

УДК 621.131

М.В.ЧЕРНЯВСКАЯ, И.Т.КАРПАЛЮК, М.Л.ГЛЕБОВА, кандидаты техн. наук
Харьковская национальная академия городского хозяйства

МОДЕЛЬ СИНХРОННОЙ МАШИНЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ВЕНТИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Описана модель синхронной электрической машины как функциональная для расчета вентильных двигателей.

Описано модель синхронної електричної машини як функціональна для розрахунку вентильних двигунів.

The model of synchronous electric machine is described as functional for the calculation of valve engines.

Ключевые слова: синхронная машина, вентильный двигатель, система дифференциальных уравнений.

Современные тенденции по использованию вентильных двигателей (ВД) в технике предполагают их создание с заданными параметрами. Для достижения этой цели необходимо создание соответствующего математического аппарата. Вопросам создания математических моделей по вентильным двигателям уделяется значительное внимание исследований [1-3].

Предлагается построение моделей для расчета, учитывая особенность работы синхронной машины (СМ) в системе ВД. При таком подходе при записи уравнений используем смешанные координаты: d , q для роторных цепей и a , b , c для статорных [4].

Следует отметить, что при переходе от трехфазного исполнения СМ к многофазному при компоновке якорных обмоток в виде отдельных фазных групп основные соотношения остаются неизменными, но существенно возрастает количество дифференциальных и алгебраических уравнений.

Процессы в СМ описываются следующей системой дифференциальных уравнений:

$$p_{\tau}\psi_{AB}(K) = U_{AB}(K) - (i_A(K) - i_B(K))r, \quad k = 1, \dots, m/3; \quad (1)$$

$$p_{\tau}\psi_{BC}(K) = U_{BC}(K) - (i_A(K) + 2i_B(K))r, \quad k = 1, \dots, m/3; \quad (2)$$

$$p_{\tau}\psi_f = U_f - r_f i_f; \quad (3)$$

$$p_{\tau}\psi_{jd} = -r_{jd} i_{jd}, \quad j = 1, 2, \dots, n; \quad (4)$$

$$p_{\tau}\psi_{id} = -r_{id} i_{id}, \quad j = 1, 2, \dots, n; \quad (5)$$

$$p_{\tau}\psi_{ad} = l_d p_{\tau} i_{\Sigma d} + m_{dq} p_{\tau} i_{\Sigma q}; \quad (6)$$

$$p_{\tau}\Psi_{ad} = l_d p_{\tau}i_{\Sigma q} + m_{dq} p_{\tau}i_{\Sigma d}; \quad (7)$$

$$p_{\tau}\omega = \left(\sum_{K=1}^{m/3} \Psi_d(K) - \sum_{K=1}^{m/3} \Psi_q(K) i_d(K) - m_{\tau} \right) H_j^{-1}; \quad (8)$$

$$p_{\tau}\gamma = \omega. \quad (9)$$

Здесь p_{τ} – знак дифференцирования по относительному времени τ , ω – текущее значение углового положения ротора. Уравнения (4), (5) для короткозамкнутых цепей учитывают как искусственные, так и естественные демпферные контуры. Введение в модель дифференциальных уравнений (6), (7) позволяет исключить итерационные циклы при определении потокосцеплений от полей взаимоиндукции статорных и роторных контуров в продольной (Ψ_{ad}) и поперечной (Ψ_{aq}) осях машины.

Таким образом, в общем случае m -фазного ВД требуется решить систему дифференциальных уравнений M -го порядка:

$$M = 2\frac{m}{3} + n + l + 5. \quad (10)$$

При учете демпферной системы ротора в виде двух эквивалентных контуров, расположенных по оси d ($n=1$) и q ($l=1$), режимы работы ВДЗ описываются системой 10-го порядка, а ВДб – 13-го порядка.

Для определения значений правых частей при численном интегрировании уравнений (1)-(9) необходимо описать связи между токами и потокосцеплениями, т.е. данная система дополняется рядом алгебраических выражений.

