

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИНХРОННОЙ РЕАКТИВНОЙ МАШИНЫ

Введение

Синхронные реактивные машины за счет ряда положительных качеств получили широкое применение в промышленности, науке и технике. Основными достоинствами этих машин являются относительная дешевизна, простота изготовления, надежность и длительный срок эксплуатации.

В связи с этим область применения синхронных реактивных машин расширяется и возникает необходимость в создании новых и уточнении существующих законов управления, при синтезе которых используются математические модели различной степени детализации.

Значительная часть существующих математических моделей построена с определенными допущениями, негативно влияющими на результат моделирования. Математические модели, используемые при создании законов управления прецизионными электроприводами, должны обладать высокой степенью детализации и соответствовать реальному физическому объекту.

Поэтому работа, посвященная уточнению существующих математических моделей синхронных реактивных машин (СРМ), является актуальной.

Для получения математической модели СРМ, которая с высокой степенью точности соответствует реальной машине, в данной статье предлагается использовать аппроксимированные зависимости индуктивности фазной обмотки статора от угла поворота ротора и тока в обмотке.

Постановка задачи

Целью данной статьи является создание уточненной математической модели СРМ, которая учитывает изменения значения индуктивности фазной обмотки статора при насыщении стали.

Результаты исследования

Рассмотрим обобщенную математическую модель СРМ [1-2]

Уравнение электрического равновесия k -ой фазы статора имеет вид:

$$U_k = i_k R_k + i_k \frac{\partial L_k(i, i_k)}{\partial i} \omega + L_k(i, i_k) \frac{di_k}{dt} \quad (1)$$

Электромагнитный момент одной фазы СРМ определяется выражением [1]:

$$M_k = i_k^2 \frac{\partial L_k(i, i_k)}{\partial i} \quad (2)$$

Для нахождения аналитического выражения индуктивности проведены практические испытания шагового двигателя с пассивным ротором ШД-5Д1МУ3. В результате практических испытаний измерены: угол поворота ротора θ , ток в обмотке i_k , напряжение U_k , активное сопротивление R_k и рассчитаны параметры индуктивности фазы с учетом насыщения по формуле:

$$L_k = \frac{X_k}{\omega} = \frac{\sqrt{Z_k^2 - R_k^2}}{2pf} = \frac{\sqrt{\left(\frac{U_k}{i_k}\right)^2 - R_k^2}}{2pf} \quad (3)$$

По полученным данным построены зависимости $L_k = f(i, i_k)$, аппроксимация которых в пакете MATLAB позволила составить систему уравнений:

$$\begin{cases} L_1 = a_1 \cdot \sin(b_1 \cdot \theta + c_1) + a_2 \cdot \sin(b_2 \cdot \theta + c_2), \text{ при } 0 \leq i_k \leq 1 \text{ A;} \\ L_2 = a_{11} \cdot \sin(b_{11} \cdot \theta + c_{11}) + a_{22} \cdot \sin(b_{22} \cdot \theta + c_{22}), \text{ при } i_k = 1,5 \text{ A;} \\ L_3 = p_1 \cdot \theta^4 + p_2 \cdot \theta^3 + p_3 \cdot \theta^2 + p_4 \cdot \theta + p_5, \text{ при } i_k \geq 3 \text{ A,} \end{cases} \quad (4)$$

где $a_1, a_{11}, b_1, b_{11}, c_1, c_{11}, a_2, a_{22}, b_2, b_{22}, c_2, c_{22}, p_1, p_2, p_3, p_4, p_5$ - коэффициенты, определенные в результате аппроксимации.

Промежуточные значения индуктивности при изменении тока фазной обмотки статора в диапазонах $1 \text{ A} < i_k < 1,5 \text{ A}$ и $1,5 \text{ A} < i_k < 3 \text{ A}$ определяются следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} L_4 = (L_2 - L_1) \cdot \frac{(i_k - 1)}{(1,5 - 1)} + L_1, \text{ при } 1 \text{ A} < i_k < 1,5 \text{ A;} \\ L_5 = (L_3 - L_2) \cdot \frac{(i_k - 1,5)}{(3 - 1,5)} + L_2, \text{ при } 1,5 \text{ A} < i_k < 3 \text{ A,} \end{cases} \quad (5)$$

Выражения (4) и (5) справедливы при углах поворота ротора $0 \leq \theta \leq 180$. При $\theta > 180$ в уравнения (4) следует принимать $\theta = \theta - 180$.

