

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ В ФИЗИЧЕСКИХ, ХИМИЧЕСКИХ И ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Материалы III международного семинара

(г. Воронеж, 22-24 апреля 2004 г.)

Воронеж 2004

Бахвалов Ю.А., Гречихин В.В., Юфанова Ю.В. Перспективные методы расчета электромагнитных полей	208
Виноградов Б.А., Петраченко Ю.А., Харичева Д.Л. Математическое моделирование пайки прозрачной керамики с металлом	210
Гольдштейн Е.И., Бацева Н.Л., Панкратов А.В. Вычислительные процедуры определения основных параметров и характеристик однофазных трансформаторов малой мощности в рабочем режиме	213
Кузичкин О.Р., Калинин Н.Г. Экспериментальная оценка фазовых скоростей геомагнитных пульсаций для модели плоской волны с совпадающими фронтами	217
Кузичкин О.Р., Финогенов С.А. Искажения поляризационных характеристик электрического поля точечного источника разделом двух сред	221
Мешков А.Ю., Цуканов В.И. Реализация трехфазной модели асинхронного двигателя в системе компьютерной математики «МАТЛАВ 6.0» [®]	224
Рогинская И.О., Исмагилов Р.Р. Имитационная модель системы индукционного нагрева повышенной частоты	228
Рогинская И.О., Стыскин А.В., Уразбахтина Н.И. Моделирование электромагнитных процессов в системе озонирования	230
Шунин Г.Е. Комплексы программ для конечно-элементного анализа нестационарных процессов	236
Бутыркин Г.В., Шапошник В.А., Бутырский А.М. Использование пакета программ GAUSSIAN для квантово-химических расчетов	241
Курдюков С.Д. Комплекс компьютерных программ для моделирования многочастичных ядерных систем	249
Смирнов Ю.Г., Волков М.В., Яковлев С.В. Программа моделирования радиационных полей методом статистических испытаний	252
Семинина Г.В., Юрасов В.Г. К теории регулярных языков	254
Батаронов Л.И., Кострюков С.А., Пешков В.В., Хлопонин Е.С., Шунин Г.Е. Компьютерное моделирование многосвязных сверхпроводящих систем	257
Катрахова А.А., Купцов В.С., Смирнов Я.Ю. Построение функций формы с помощью процедуры интерполяции	260
Кострюков С.А., Пешков В.В., Шунин Г.Е. Структура и возможности пакета программ для конечно-элементного анализа сверхпроводящих устройств FEMPDESolver	264
Кострюков С.А., Каталиков Д.В., Пешков В.В., Шунин Г.Е. Препроцессор комплекса программ FEMPDESolver	273
Кострюков С.А., Пешков В.В., Потехин П.А., Сбитнев Я.В., Шунин Г.Е. Постпроцессор комплекса программ FEMPDESolver	279
Летов В.Н. Новое решение волнового уравнения на примере ударного движения поперечной струны	289

РЕАЛИЗАЦИЯ ТРЕХФАЗНОЙ МОДЕЛИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ В СИСТЕМЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ МАТЕМАТИКИ «MATLAB 6.0»®

А.Ю. Мелихов, В.Г. Цуканов

**Орловский государственный технический университет, каф. «ПТЭиВС»
Россия, 302020, г. Орел, Наугорское шоссе, 40
science-orel@nm.ru**

Проектирование системы управления тем или иным объектом сопряжено с решением целого ряда сложных инженерно-технических задач. При этом обязательным этапом становится разработка и исследование математической модели, как отдельных составляющих, так и всей системы в целом совместно с объектом управления. Являясь сложным, нелинейным электромагнитным преобразователем энергии, двигатель обладает рядом особенностей, которые непременно должны быть учтены при разработке системы управления.

