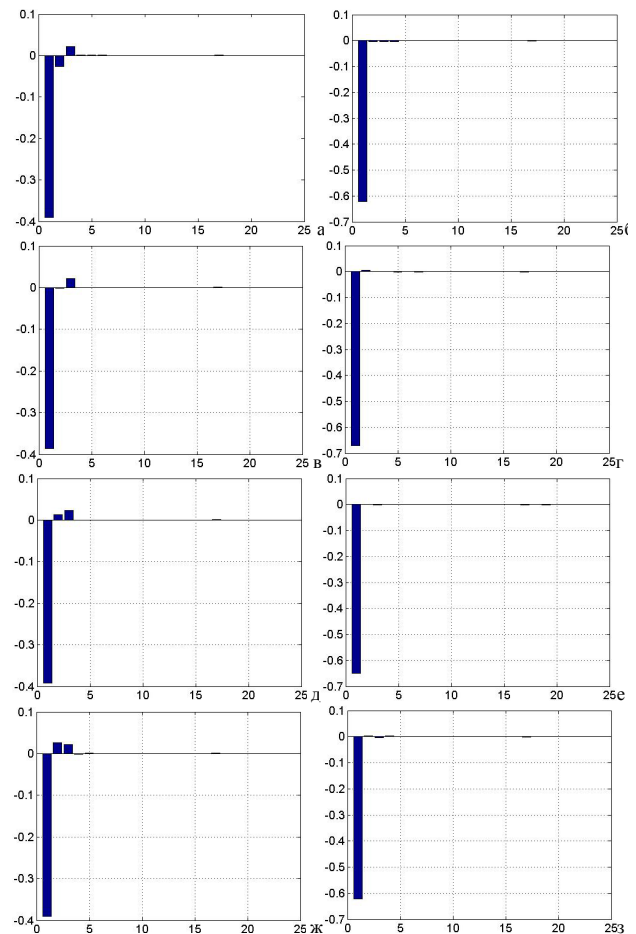


Рис 3. Спектр амплитуд потокосцепления фазы А: А (а, в, д ж) и В (б, г, е,з) при токах : а,б– $i_A = -1000$ А $i_B = -1000$ А, в,г– $i_A = -600$ А $i_B = 400$ А, д,е– $i_A = 800$ А $i_B = 400$ А, ж,з– $i_A = 1000$ А $i_B = 1000$ А