Токи в роторных контурах:

$$i_f = \frac{\Psi_f - \Psi_{ad}}{x_{\sigma f}}; \quad (11)$$

$$i_{jd} = \frac{\Psi_{id} - \Psi_{ad}}{x_{\sigma jd}}, \quad j = 1, 2, \dots, n; \quad (12)$$

$$i_{jq} = \frac{\Psi_{iq} - \Psi_{aq}}{x_{\sigma iq}}, \quad i = 1, 2, \dots, l. \quad (13)$$

Для определения фазных токов, входящих в правые части уравнений (1), (2), необходимо найти их проекции на оси d и q в данный момент времени. Этот путь требует решения следующих алгебраических уравнений:

$$\psi_d(K) = \frac{2}{3}[\psi_{ab}(K)\cos(\gamma - \varphi_z) - \psi_{bc}(K)\cos(\gamma - \varphi_z + 120^\circ)]; \quad (14)$$

$$\psi_q(K) = -\frac{2}{3}[\psi_{ab}(K)\sin(\gamma - \varphi_z) - \psi_{bc}(K)\sin(\gamma - \varphi_z + 120^\circ)], \quad (15)$$

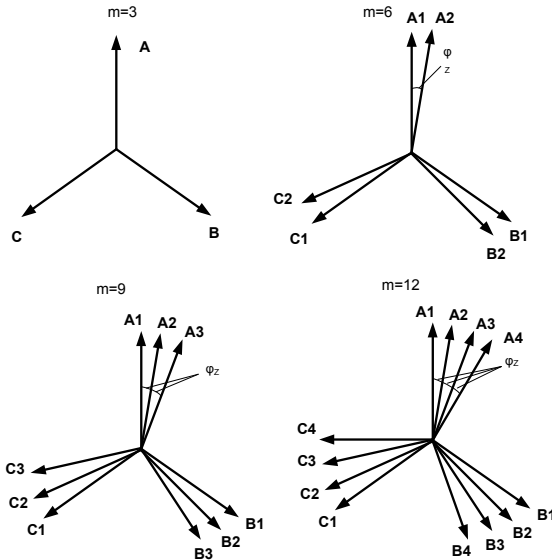
где P_τ согласно рисунку определяется как $\varphi_z = (k-1)\frac{\pi}{m}$ эл. град.

В общем случае для нахождения токов $i_d(K)$ и $i_q(K)$ следует решить две системы алгебраических уравнений:

$$\psi_d(K) = \psi_{ad} + \sum_{n=1}^{n=m/3} i_d(n) \cdot x_{\sigma d}(k, n); \quad (16)$$

$$\psi_q(K) = \psi_{aq} + \sum_{n=1}^{n=m/3} i_q(n) \cdot x_{\sigma q}(k, n), \quad (17)$$

где при $n = K$ $x_{\sigma d}(K, n)$, $x_{\sigma q}(K, n)$ – собственные индуктивности рассеяния κ -й фазовой системы по осям d и q , при $n \neq K$ $x_{\sigma d}(K, n)$, $x_{\sigma q}(K, n)$ – взаимоиндуктивности по путям рассеяния между отдельными фазными группами по осям d и q .



Векторные диаграммы обмоток якоря многофазных синхронных машин

В частности для ВД6 ($\kappa=2$) после решения систем уравнений (16), (17) при условии равенства собственных индуктивностей рассеяния по фазным группам ($x_{\sigma d}(1,1) = x_{\sigma d}(2,2) = x_{\sigma q}(1,1) = x_{\sigma q}(2,2) = x_{\sigma}$; $x_{\sigma d}(1,2) = x_{\sigma d}(2,1) = x_{\sigma q}(1,2) = x_{\sigma q}(2,1) = x_{\sigma q}$) выражения для токов имеют вид:

$$i_d(1) = \frac{(\Psi_d(1) - \Psi_{ad})x_{\sigma}}{x_{\sigma}^2 - x_{\sigma d}^2} - \frac{(\Psi_d(2) - \Psi_{ad})x_{\sigma d}}{x_{\sigma}^2 - x_{\sigma d}^2}; \quad (18)$$

$$i_d(2) = \frac{(\Psi_d(2) - \Psi_{ad})x_{\sigma}}{x_{\sigma}^2 - x_{\sigma d}^2} - \frac{(\Psi_d(1) - \Psi_{ad})x_{\sigma d}}{x_{\sigma}^2 - x_{\sigma d}^2}; \quad (19)$$

$$i_q(1) = \frac{(\Psi_q(1) - \Psi_{aq})x_{\sigma}}{x_{\sigma}^2 - x_{\sigma q}^2} - \frac{(\Psi_q(2) - \Psi_{aq})x_{\sigma q}}{x_{\sigma}^2 - x_{\sigma q}^2}; \quad (20)$$

$$i_q(2) = \frac{(\Psi_q(2) - \Psi_{aq})x_{\sigma}}{x_{\sigma}^2 - x_{\sigma q}^2} - \frac{(\Psi_q(1) - \Psi_{aq})x_{\sigma q}}{x_{\sigma}^2 - x_{\sigma q}^2}. \quad (21)$$