Традиционный подход к моделированию асинхронных двигателей (АД) основан на теории обобщенной двухфазной машины, описываемой системой уравнений Парка-Горева [1]. Преобразование переменных состояния трехфазной системы в переменные двухфазной и наоборот осуществляется посредством прямого и обратного преобразования Кларка [2], основное требование к которому состоит в соблюдении инвариантности энергетических процессов в двигателе. Это фундаментальное требование доказывается с использованием множества допущений [3]. Так, к примеру, напряжение источника, питающего двигатель, считается симметричным, а ток идеально синусоидальным, но, как известно, при моделировании двигателя совместно с той или иной системой управления, форма тока, подаваемого на двигатель, может существенно отличаться от синусоидальной (рис. 1).

Таким образом, в ряде случаев моделирование асинхронного двигателя в составе системы управления с использованием традиционного подхода может не давать адекватных результатов.

Основная тенденция, сложившаяся к настоящему времени, при решении задач математического моделирования – это использование универсальных систем компьютерной математики (СКМ), позволяющих эффективно исследовать модели при высоком порядке описывающих их систем уравнений.

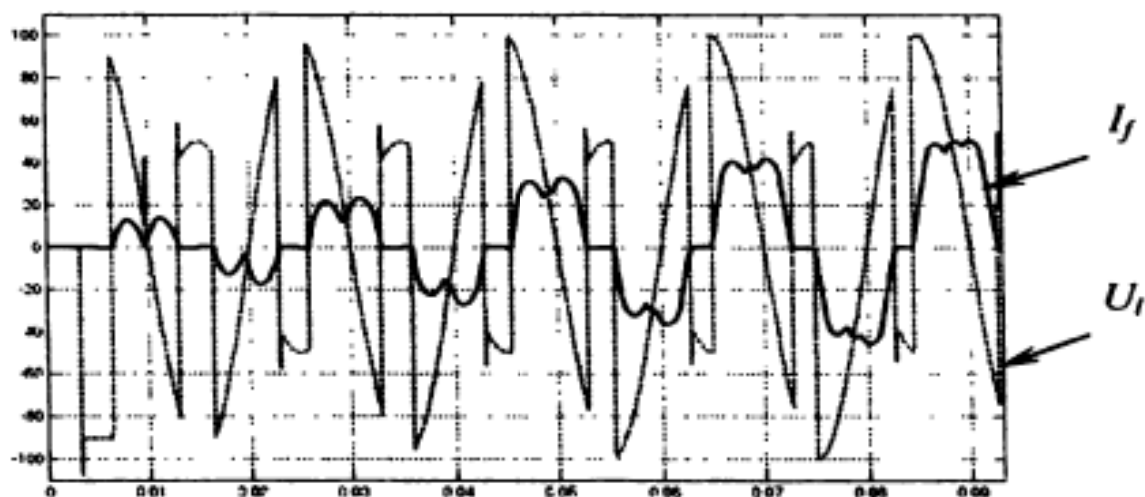


Рис. 1. Графики фазного тока (I_f) и линейного напряжения (U_l) в фазе А на выходе трехфазного тиристорного регулятора напряжения (ТРН) при работе на активно-индуктивную нагрузку.

Цель данной работы заключается в том, чтобы показать возможность реализации трехфазной модели асинхронного двигателя в СКМ «MATLAB 6.0»[®] (фирмы MathWork, Inc), позволяющей решать целый ряд задач, которые уравнениями двухфазной машины описываются с большими допущениями.

Трехфазный АД с короткозамкнутым ротором описывается нелинейными системами обыкновенных дифференциальных уравнений, состоящими из 14 уравнений и содержащими 14 неизвестных: электромагнитный момент и скорость вращения вала (1); 6 токов, 6 потокоцеплений (2). В заторможенной системе координат α - β - γ эти системы уравнений имеют вид:

$$\begin{cases} M_s = p\sigma\sqrt{3}(\Psi_{sa}\Psi_{r\beta} - \Psi_{s\beta}\Psi_{ra} + \Psi_{s\gamma}\Psi_{r\alpha} - \Psi_{sa}\Psi_{r\gamma} + \Psi_{s\beta}\Psi_{r\gamma} - \Psi_{s\gamma}\Psi_{r\beta}), \\ \frac{d\omega_r}{dt} = \frac{1}{J}(M_s - M_c), \end{cases} \quad (1)$$

где M_s – электромагнитный момент АД;

p – число пар полюсов двигателя;

