

*Н.В. АНИЩЕНКО*, канд. техн. наук, доц., НТУ "ХПИ", Харьков  
*А.А. АСТАПОВ*, студент, НТУ "ХПИ", Харьков

## **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОДНОФАЗНОГО КОНДЕНСАТОРНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ**

Розроблена математична модель та структурна схема однофазного асинхронного конденсаторного двигуна методом подовжнього і поперечного полів (метод двох реакцій). Адекватність моделі перевірена шляхом комп'ютерного моделювання з використанням пакету MATLAB.

Разработана математическая модель и структурная схема однофазного асинхронного конденсаторного двигателя методом продольного и поперечного полей (метод двух реакций). Адекватность модели проверена путем компьютерного моделирования с использованием пакета MATLAB.

**Введение.** При исследовании электроприводов некоторых устройств бытовой техники решается задача анализа поведения однофазных конденсаторных асинхронных двигателей (ОКАД). Наиболее характерной чертой таких двигателей является несимметрия обмотки статора, которая обусловлена ее несимметричным включением или несимметричным выполнением. Ротор при этом является симметричным [1].

**Цель работы** – разработка математической модели и структурной схемы однофазного асинхронного конденсаторного двигателя и проверка ее адекватности.

**Общие положения.** Для исследования работы ОКАД применяют методы анализа несимметричных асинхронных двигателей:

1. Метод продольного и поперечного полей (метод двух реакций);
2. Метод двух вращающихся в противоположные стороны полей;
3. Метод симметричных составляющих.

При использовании этих методов, которые позволяют линеаризовать электрические цепи ОКАД и использовать метод наложения, принимаются следующие допущения:

- в двигателе отсутствует насыщение, т. е. его параметры неизменны;
- статор и ротор двигателя гладкие, воздушный зазор равномерен;
- напряжение, приложенное к двигателю, ЭДС и токи машины меняются во времени по синусоидальному закону.

Наибольшей универсальностью обладает метод продольного и

поперечного поля, который позволяет преобразовать системы уравнений с периодическими коэффициентами в систему дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами. Для исследования ОКАД этим методом пригодна любая ортогональная система двух координатных осей, вращающихся в пространстве с произвольной скоростью. Метод удобен при математическом моделировании и исследовании переходных процессов ОКАД на вычислительных машинах и устройствах.

**Математическая модель ОКАД.** Асинхронный конденсаторный двигатель имеет на статоре две обмотки (фазы), занимающие одинаковое число пазов и сдвинутые в пространстве относительно друг друга на 90 эл. град. Следовательно, по числу обмоток двигатель является двухфазным. Одну из обмоток - главную - включают непосредственно в однофазную сеть, а другую - вспомогательную - включают в эту же сеть через рабочий конденсатор  $C_{\text{раб}}$ . Обмотки обычно делятся на две части, поэтому количество физических полюсов вдвое больше количества магнитных полюсов. Ротор конденсаторного двигателя выполнен короткозамкнутым.

В теории электромагнитных переходных процессов электрических машин в ортогональных осях применяются обычно три системы координат, которые являются частным случаем координатной системы, вращающейся с произвольной скоростью  $\omega_k$  [2]:

1. Система координат  $[\alpha, \beta]$ , неподвижная относительно статора  $\omega_k = 0$ ;
2. Система координат  $[d, q]$ , неподвижная относительно ротора и вращающаяся относительно статора с частотой вращения ротора  $\omega_k = \omega_r$ ;
3. Система координат  $[x, y]$ , вращающаяся относительно статора с синхронной скоростью и являющаяся неподвижной относительно поля статора асинхронной машины, в этом случае  $\omega_k = \omega_0$ .

Для исследования режимов работы асинхронных машин при несимметрии статорных цепей применяют неподвижную систему координат  $[\alpha, \beta]$ . Положение оси  $\alpha$  совпадает с магнитной осью фазы рабочей обмотки, а ось  $\beta$  совмещают с осью вспомогательной обмотки.

Основой математического описания асинхронной машины являются дифференциальные уравнения электрического ( $2^{\text{й}}$  закон Кирхгофа) и механического (уравнение движения ротора) равновесия системы, а также уравнения преобразования электромагнитной энергии в механическую. Такая система уравнений носит название уравнения Парка-Горева.

С учетом принятых выше допущений система уравнений, однозначно определяющая состояние конденсаторного асинхронного двигателя в операторной форме записывается в виде:

$$\left\{ \begin{array}{l}
 J\omega_r p = M - M_c; \\
 M = Z_p \frac{L_m}{L_r} (\Psi_{r\beta} i_{s\alpha} - \Psi_{r\alpha} i_{s\beta}); \\
 U_s = r_{s\alpha} i_{s\alpha} + \left( L_{s\alpha} - \frac{L_m^2}{L_r} \right) i_{s\alpha} p + \frac{L_m}{L_r} \Psi_{r\alpha} p; \\
 U_s = \frac{1}{C_\beta} i_{s\beta} \frac{1}{p} + r_{s\beta} i_{s\beta} + \left( L_{s\beta} - \frac{L_m^2}{L_r} \right) i_{s\beta} p + \frac{L_m}{L_r} \Psi_{r\beta} p; \\
 \frac{r_r L_m}{L_r} i_{s\alpha} = \frac{r_r}{L_r} \Psi_{r\alpha} + \Psi_{r\alpha} p + \omega_r \Psi_{r\beta}; \\
 \frac{r_r L_m}{L_r} i_{s\beta} = \frac{r_r}{L_r} \Psi_{r\beta} + \Psi_{r\beta} p - \omega_r \Psi_{r\alpha},
 \end{array} \right. \quad (1)$$