Фазные токи определяются по выражениям [5]:

$$i_a(K) = i_d(K) \cos(\gamma - \varphi_Z) - i_q(K) \sin(\gamma - \varphi_Z); \quad (22)$$

$$i_b(K) = i_d(K) \cos(\gamma - \varphi_Z - 120^\circ) - i_q(K) \sin(\gamma - \varphi_Z - 120^\circ); \quad (23)$$

$$i_c(K) = -(i_a(K) - i_b(K)). \quad (24)$$

Для расчета правых частей уравнений (6), (7) следует определить суммарные намагничивающие силы по осям d и q, что в принятой системе относительных единиц равносильно $i_{\Sigma d}$ и $i_{\Sigma q}$, от величины которых зависят параметры l_d , l_q , m_{dq} и m_{qd} .

$$i_{\Sigma d} = \sum_1^K i_d(K) + i_f + \sum_{j=1}^{j=n} i_{jd}; \quad (25)$$

$$i_{\Sigma q} = \sum_1^K i_q(K) + \sum_{i=1}^{i=l} i_{iq}. \quad (26)$$

Производные от суммарных токов $p_{\tau} i_{\Sigma d}$ и $p_{\tau} i_{\Sigma q}$ рассчитываются по выражениям:

$$p_{\tau} i_{\Sigma d} = \left(p_{\tau} i'_{\Sigma d} - \frac{m_{db}}{x_{oq} + l_q} \cdot \frac{x_{oq}}{x_{od}} \cdot p_{\tau} i'_{\Sigma q} \right) \left(1 + \frac{l_d}{x_{od}} - \frac{m_{dq}^2}{(x_{oq} + l_q)x_{od}} \right)^{-1}; \quad (27)$$

$$p_{\tau} i'_{\Sigma d} = \left(p_{\tau} i'_{\Sigma q} - \frac{m_{dq}}{x_{oq} + l_d} \cdot \frac{x_{od}}{x_{oq}} \cdot p_{\tau} i'_{\Sigma d} \right) \left(1 + \frac{l_q}{x_{oq}} - \frac{m_{dq}^2}{(x_{od} + l_d) x_{oq}} \right)^{-1}, \quad (28)$$

где $p_{\tau} i'_{\Sigma d}$ и $p_{\tau} i'_{\Sigma q}$ зависит от взаимоиндуктивных связей между старторными системами в многофазных машинах и выражения для их расчета могут быть получены после разрешения систем уравнений (16), (17) относительно токов ($i_d(n)$), ($i_q(n)$). Например, для ВДб имеем:

$$p_{\tau} i'_{\Sigma d} = [p_{\tau} \psi_d(1) + p_{\tau} \psi_d(2)] \frac{x_{\sigma} - x_{\sigma d}}{x_{\sigma}^2 - x_{\sigma d}^2} + \frac{p_{\tau} \psi_{fd}}{x_{\sigma f}} + \sum_{j=1}^{j=n} \frac{p_{\tau} \psi_{jd}}{x_{\sigma jd}}; \quad (29)$$

$$p_{\tau} i'_{\Sigma q} = [p_{\tau} \psi_q(1) + p_{\tau} \psi_q(2)] \frac{x_{\sigma} - x_{\sigma q}}{x_{\sigma}^2 - x_{\sigma q}^2} + \sum_{i=1}^{i=l} \frac{p_{\tau} \psi_{jq}}{x_{\sigma jq}}; \quad (30)$$

$$p_{\tau} \psi_d(K) = \frac{2}{3} [p_{\tau} \psi_{ab}(K) \cos(\gamma - \varphi_Z) - p_{\tau} \psi_{bc}(K) \cos(\gamma - \varphi_Z + 120^\circ)] + \psi_q(K) \cdot \omega; \quad (31)$$

$$p_{\tau} \psi_q(K) = -\frac{2}{3} [p_{\tau} \psi_{ab}(K) \cdot \sin(\gamma - \varphi_Z) - p_{\tau} \psi_{bc}(K) \cdot \sin(\gamma - \varphi_Z + 120^\circ)] - \psi_d(K) \cdot \omega. \quad (32)$$

