

УДК 621.313.323

Академик Г. Л. Арешян

Теория синхронного емкостного реактивного двигателя

(Представлено 27/III 2003)

Дается система дифференциальных уравнений электрических цепей и уравнение электроемкостного момента вращения нового синхронного реактивного емкостного двигателя, который питается только от трехфазной электрической сети и не требует дополнительного источника постоянного напряжения для создания электрического поля возбуждения [1].

Основополагающая идея для создания синхронного емкостного реактивного двигателя (СЕРД), который является аналогом синхронного реактивного двигателя индуктивного типа, заключается в следующем. В обычных синхронных емкостных генераторах каждый плюсовой и минусовой электроды возбуждения охватывают на роторном диске угол в 180 электрических градусов. При такой геометрии электродов возбуждения вся торцевая поверхность роторного диска (стороной, обращенной к статорному диску), за исключением малой поверхности межэлектродных пазов, покрыта металлической пленкой электродов возбуждения. Фазные статорные электроды (по два на каждую фазу и на пару полюсов), имеющие $180/m$ (m - число фаз) электрических градусов дугового охвата, также покрывают полностью одну торцевую поверхность статорного диска. Геометрию фазных электродов и электродов возбуждения с такими углами охвата будем называть электродами с полным обхватом или просто полными электродами (соответственно полные электроды возбуждения и полные фазные электроды).

Укороченными электродами возбуждения будем называть электроды с углом охвата меньше чем 180 эл. градусов (обычно 120-150 эл. градусов). При укороченных электродах возбуждения не вся торцевая поверхность диска возбуждения охвачена их металлической поверхностью. Расчеты показали, что в случае укороченных электродов возбуждения в величине собственной емкости фазных электродов появляются провалы, которые обусловлены межэлектродными пазами на роторном диске. Поэтому при укороченных электродах возбуждения в величине собственной емкости фазных электродов, кроме постоянной составляющей, появляется вторая гармоника в зависимости от угла поворота ротора, амплитуда которой сопоставима с постоянной составляющей. Наличие второй гармоники в величине собственной емкости фазных электродов приводит к тому, что синхронная емкость машины по продольной оси C_d оказывается по величине больше, чем синхронная емкость по поперечной оси C_q . В случае полных электродов возбуждения эти емкости равны друг другу $C_d = C_q = C_s^*$. Эффект появления C_d , не равного C_q из-за укорочения электродов возбуждения, приводит к изменению структуры системы дифференциальных уравнений и расширению динамических характеристик таких синхронных емкостных машин

[2].

Наконец, что не менее важно, возникновение в результате укорочения электродов возбуждения разности в величине $C_d - C_q$ приводит к появлению дополнительной составляющей в электроемкостном моменте вращения синхронных емкостных машин. Эта дополнительная составляющая момента вращения не зависит от напряжения возбуждения. Это обстоятельство дает возможность, замкнув укороченные электроды возбуждения через активное сопротивление, получить так называемый синхронный реактивный момент вращения без наличия источника постоянного напряжения (обоснование дается ниже). Таким образом, синхронный емкостный реактивный двигатель - это многофазная (или трехфазная) емкостная машина дискового или цилиндрического типа с укороченными электродами возбуждения, замкнутыми друг с другом через активное сопротивление, и с фазными электродами, подключенными к многофазной (или трехфазной) электрической сети. Кроме того, на роторном диске для каждой пары полюсов установлены дополнительно пара электродов (замкнутых между собой) по продольной оси и пара электродов (также замкнутых между собой) по поперечной оси. Система таких дополнительных (демпферных), замкнутых на себя, электродов создает асинхронную составляющую в моменте вращения, что обеспечивает разгон ротора при пуске и наборе оборотов вращения до подсинхронной скорости с дальнейшим втягиванием ротора в синхронизм за счет синхронного реактивного момента [1].

Для обоснования вышесказанного составим вначале матрицу собственных натуральных емкостей трехфазных статорных электродов C_{ss} . Эта матрица может быть вычислена по той же методике, по которой вычисляется матрица индуктивностей фазных статорных обмоток машин индуктивного типа при наличии явнополюсности (см. §1.7 в [3]). Производя необходимые вычисления, получаем для трехфазных синхронных емкостных машин с укороченными электродами возбуждения матрицу C_{ss} вида

$$C_{ss} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} \end{bmatrix} \quad (1)$$