σ – постоянный коэффициент, зависящий от параметров схемы замещения АД;

$\Psi_{sa}(\Psi_{ra}), \Psi_{s\beta}(\Psi_{r\beta}), \Psi_{s\gamma}(\Psi_{r\gamma})$ – проекции вектора потокоцепления статора (ротора) на оси системы координат α - β - γ ;

ω_r – угловая скорость вращения ротора;

J – момент инерции электропривода, приведенный к валу двигателя;

M_c – статический момент на валу.

$$\left\{ \begin{array}{l}
 u_{\alpha} = r_{\alpha} i_{\alpha} + d\Psi_{\alpha} / dt, \\
 u_{\beta} = r_{\beta} i_{\beta} + d\Psi_{\beta} / dt, \\
 u_{\gamma} = r_{\gamma} i_{\gamma} + d\Psi_{\gamma} / dt, \\
 0 = r_{r\alpha} i_{r\alpha} + d\Psi_{r\alpha} / dt + \omega_r (\Psi_{r\beta} - \Psi_{r\gamma}) / \sqrt{3}, \\
 0 = r_{r\beta} i_{r\beta} + d\Psi_{r\beta} / dt + \omega_r (\Psi_{r\gamma} - \Psi_{r\alpha}) / \sqrt{3}, \\
 0 = r_{r\gamma} i_{r\gamma} + d\Psi_{r\gamma} / dt + \omega_r (\Psi_{r\alpha} - \Psi_{r\beta}) / \sqrt{3}, \\
 \Psi_{\alpha} = L_{\alpha} i_{\alpha} - M \left(\frac{1}{2} i_{\beta} + \frac{1}{2} i_{\gamma} \right) + M \left(i_{r\alpha} - \frac{1}{2} i_{r\beta} - \frac{1}{2} i_{r\gamma} \right), \\
 \Psi_{\beta} = L_{\beta} i_{\beta} - M \left(\frac{1}{2} i_{\gamma} + \frac{1}{2} i_{\alpha} \right) + M \left(i_{r\beta} - \frac{1}{2} i_{r\alpha} - \frac{1}{2} i_{r\gamma} \right), \\
 \Psi_{\gamma} = L_{\gamma} i_{\gamma} - M \left(\frac{1}{2} i_{\alpha} + \frac{1}{2} i_{\beta} \right) + M \left(i_{r\gamma} - \frac{1}{2} i_{r\alpha} - \frac{1}{2} i_{r\beta} \right), \\
 \Psi_{r\alpha} = L_{r\alpha} i_{r\alpha} - M \left(\frac{1}{2} i_{r\beta} + \frac{1}{2} i_{r\gamma} \right) + M \left(i_{\alpha} - \frac{1}{2} i_{\beta} - \frac{1}{2} i_{\gamma} \right), \\
 \Psi_{r\beta} = L_{r\beta} i_{r\beta} - M \left(\frac{1}{2} i_{r\gamma} + \frac{1}{2} i_{r\alpha} \right) + M \left(i_{\beta} - \frac{1}{2} i_{\alpha} - \frac{1}{2} i_{\gamma} \right), \\
 \Psi_{r\gamma} = L_{r\gamma} i_{r\gamma} - M \left(\frac{1}{2} i_{r\alpha} + \frac{1}{2} i_{r\beta} \right) + M \left(i_{\gamma} - \frac{1}{2} i_{\alpha} - \frac{1}{2} i_{\beta} \right),
 \end{array} \right. \quad (2)$$

где $i_{\alpha\alpha}(i_{r\alpha}), i_{\alpha\beta}(i_{r\beta}), i_{\alpha\gamma}(i_{r\gamma})$ – проекции вектора тока статора (ротора) на оси системы координат α – β – γ ,

$r_s(r_r)$ – активное сопротивление статора (ротора) АД;

$u_{\alpha\alpha}, u_{\alpha\beta}, u_{\alpha\gamma}$ – трехфазное напряжение, прикладываемое к статору АД;

$L_{\alpha\alpha}(L_{r\alpha}), L_{\alpha\beta}(L_{r\beta}), L_{\alpha\gamma}(L_{r\gamma})$ – индуктивности статорных (роторных) обмоток АД;

M – взаимная индуктивность.