На Рис.1 приведены переходные процессы изменения угла поворота ротора θ , скорости вращения вала двигателя ω , электромагнитного момента, развиваемого одной фазой машины, M_k , индуктивности фазы двигателя L_k и тока этой фазы i_k при пуске двигателя ШД-5Д1МУ3, полученные путем математического моделирования для трех случаев расчета индуктивностей фазных обмоток: без учета насыщения (пунктирные линии), в предположении, что магнитная система постоянно насыщена (штрихпунктирные линии), с реальным учетом насыщения (сплошные линии)

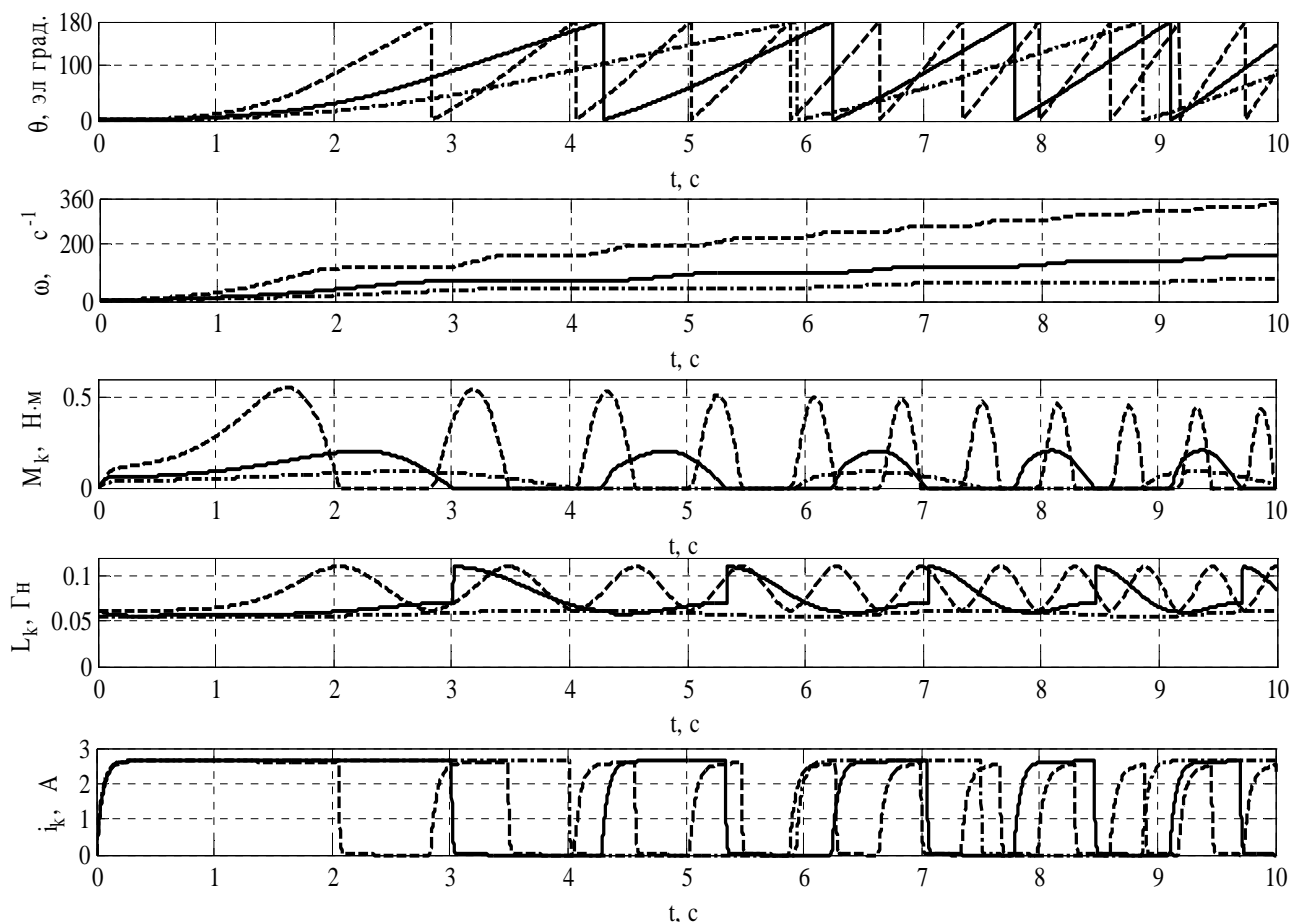


Рис. 1 Результаты математического моделирования для сравнения моделей СРМ с учетом насыщения и без.

Выводы

Аппроксимация экспериментально снятых зависимостей $L_k = f(i, i_k)$ выражениями (4) и (5) позволяет учесть влияние насыщения магнитной системы синхронной реактивной машины на ее динамические показатели и повысить точность математических моделей СРМ.

Литература

1. Полевой Е.В., Садовой А.В. «Моделирование синхронной реактивной машины». – Санкт-Петербург, Проблемы недропользования, 2009.- 127с.
2. Калюжный К.А., Садовой А.В., Сохина Ю.В. «Аппроксимация индуктивности фазы синхронной реактивной машины». – Санкт-Петербург, Проблемы недропользования, 2013.- 262с.
3. Полевой Е.В., Садовой А.В. «Моделирование режимов работы синхронных реактивных электрических машин» - Вісник національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» - Харків НТУ «ХПИ», 2008. – 646с.
4. Кенио Т. «Шаговые двигатели и их микропроцессорные системы управления». Пер. с англ. Энергоатомиздат, 1978. - 200с.
5. Austin Hughes. «Electric motors and drives» ELSVIER 2006. - 431p.