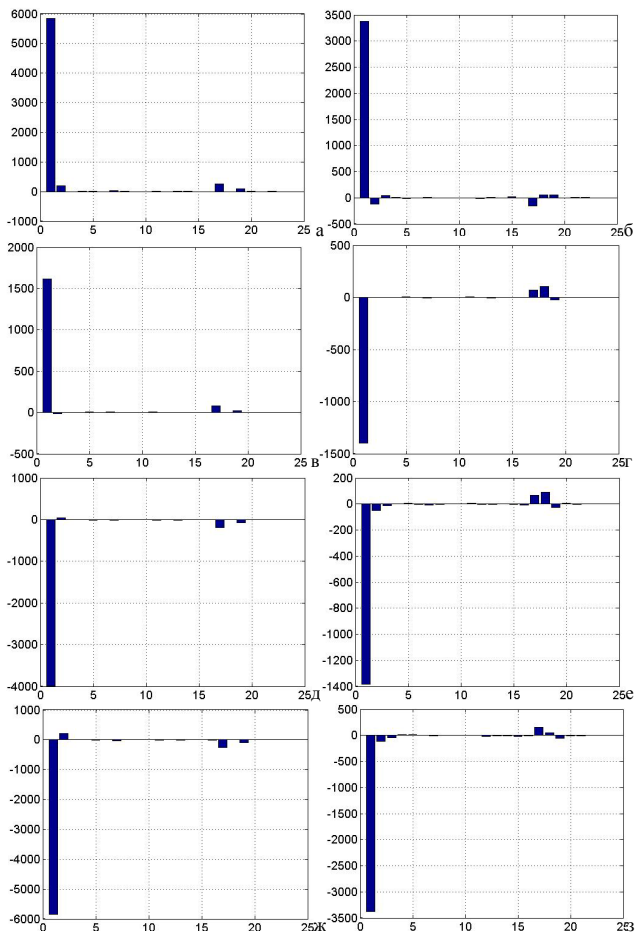


Рис 4. Спектр амплитуд электромагнитного момента фазы А: А (а, в, д ж) и В (б,г, е,з) при токах: а,б– $i_A = -1000$ А $i_B = -1000$ А, в,г– $i_A = -600$ А $i_B = 400$ А, д,е– $i_A = 800$ А $i_B = 400$ А, ж,з– $i_A = 1000$ А $i_B = 1000$ А

Для разложения в гармонический ряд возможно использование стандартных алгоритмов приведенных в [4].

На рис. 3, 4 приведены диаграммы спектра разложения в ряд Фурье для потокосцепления фазы статора А и электромагнитного момента при различных токах.

Как видно из рис. 3, амплитуды гармоник 6 выше и не превышают при всех значениях токов величины большей 5% и, следовательно, ими при расчете можно пренебречь. Поэтому число гармоник при разложении потокосцеплений в ряд Фурье составляет 5.

Из рис. 4 видно, что в спектре разложения электромагнитного момента значительную величину составляют 2, 3, 17, 18 и 19 высшие гармоники. Этот факт объясняется наличием в зависимости электромагнитного момента высшей гармонической обусловленной ступенчатой формой МДС статора. Ее частота пропорциональна числу зубцов статора. В связи с этим число гармоник при разложении в ряд Фурье электромагнитного момента СДПМ можно определить выражением:

$$N = \frac{z}{2} + 2$$

Где z– число зубцов статора.

Полученные зависимости амплитуд $A_{\psi A_{i_A, i_B}}$, $B_{\psi A_{i_A, i_B}}$, $C_{\psi A_{i_A, i_B}}$, $A_{\psi B_{i_A, i_B}}$, $B_{\psi B_{i_A, i_B}}$, $C_{\psi B_{i_A, i_B}}$, AM_{i_A, i_B} , BM_{i_A, i_B} , CM_{i_A, i_B} от величин токов i_A, i_B являются монотонными.

Поэтому их предлагается аппроксимировать полиномиальными функциями. Для этого нами был использован метод, основанный на использовании полиномов Чебышева, на множестве равноудаленных точек [5]. Его использование обусловлено тем фактом, что величины амплитуд гармоник изменяются в пределах двух порядков, поэтому при использовании метода наименьших квадратов [4] могли возникнуть матрицы близкие к вырожденным. При этом на точность вычислений их определителей оказывает значительное влияние точность арифметических операций.

В результате амплитуды потокосцеплений $A_{\psi A_{i_A, i_B}}$, $B_{\psi A_{i_A, i_B}}$, $C_{\psi A_{i_A, i_B}}$, $A_{\psi B_{i_A, i_B}}$, $B_{\psi B_{i_A, i_B}}$, $C_{\psi B_{i_A, i_B}}$, AM_{i_A, i_B} , BM_{i_A, i_B} , CM_{i_A, i_B} можно представить в виде следующего выражения:

$$A = \sum_{n=0}^{N_A} \sum_{r=0}^{N_B} (a_{n,r} \cdot i_A^n \cdot i_B^r)$$

Где A– амплитуда соответствующей гармоники, $a_{n,r}$ – коэффициент регрессии, n, r – степени слагаемых полинома, N_A, N_B , – степени полинома

Проведя ряд аппроксимаций амплитуд потокосцеплений и электромагнитного момента. По результатам определялось значение максимального и среднеквадратичного отклонения аппроксимации. Определено что при $N_A = 7, N_B = 6$, для потокосцеплений фаз А и В максимальное отклонение не превышает 1%, а для электромагнитного момента $N_A = 8, N_B = 8$.