Наиболее компактно систему уравнений (2) можно записать через производные потокосцеплений обмоток статора и ротора в форме Коши. Для выполнения требуемых преобразований удобно воспользоваться библиотекой символьных вычислений Symbolic Math Toolbox, входящей в состав MATLAB 6.0®. Версия 2.1.2 этого пакета содержит около 70 функций, позволяющих проводить все традиционные для СКМ аналитические преобразования данных, представленных в символьной форме.

Совместное решение уравнений (1) и (2) проведено с использованием редактора дифференциальных уравнений (Differential Equation Editor), входящего в состав MATLAB 6.0®, который позволяет быстро находить численное решение систем дифференциальных уравнений достаточно высокого порядка, используя широкий класс решателей.

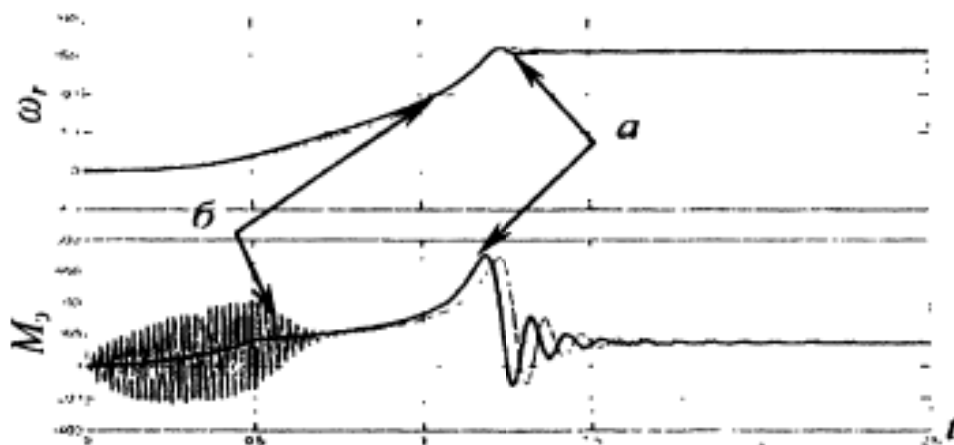


Рис. 2. Плавный пуск АД с ТРН: а – модель обобщенного двухфазного электромеханического преобразователя; б – модель трехфазного асинхронного двигателя

На рис. 2 представлены графики функций $\omega_r = f(t)$ и $M_j = f(t)$, для 3-х фазной модели и модели обобщенного преобразователя. Асинхронный двигатель (4А225М4У3) с нагрузкой вентиляторного типа управляется тиристорным регулятором напряжения.

Графики, представленные на рисунке 2, свидетельствуют о том, что модель, построенная на основе обобщенного электромеханического преобразователя энергии, неполноценно воспроизводит динамику электромагнитного момента двигателя, так как не отражает возникновение колебаний в процессе пуска.

Подводя итог работе, следует подчеркнуть, что существуют задачи, при решении которых необходимо использовать трехфазную модель АД, взамен традиционной двухфазной, ибо последняя, в ряде случаев, неадекватно отражает процессы электромагнитного и электромеханического преобразования энергии, протекающие в двигателе. Не смотря на высокий порядок систем уравнений, составляющих трехфазную модель АД, современные СКМ позволяют достаточно быстро и с приемлемой точностью решать такие уравнения, применяя их совместно с моделями систем управления.

1. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин: Учеб. для вузов / И.П. Копылов. – 2-е изд., испр. – М.: Высш. шк., 1994. – 311 с.

2. Загорский А.В. Автоматизация технологических процессов электромеханического преобразования энергии. Диссертация на соиск. учен. степени канд. тех. на-ук. Орел, 2003. – 168 с.

3. Ковач К.П. Переходные процессы в машинах переменного тока / К.П. Ковач, И. Рац. – М.; – Л.: Госэнергоиздат, 1963. – 744 с.