где элементы матрицы равны

$$\left. \begin{aligned} C_{11} &= C_s + C_\sigma + C_\varepsilon \cos 2\gamma, C_{12} = C_s \cos \rho + C_\varepsilon \cos(2\gamma - \rho), \\ C_{13} &= C_s \cos \rho + C_\varepsilon \cos(2\gamma + \rho), \\ C_{21} &= C_{12}, C_{22} = C_s + C_\sigma + C_\varepsilon \cos(2\gamma + \rho), C_{23} = C_s \cos \rho + C_\varepsilon \cos 2\gamma \\ C_{31} &= C_{13}, C_{32} = C_{23}, C_{33} = C_s + C_\sigma + C_\varepsilon \cos(2\gamma - \rho), \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где $C_\varepsilon = 0.5\varepsilon C_s$, $\rho = 2\pi/3$, γ - угол положения продольной оси d ротора относительно электрической оси статорного электрода фазы "а"; C_ε - амплитуда второй гармоники пульсации в собственной емкости фазного электрода, ε - коэффициент модуляции из-за

укорочения угла охвата электрода возбуждения, при полных электродах $\varepsilon = 0$; C_σ - величина емкости из-за электрических полей рассеяния каждого фазного электрода (электрод-корпус); C_s - величина собственной емкости фазного электрода без учета емкостей C_σ и C_ε .

Преобразуя эту натуральную матрицу статорных фазных емкостей в пространство Парка - Горева, по уравнению $C_{ss*} = (\Lambda_s)^{-1} C_{ss} \Lambda_s$ получаем

$$C_{ss} = \begin{bmatrix} C_0 & 0 & 0 \\ 0 & C_d & 0 \\ 0 & 0 & C_q \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где

$$C_0 = C_\sigma, \quad C_d = 1.5(C_s + C_\varepsilon) + C_\sigma, \quad C_q = 1.5(C_s - C_\varepsilon) + C_\sigma, \quad (4)$$

Λ_s и $(\Lambda_s)^{-1}$ - матрицы преобразования Ляпунова трехфазных статорных электрических цепей, равные

$$\Lambda_s = \begin{bmatrix} 1 & \cos \gamma & \sin \gamma \\ 1 & \cos(\gamma - \rho) & \sin(\gamma - \rho) \\ 1 & \cos(\gamma + \rho) & \sin(\gamma + \rho) \end{bmatrix}; \quad (\Lambda_s)^{-1} = \frac{2}{3} \begin{bmatrix} 0.5 & 0.5 & 0.5 \\ \cos \gamma & \cos(\gamma - \rho) & \cos(\gamma + \rho) \\ \sin \gamma & \sin(\gamma - \rho) & \sin(\gamma + \rho) \end{bmatrix}, \quad (5)$$

где $\gamma = \int_0^t \omega dt + \gamma_0$, γ - угол положения ротора, $\rho = 2\pi/3$.

Как следует из (4), при отсутствии укорочения ($\varepsilon = 0$, $C_\varepsilon = 0$) синхронные емкости C_d и C_q становятся равными друг другу и равны $C_d = C_q = 1.5C_s + C_\sigma = C_{s*}$. Синхронные емкостные машины с укороченными электродами возбуждения являются аналогом синхронных явнополюсных машин индуктивного типа, у которых L_d не равно L_q . Синхронные емкостные машины с полными электродами возбуждения являются аналогом неявнополюсных синхронных индуктивных машин.

Система дифференциальных уравнений емкостного реактивного двигателя, имеющего на статорном диске трехфазные электроды, а на роторном диске закороченные через активное сопротивление, укороченные электроды возбуждения (индекс f) и в продольной и поперечной осях закороченные цепи из демпферных электродов (индексы D и Q), имеет следующий вид в пространстве Парка - Горева:

$$dQ_o/dt + g_s U_o = i_o, \quad dQ_d/dt + \omega Q_q + g_s U_d = i_d, \quad dQ_q/dt - \omega Q_d + g_s U_q = i_q, \quad (6)$$

$$dQ_f/dt + g_f U_f = 0, \quad dQ_D/dt + g_D U_d = 0, \quad dQ_Q/dt + g_Q U_Q = 0, \quad (7)$$

где электрические потокоцепления равны:

$$\begin{aligned} Q_0 &= C_0 U_0, \quad Q_d = C_d U_d + M_f U_f + M_D U_D, \quad Q_q = C_q U_q + N_Q U_Q, \quad Q_f = M_f U_d + M_{ff} U_f + \\ &+ M_{fD} U_D, \quad Q_D = M_D U_d + M_{fD} U_f + M_{DD} U_D, \quad Q_Q = N_Q U_q + N_{QQ} U_Q. \end{aligned} \quad (8)$$