где  $r_s, r_r$  – активные сопротивления азы статора и ротора;

$L_s, L_r$  – индуктивности обмоток статора и ротора;

$L_m$  – взаимная индуктивность между статорными и роторными обмотками;

$\omega_r$  – угловая электрическая частота вращения ротора;

$J$  – момент инерции электромеханической системы;

$M_c$  – момент сил сопротивления, приведенный к валу машины;

$Z_p$  – число пар полюсов машины;

$U_s$  – напряжение питания обмотки статора;

$i_{s\alpha}, i_{s\beta}$  – проекции тока статора на оси  $[\alpha, \beta]$ ;

$\Psi_{r\alpha}, \Psi_{r\beta}$  – проекции потокосцепления ротора на оси  $[\alpha, \beta]$ .

Структурная схема ОКАД на основании системы уравнений (1) приведена на рис. 1.

Определенную сложность при построении модели асинхронного двигателя в системе координат  $[\alpha, \beta]$  представляет то обстоятельство, что эквивалентные напряжения  $U_{s\alpha}, U_{s\beta}$  и изменяются во времени по синусоидальному закону с постоянной частотой источника электроэнергии  $f_c$ .

Так как обе фазы конденсаторного двигателя подключаются к одному источнику питания, то можно записать:

$$U_s = U_{s\alpha} = U_{s\beta} + \frac{1}{C_\beta} \int i_{s\beta} dt = U_m \sin(\omega_c t + \varphi_0). \quad (2)$$

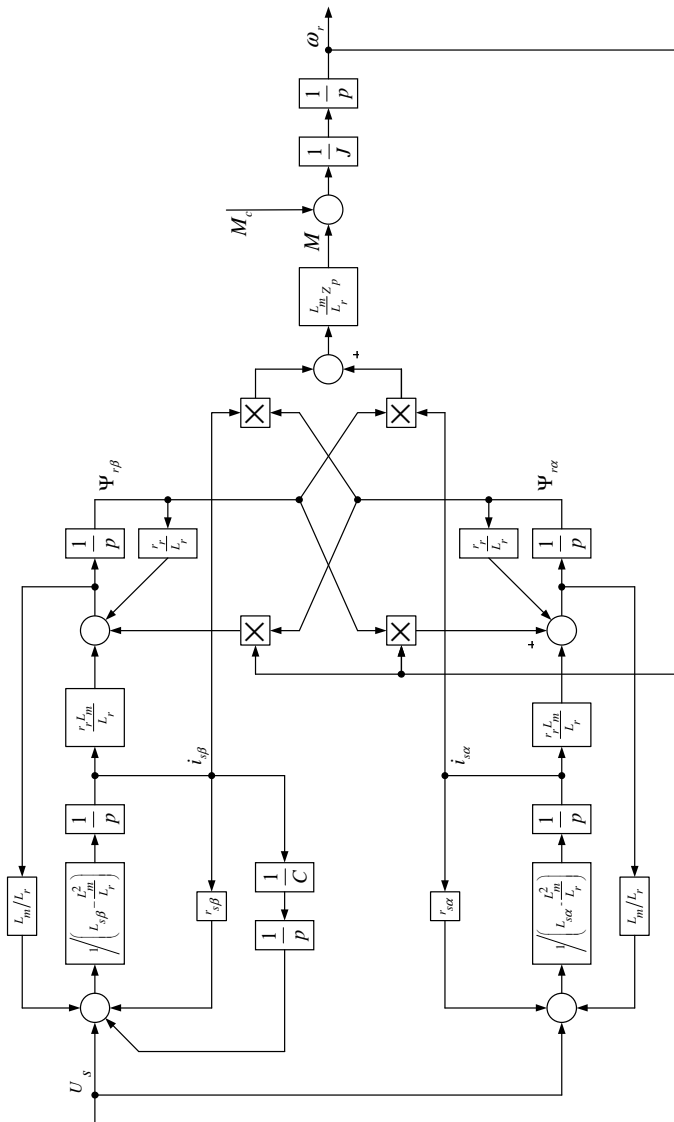


Рис. 1

**Моделирование.** Адекватность математической модели и приведенной на рис. 1 структурной схемы проверялась путем компьютерного моделирования с использованием пакета MATLAB на примере двигателя АИР 1Е 90 L2. Двигатель комплектуется рабочим конденсатором, емкость которого равна 64 мкФ. Графики переходных процессов при разгоне двигателя под нагрузкой, имеющей вентиляторную характеристику, приведены на рис. 2.

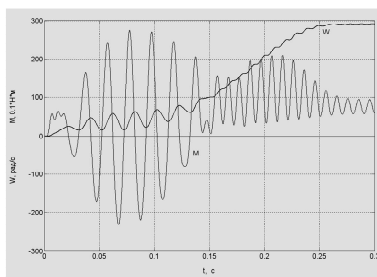


Рис. 2.

**Обсуждение полученных результатов.** Анализ приведенных графиков показывает, что показатели качества переходного процесса модели соответствуют параметрам двигателя АИР 1Е 90 L2.

**Выводы.** Полученная математическая модель адекватно описывает двигатель АИР 1Е 90 L2.

**Список литературы:** 1. Адаменко А.И. Несимметричные асинхронные машины. – К.: издательство Академии наук УССР, 1962. 2. Усольцев А.А. Частотное управление асинхронными двигателями /Уч. пособие. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2006.

*Поступила в редколлегию 04.12.2009*