Выводы

Предложена методика аппроксимации зависимостей потокосцеплений фаз обмотки статора и электромагнитного момента от угла поворота ротора и токов в фазах тягового СДПМ полученные по результатам электромагнитных расчетов. Особенностью методики является аппроксимация электромагнитных параметров по угловой координате гармоническими функциями амплитуды, которых аппроксимированы полиномиальными функциями токов фаз обмоток статора. Для аппроксимаций амплитуд гармонических составляющих предложено использование метода на основе полиномов Чебышева на множестве равноудаленных точек.

Предложена методика для определения степеней аппроксимирующего полинома, как для потокосцеплений, так и для электромагнитного момента.

Литература

1. Омеляненко В. И. Анализ и сравнение перспективных тяговых электродвигателей. [Текст] / В. И. Омеляненко, Б. Г. Любарский, Е. С. Рябов, А.В. Демидов, Т. В. Глебова // Залізничний транспорт України. – 2008. – № 2/1. – С. 26–31.

2. Омеляненко, В. И. Электродвигатели для перспективного электроподвижного состава [Текст] / В. И. Омеляненко, Б. Г. Любарский, Рябов Е. С, А. В. Демидов, Т. В. Глебова // Локомотив-информ. – 2008. – №1. – с. 16-19.
3. Парфенюк Т.В. Методика определения электромагнитных параметров тягового синхронного двигателя с возбуждением от постоянных магнитов // Вісник НТУ «ХПІ» // № 24 С.23-27.
4. Корн Г., Корн Т. Справ очник по математике (для научных работников и инженеров) – М. Наука –1973, 832с.
5. Данилов Ю.А. Многочлены Чебышева – Мн.: Выш.шк., – 1984, 157с.

Проведено аналіз перехідних процесів, що виникають в двоелектродних та трьохелектродних електрохімічних комірках при наявності газу, котрий аналізується, та без нього, а також в режимі холостого ходу та з навантаженням. Знайдені математичні моделі, котрі дозволили визначити та побудувати основні характеристики електрохімічних комірок. На підставі результатів аналізу запропоновані еквівалентні схеми електрохімічних комірок

Проведен анализ переходных процессов, которые возникают в двухэлектродных и трехэлектродных электрохимических ячейках при наличии анализируемого газа и без него, а также в режиме холостого хода и с нагрузкой. Найденны математические модели, которые позволили определить и построить основные характеристики электрохимических ячеек. На основании результатов анализа предложены эквивалентные схемы электрохимических ячеек

The analysis of transitional processes which arise up in dvukhelektrodnykh and trekhlektrodnykh electrochemical cells at presence of the analysed gas and without him is conducted, and also in the mode of idling and with loading. Mathematical models are found, which allowed to define and build basic descriptions of electro-chemical cells. On the basis of results of analysis the equivalent charts of electro-chemical cells are offered

УДК 621.307.13

ЕКВІВАЛЕНТНІ СХЕМИ ЕЛЕКТРОХІМІЧНИХ КОМІРОК

В.М. Майстренко

Доцент*

Контактний тел.: (044) 458-32-29

E-mail: maistrenko39@list.ru

І.В. Морозова

Старший викладач*

*Кафедра наукових, аналітичних та екологічних приладів і систем

Національний технічний університет України „Київський політехнічний інститут”

пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056

Контактний тел.: 093-843-34-44

E-mail: irenemorozova@ukr.net

1. Вступ

Останнім часом широке розповсюдження отримали електрохімічні перетворювачі, котрі використовуються в приладах і системах газового аналізу. Такі пристрої мають ряд переваг, серед яких можна відмітити високу швидкодію, простоту конструкції, економічність, надійність та інші.

Принцип дії електрохімічних перетворювачів (комірок) оснований на використанні прямого пере-

творення хімічної енергії в електричну. Цей принцип реалізується також в інших пристроях – гальванічних елементах.

Використовуються електрохімічні комірки з рідким електролітом. Крім них останнім часом широке розповсюдження отримали комірки з твердим електролітом, використання котрого суттєво спрощує конструкцію перетворювача. Але електрохімічні перетворювачі, як будь-які інші, мають певну швидкодію, обумовлену перехідними процесами, що