Следует отметить, что при организации стандартного алгоритма для расчета на ЭВМ, алгебраические связи (27)-(32) должны быть реализованы до интегрирования уравнений (6), (7). Параметры l_d , l_q , m_{dq} , m_{qd} определяются на каждом шаге интегрирования с использованием квадратурных формул Гаусса седьмого порядка по распределению результирующего поля в зазоре.

Для решения системы уравнений СМ (алгебраических (11)-(15); (18)-(24) и дифференциальных (1)-(9)) необходимо задать величины параметров машины, начальные значения дифференциальных переменных и временные зависимости для напряжений на зажимах обмоток статора (U_{AB} , U_{BC}) и возбуждения (U_f).

Таким образом, связь блока СМ в общей структуре силовой части модели ВД осуществляется через переменные: входные – U_{AB} , U_{BC} и выходные – i_A , i_B , i_C .

1. Балковой А.П., Паценкин В.К. Выбор синхронной машины для работы в режиме вентильного двигателя // Вестник Московского энергетического института. – 2007. – №2. – С.92-101.

2. Мещеряков В.Н., Карантаев В.Г. Структурно-топологический анализ векторной модели вентильного двигателя // Известия высших учебных заведений. Электромехани-

ка. – 2004. – №3. – С.25-29.

3. Самохвалов Д.В. Математическая модель электропривода с вентиляльным двигателем и цифровой коррекцией статических характеристик // Известия высших учебных заведений. Электромеханика. – 2009. – № 4. – С.70-76.

4. Волчуков Н.П., Кузнецов А.И., Фаран А.Ш. Особенности процесса коммутации в вентиляльных двигателях различного исполнения // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – Харків, 2001. – №16. – С.32-34.

5. Спасский С.В. Вентильный двигатель // Нано- и микросистемная техника. – 2005. – № 4. – С.46-47.

Получено 11.03.2010

УДК 621.313

И.Т.КАРПАЛЮК, канд. техн. наук, А.В.ПОСПЕЛОВ, канд. экон. наук
Харьковская национальная академия городского хозяйства

ПРОБЛЕМЫ ЗАМЕНЫ ЛАМП НАКАЛИВАНИЯ НА КОМПАКТНЫЕ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ ЛАМПЫ В ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ С ИЗНОШЕННЫМИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ СЕТЯМИ

Рассматриваются вопросы замены в имеющихся осветительных установках источников света – ламп накаливания на источники света – компактные люминесцентные лампы. Рассчитан экономический эффект от замены источников света для типовой осветительной установки. Приведен практический результат по замене источников света. Рассмотрены проблемы, связанные с заменой источников света.

Розглянуто питання заміни ламп розжарювання на компактні люмінесцентні лампи в існуючих освітлювальних установках. Розраховано економічний ефект від заміни джерел світла типової освітлювальної установки. Наведено практичний результат щодо заміни джерел світла. Розглянуто проблеми, пов'язані із заміною джерел світла.

The questions of replacement in the present lighting settings of sources of light are examined - incandescent on the sources of light lamps are compact luminescent lamps. An economic effect is expected from replacement of sources of light for the model lighting setting of illumination. A practical result is resulted on replacement of sources of light. Problems are considered related to replacement of sources of light.

Ключевые слова: источник света, лампа накаливания, компактная люминесцентная лампа, осветительная установка, экономический эффект, равенство затрат по эксплуатации.

Развитие технологий привело к возможности использования в современных осветительных установках (ОУ) источников света (ИС) с показателями световой отдачи много выше, чем у широко распространенных ламп накаливания (ЛН). Наибольшее распространение получили источники света – компактные люминесцентные лампы (КЛЛ) с полупроводниковыми высокочастотными пускорегулирующими аппаратами (ПРА). КЛЛ снабжены резьбовыми патронами E27 и имеют габаритные размеры сравнимые с ЛН. Это позволяет использовать КЛЛ в имеющихся ОУ взамен источников света ЛН, при условии со-