Система уравнений (6)-(8) получена автором после преобразования соответствующей системы дифференциальных уравнений в натуральных переменных в пространство Парка - Горева с помощью матриц преобразования Ляпунова. Метод преобразования для обычных емкостных машин описан в [3] (§3.2 и §3.3). Матрицы преобразования Ляпунова для получения уравнений (6)-(8) имеют вид:

$$\Lambda_A = \begin{bmatrix} \Lambda_S & 0_A \\ 0_a & E_R \end{bmatrix}, \quad \Lambda_B = \begin{bmatrix} \Lambda_S & 0_A \\ 0_A & (2/3)E_R \end{bmatrix}, \quad (9)$$

$$(\Lambda_A)^{-1} = \begin{bmatrix} (\Lambda_S)^{-1} & 0_A \\ 0_A & E_R \end{bmatrix}, \quad (\Lambda_B)^{-1} = \begin{bmatrix} (\Lambda_S)^{-1} & 0_A \\ 0_A & (2/3)E_R \end{bmatrix}, \quad (10)$$

где Λ_S и $(\Lambda_S)^{-1}$ по (5), 0_A - нулевая матрица размерности 3×3 , E_R - единичная матрица размерности 3×3 .

Электроемкостный момент вращения двигателя получаем в результате вычисления по формуле

$$M_{Bp} = -(p_0/2)U^t(\partial C/\partial \gamma)U, \quad (11)$$

где p_0 - число пар полюсов, U - матрица-столбец натуральных напряжений всех электрических цепей, C - квадратная матрица натуральных емкостей и взаимноемкостей машины. Верхний индекс t означает транспонирование.

Для рассматриваемого двигателя момент вращения равен (принято, что поперечная ось q отстает от оси d)

$$M_{Bp} = 1.5_0[(C_d - C_q)U_d U_q + (M_f U_f + M_D U_D)U_q - N_Q U_Q U_d]. \quad (12)$$

Система уравнений должна решаться совместно с дифференциальным уравнением движения маховых масс

$$(J/p_0)(d\omega/dt) + M_H = M_{Bp}, \quad (13)$$

где M_H - тормозной момент нагрузки, J - момент инерции вращающихся масс. В процессе пуска, так как $\omega = \text{var}$, система (6)-(8) и (13) является нелинейной системой. В режиме

синхронизма, когда $\omega = \omega_0 = \text{const}$, система уравнений получит вид (производные потокосцеплений при таком режиме равны нулю)

$$\omega_0 Q_q + g_s U_d = i_d, \quad -\omega_0 Q_d + g_s U_q = i_q. \quad (14)$$

Уравнение нулевой последовательности в уравнении (6) и уравнение (7) дают

$$U_0 = U_f = U_D = U_Q = 0. \quad (15)$$

Уравнения (8) с учетом (15) принимают вид

$$Q_0 = 0, \quad Q_d = C_d U_d, \quad Q_q = C_q U_q, \quad Q_f = M_f U_d, \quad Q_D = M_D U_D, \quad Q_Q = N_Q U_q. \quad (16)$$

В режиме синхронной скорости электроемкостный момент вращения (11) становится равным

$$M_{Bp} = 1.5_0 (C_d - C_q) U_d U_q. \quad (17)$$

Государственный инженерный университет Армении

Литература

1. *Аресян Г., Маилян А., Маилян В.* Емкостный синхронный двигатель. Патент РА N Р20020127 с приоритетом от 09.07.2002. - Официальный вестник на изобретение. - 2002. N 9 (26).
2. *Аресян Г. Л.*- ДНАН Армении. 2002. Т. 102. N 4. С. 297-229.
3. *Аресян Г. Л.*- Специальные вопросы теории электрических машин переменного тока. Ереван. Изд. ГИУА. 1999.

Ակադեմիկոս Գ. Լ. Արեշյան

Մինիստրն ունակային ռեակտիվ շարժիչի տեսություն

Տրվում են նոր ունակային ռեակտիվ շարժիչի էլեկտրական շղթաների դիֆերենցիալ հավասարումները և էլեկտրաուճակային պտտող մոմենտի հավասարումը: Այդ շարժիչը սնվում է եռավազ էլեկտրական ցանցից և գրգռման էլեկտրական դաշտի ստեղծման համար հաստատուն լարման լրացուցիչ աղբյուր չի պահանջում: Շարժիչի աշխատանքի սկզբունքը և կոնստրուկցիան պաշտպանված են Հայաստանի Հանրապետության արտոնագրով [1]: