

ср. 6.1

267

TALLINNA POLUTEHNILISE
INSTITUUDI TOIMETISED
ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО
ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА

СЕРИЯ А

№ 267

ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА II

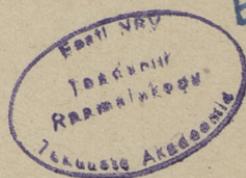
Er. 6.7

TALLINNA POLUTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED
ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА
СЕРИЯ А № 267 1968

УДК 621.31

ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА II

ТАЛЛИН 1968



Ep. 8680

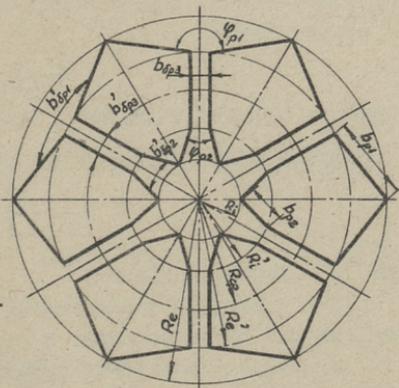
УДК 621.313.84

В.Э.Вагане, Г.К.Самолевский

О ГЕОМЕТРИИ ПЕЧАТНОГО РОТОРА ТОРЦЕВОГО
СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

В литературе опубликован ряд работ, в которых рассматривается определение размеров печатной обмотки дискового якоря двигателя постоянного тока и ротора торцевого асинхронного двигателя [1]... [3]. В большинстве случаев для таких машин постоянного тока магнитная система принимается с полюсными наконечниками в виде части кругового кольца.

Для лучшего использования машины принята магнитная система с полюсными наконечниками (и полюсами) в виде шестиугольников (показанная на фиг.1), применяемая при $2p \geq 4$.



Фиг.1. Радиальный разрез магнитной системы торцевого синхронного двигателя с печатной обмоткой

Площадь сечения полюсного наконечника, согласно фиг.1:

$$S_n = [R_e R_e' \sqrt{1 - \left(\frac{b_{p2}}{2R_e'}\right)^2} - R_i R_i' \sqrt{1 - \left(\frac{b_{p2}}{2R_i'}\right)^2}] \sin \frac{\pi}{2p} -$$

$$-\frac{b_{\text{спз}}}{2} \left[R_e' \sqrt{1 - \left(\frac{b_{\text{спз}}}{2 R_e'} \right)^2} - R_i' \sqrt{1 - \left(\frac{b_{\text{спз}}}{2 R_i'} \right)^2} + (R_e - R_i) \cos \frac{\pi}{2p} \right]. \quad (I)$$

Известно, что

$$\sqrt{1-x} \approx 1 - \frac{x}{2}.$$

Поэтому можно формулу (I) с большой точностью (ошибка не превышает 0,1 %, если $x < 0,085$) заменить следующей формулой:

$$S_n \approx (R_e R_e' - R_i R_i') \sin \frac{\pi}{2p} - \frac{b_{\text{спз}}}{2} \left[R_e' - R_i' + (R_e - R_i) \cos \frac{\pi}{2p} \right], \quad (2)$$

где p - число пар полюсов.

Реакцию якоря ввиду малого ее значения по сравнению с полем возбуждения не учитываем; э.д.с. фазы двигателя:

$$E_o = 4k_\phi f w_\phi \Phi k_{os}, \quad (3)$$

где k_ϕ - коэффициент формы кривой поля,

f - частота питающей сети,

w_ϕ - число витков фазной обмотки,

Φ - поток одного полюса,

k_{os} - обмоточный коэффициент.

Поток полюса:

$$\Phi = B_{cp} S_n, \quad (4)$$

где B_{cp} - средняя индукция в воздушном зазоре.

Средняя индукция B_{cp} определяется следующим образом:

$$B_{cp} = \frac{\int_{S_b} \vec{B} \cdot \vec{ds}}{S_n}, \quad (5)$$

где \vec{B} - вектор индукции,

\vec{ds} - вектор, численно равный поверхности элемента ds и совпадающий по направлению с положением нормали,

S_b - поверхность интегрирования, равная площади витка.

Общее количество проводников печатного ротора:

$$N = \frac{4\pi R_i}{t_i}, \quad (6)$$

где t_i - минимальный шаг печатной обмотки на радиусе R_i .

Число витков в фазе с учетом (6):

$$w_{\phi} = \frac{2\alpha_1 R_i}{m t_i}, \quad (7)$$

где m - число фаз.

Номинальный фазный ток:

$$I_n = I_{np} = j_{max} h_n b_n = \sqrt{\frac{\alpha_1 \tilde{t}_2}{\rho h_n}} h_n b_n = \sqrt{\frac{\alpha_1 \tilde{t}_2}{\rho}} b_n \sqrt{h_n}, \quad (8)$$

где I_{np} - ток в проводнике,

j_{max} - допустимая плотность тока в проводнике,

h_n - толщина проводника,

b_n - ширина проводника на опорной окружности эвольвенты печатной обмотки,

α_1 - коэффициент теплоотдачи проводника,

\tilde{t}_2 - допустимое превышение температуры по отношению к окружающей среде,

ρ - удельное сопротивление проводника.

Обозначая коэффициент заполнения медью проводников лобовых соединений формулой

$$\xi = \frac{h_n}{t_i}, \quad (9)$$

тогда (8) переписать:

$$I_n = k_j \sqrt{h_n} \xi t_i, \quad (10)$$

где

$$k_j = \sqrt{\frac{\alpha_1 \tilde{t}_2}{\rho}}. \quad (11)$$

Расчетная мощность синхронного двигателя определяется общеизвестным выражением:

$$P_{расч} = m E_o I_n = \frac{k_E P_n}{\eta_n \cos \varphi_n}, \quad (12)$$

где P_n - номинальная мощность,

η_n - номинальный к.п.д.,

$\cos \varphi_n$ - номинальный коэффициент мощности,

k_E - коэффициент, зависящий от заданного $\cos \varphi_n$ и индуктивного сопротивления рассеяния обмотки.

Номинальная мощность из (12), учитывая (3), (4), (7) и (10):

$$P_H = \frac{1}{k_E} m E_o I_H \eta_H \cos \varphi_H = \frac{6\pi k_a k_{as} k_i}{k_E} f B_{cp} \sqrt{h_n} \xi R_i S_n \eta_H \cos \varphi_H. \quad (13)$$

Так как в последней формуле только S_n зависит от наружного радиуса печатного ротора, то анализ выражения (13) приводится к анализу S_n .

Обозначим:

$$\left. \begin{aligned} \frac{R_e}{R_i} = k_e; \quad \frac{R'_e}{R_i} = k'_e; \quad \frac{R'_i}{R_i} = b = f(p) \\ \frac{R_e}{R'_e} = \frac{k_e}{k'_e} = a = f(p) \end{aligned} \right\} (14)$$

Из (14) можно вывести минимальные значения k_e :

$$\begin{aligned} ab = \frac{R_e}{R'_e} \frac{R'_i}{R_i} = k_e \frac{R'_i}{R'_e}, \\ k_e = ab, \end{aligned} \quad (15)$$

так как

$$\frac{R'_e}{R'_i} \geq 1.$$

Минимальные значения $k_{e \text{ мин}}$ приведены в нижеприведенной таблице:

Т а б л и ц а I

2p	a	b	$k_{e \text{ мин}}$
4	1,28	2,12	2,71
6	1,22	1,81	2,21
8	1,18	1,65	1,94
10	1,15	1,55	1,79
12	1,13	1,48	1,67

Перепишем (1) с учетом (14):

$$\begin{aligned} S_n = [k_e R_i \sqrt{(\frac{k_e R_i}{a})^2 - (\frac{b_{\text{вн}}}{2})^2} - R_i \sqrt{(b R_i)^2 - (\frac{b_{\text{вн}}}{2})^2}] \sin \frac{\pi}{2p} - \\ - \frac{b_{\text{вн}}}{2} \left[\sqrt{(\frac{k_e R_i}{a})^2 - (\frac{b_{\text{вн}}}{2})^2} - \sqrt{(b R_i)^2 - (\frac{b_{\text{вн}}}{2})^2} + (k_e R_i - R_i) \cos \frac{\pi}{2p} \right]. \end{aligned} \quad (16)$$

Анализ последнего выражения показывает, что функция S_n имеет минимум и только одну точку перегиба но не имеет максимума. При этом следует отметить, что минимум и точка перегиба встречается при очень малых значениях k_e , значительно меньших, чем $k_{\text{емин}}$.

На основании анализа S_n можно сказать, что значение k_e , и следовательно R_e , определяется однозначно из формулы (13) при вышеуказанных предположениях.

Из (2), (13) и (14):

$$R_e = \frac{K_1}{2} + \sqrt{\frac{K_1^2}{4} + K_2}, \quad (17)$$

где

$$K_1 = \frac{ab_{\text{эпс}}}{2 \sin \frac{\pi}{2p}} \left(\frac{1}{a} - \cos \frac{\pi}{2p} \right), \quad (18)$$

$$K_2 = \frac{k_e P_n}{8\pi k_\phi k_{\text{од}} k_j f B_{\text{cp}} \sqrt{h_n} \xi R_l \eta_n \cos \psi_n} + R_l^2 ab - \frac{ab_{\text{эпс}} R_l}{2 \sin \frac{\pi}{2p}} \left(b + \cos \frac{\pi}{2p} \right). \quad (19)$$

Пренебрегая в формуле (17) членом K_1 , как ничтожно малым, можем написать:

$$R_e \approx \sqrt{K_2}. \quad (20)$$

Формулы (19), (20) и табл. I позволяют полностью определить геометрические размеры печатной обмотки, а также радиальные размеры магнитной системы синхронного двигателя.

Л и т е р а т у р а

1. Л. Д. О с н о в и ч. Элементы расчета малоинерционных двигателей постоянного тока с печатной обмоткой на дисковом роторе. Диссертация, Новосибирск 1962.

2. У. Х. С и й т а н. О зависимости электромагнитной мощности электродвигателя постоянного тока с дисковым якорем от геометрии электрической печатной обмотки якоря. "Электричество", 1965, № 7.

3. В.А. Н и к и т и е. Основы построения осевых асинхронных двигателей с печатными обмотками. "Энергетика и электротехническая промышленность", 1965, № I.

V. Vagane, G. Samolevski

Von der Geometrie der axialer Synchronmotoren

mit der gedruckten Rotorwicklung

Zusammenfassung

In dem Artikel werden die Grundverhältnisse zwischen der elektrischen Nominalleistung und geometrischen Maßen des Synchronmotor betrachtet, der gedruckte Rotorwicklung und sechseckige Polen hat. Sind die Formeln gebildet, die Grundmaßen der gedruckte Wicklung, ebenso auch Radialmaßen des Magnetsystems des Synchronmotor völlig bestimmen.

УДК 621.313.84

В.Э.Вагане, Г.К.Самолевский

ВКЛЮЧЕНИЕ В СЕТЬ ТОРЦЕВОГО СИНХРОННОГО
МИКРОДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ
И ПЕЧАТНОЙ ОБМОТКОЙ

Настоящая статья посвящена теоретическому выводу электромагнитного вращающего момента при пуске торцевого синхронного микродвигателя с печатной обмоткой, который не имеет специальной пусковой обмотки и пускается прямым включением в сеть. Таким образом, рассматривается случай включения в сеть возбужденного синхронного двигателя.

Опытный образец такого двигателя в разобранном виде показан на фотографии (Фиг.1). В отличие от известных типов синхронных машин, статором рассматриваемого двигателя является магнитная система, а ротором служит печатная обмотка.



Фиг.1. Торцевой синхронный микродвигатель с постоянными магнитами и печатной обмоткой в разобранном виде

В основу определения момента положено следующее представ-

ление в физических процессах, происходящих в рассматриваемом двигателе при его включении в сеть:

1) токи ротора синхронного двигателя при произвольной скорости вращения можно рассматривать как сумму токов, вызванных возбуждением со стороны статора и питанием со стороны сети. Если пренебречь влиянием насыщения, то эти составляющие токов можно рассчитывать независимо друг от друга и, пользуясь методом наложения, найти ток ротора,

2) с печатной обмоткой ротора сцепляются петекосцепления, вызванные сказанными двумя компонентами тока, и, кроме того, петек возбуждения статора,

3) сеть питания предполагается бесконечно мощной с симметричной системой напряжений.

Исходным выражением для электромагнитного вращающего момента является общеизвестная формула:

$$M_{эм} = \operatorname{Re} \left\{ j [\sum \dot{\Psi}] [\sum \dot{I}] \right\} - \operatorname{Re} \left\{ j [\dot{\Psi}_r + \dot{\Psi}_{(r)}] [\dot{I}_r + \dot{I}_{(r)}] \right\}, \quad (I)$$

где $\dot{\Psi}$ — петек сцепления,

\dot{I} — сопряженный комплекс тока,

$\dot{\Psi}_r$ — петекосцепление ротора, вызванное питанием от сети,

$\dot{\Psi}_{(r)}$ — петекосцепление ротора, вызванное возбуждением со стороны статора,

\dot{I}_r — сопряженный комплекс тока, вызванный питанием от сети,

$\dot{I}_{(r)}$ — сопряженный комплекс тока, вызванный возбуждением со стороны статора.

Для нахождения электромагнитного вращающего момента в функции времени следует в формулу (I) подставить полные выражения токов и петекосцеплений, находящиеся известными приемами операторного исчисления с учетом их переходных составляющих:

$$\dot{I} = \dot{I}_0 + \sum_{n=1}^k \dot{I}_n,$$

$$\dot{\Psi} = \dot{\Psi}_0 + \sum_{n=1}^k \dot{\Psi}_n,$$

где \dot{I}_0 — установившийся ток,

$\dot{\Psi}_0$ — установившееся петекосцепление,

\dot{I}_n - переходные составляющие тока, имеющие затухания, связанные с корнями p_n ($n = 1, 2, \dots, k$),

$\dot{\Psi}_n$ - переходные составляющие потокосцепления, имеющие затухания, связанные с корнями p_n ($n = 1, 2, \dots, k$).

Исходные выражения (2)...(11) и (13)...(15) для токов и потокосцеплений записаны в соответствии с теорией [1].

В нижеследующем используется система относительных величин. В качестве базовых величины принимаются:

- а) для токов - номинальный фазный ток,
- б) для напряжений - номинальное фазное напряжение,
- в) для угловой скорости вращения - номинальная угловая скорость вращения,
- г) для сопротивлений - сопротивление, равное:

$$z_n = \frac{\text{Базовое напряжение}}{\text{Базовый ток}},$$

д) для вращающего момента - момент, соответствующий потребляемой из сети номинальной кажущейся мощности при номинальной скорости вращения и действующий в сторону ускорения ротора,

е) для потокосцеплений - потокосцепление при номинальном режиме.

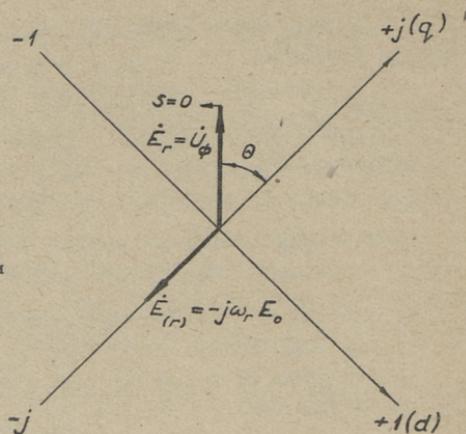
Координатная система связана неподвижно со статором: в качестве оси реальных величин координатного комплекса или предельной оси "d" выбрана ось магнитной симметрии статора, а в качестве оси мнимых величин или поперечной оси "q" — ось междупольного пространства. Координатная система для установившегося положения при синхронной скорости вращения и двигательного режима показана на фиг. 2.

Ток ротора, вызванный питанием от сети, в комплексном виде и неподвижных координатах, связанных со статором, равен:

$$\dot{i}_r = \frac{\dot{Z}_{rx} \dot{E}_r - \dot{Z}_{ry} \dot{E}_r}{\dot{Z}_{rx} \dot{Z}_{rx} - \dot{Z}_{ry} \dot{Z}_{ry}}, \quad (2)$$

где

$$\left. \begin{aligned} \dot{Z}_{rx} &= r_\phi + (p + j\omega_r) x_r(p) \\ \dot{Z}_{rx} &= r_\phi + (p - j\omega_r) x_r(p) \\ \dot{Z}_{ry} &= (p + j\omega_r) y_r(p) \\ \dot{Z}_{ry} &= (p - j\omega_r) y_r(p) \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$



Фиг.2. Расположение осей синхронной машины в установившемся двигательном режиме при синхронной скорости вращения

r_ϕ - активное сопротивление фазной обмотки ротора,
 $x_r(p); y_r(p)$ - операторные реактивности обмотки ротора:

$$\left. \begin{aligned} x_r(p) &= \frac{x_{rd}(p) + x_{rq}(p)}{2} \\ y_r(p) &= \frac{x_{rd}(p) - x_{rq}(p)}{2} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

$x_{rd}(p)$ - операторная реактивность обмотки ротора по продольной оси,

$x_{rq}(p)$ - операторная реактивность обмотки ротора по поперечной оси,

ω_r - скорость вращения ротора,

\dot{E}_r - напряжение питания,

\dot{E}_r^* - сопряженный комплекс напряжения питания,

p - дифференциальный оператор.

Согласно [1], для нахождения установившихся значений синусоидальных токов и потокоцеплений в функции времени, следует заменить в их комплексных выражениях оператор p на $\pm js$:

$$p = \pm js, \quad (5)$$

где "+" относится к \dot{E}_r , а "-" к \dot{E}_r^* .

Сказанное обосновано, если в выбранной системе координат и при питании обмотки ротора напряжениями прямой последовательности угловая скорость вращения комплекса \dot{E}_r относительно статора обозначается через s .

Если пренебрегать демпфирующим влиянием полюсных наконеч-

ников и постоянных магнитов, те в синхронных двигателях с печатными обмотками и возбуждением от постоянных магнитов, т.е. при отсутствии обмотки возбуждения [1]:

$$\left. \begin{aligned} x_{rd}(p) &= x_d \\ x_{rq}(p) &= x_q \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

Таким образом, ток \dot{I}_r в установившемся режиме в функции времени может быть получен по формуле (2) с учетом (3)-(6):

$$\dot{I}_r = \frac{r_\phi - j(\omega_r - s)}{(\omega_r^2 - s^2)x_d x_q + r_\phi(r_\phi + 2jsx_r)} \hat{E}_r - \frac{j(\omega_r - s)y_r}{(\omega_r^2 - s^2)x_d x_q + r_\phi(r_\phi - 2jsx_r)} \hat{E}_r^* \quad (7)$$

Петекосцепление ротора, вызванное питанием от сети, в комплексном виде и неподвижных координатах, связанных со статором, равно:

$$\dot{\Psi}_r = \frac{[r_\phi x_r(p) + (p - j\omega_r)x_d(p)x_q(p)]\hat{E}_r + \frac{\dot{Z}_{rx}\dot{Z}_{rx}^*}{- \dot{Z}_{ry}\dot{Z}_{ry}^*} + r_\phi y_r(p)\hat{E}_r^*}{- \dot{Z}_{ry}\dot{Z}_{ry}^*} \quad (8)$$

где $x_d(p) = x_d$ — операторное предельное синхронное индуктивное сопротивление обмотки ротора, $x_q(p) = x_q$ — операторное поперечное синхронное индуктивное сопротивление обмотки ротора. } (9)

Петекосцепление $\dot{\Psi}_r$ в установившемся режиме в функции времени с учетом (3)-(6) и (9):

$$\dot{\Psi}_r = \frac{r_\phi x_r - j(\omega_r - s)x_d x_q}{(\omega_r^2 - s^2)x_d x_q + r_\phi(r_\phi + 2jsx_r)} \hat{E}_r + \frac{r_\phi y_r}{(\omega_r^2 - s^2)x_d x_q + r_\phi(r_\phi - 2jsx_r)} \hat{E}_r^* \quad (10)$$

Ток ротора, вызванный возбуждением со стороны статора, в комплексном виде и неподвижных координатах, связанных со статором, равен:

$$\dot{I}_{(r)} = - \frac{\dot{Z}_{rx}j\omega_r E_o + \dot{Z}_{ry}j\omega_r E_o}{\dot{Z}_{rx}\dot{Z}_{rx}^* - \dot{Z}_{ry}\dot{Z}_{ry}^*} = - \frac{j\omega_r E_o (\dot{Z}_{rx} + \dot{Z}_{ry})}{\dot{Z}_{rx}\dot{Z}_{rx}^* - \dot{Z}_{ry}\dot{Z}_{ry}^*} \quad (11)$$

где $\omega_r E_o$ - э.д.с. холостого хода.

Для общности рассмотрения в формуле (II) используется зафиксированное положение э.д.с. холостого хода на комплексной плоскости (см. фиг. I). Изменению внутреннего угла нагрузки θ между зафиксированным положением э.д.с. холостого хода ($-j\omega_r E_o$) и напряжением сети \dot{E}_r при пуске двигателя соответствует поворот \dot{E}_r на комплексной плоскости. Следовательно:

$$\left. \begin{aligned} \dot{E}_r &= \pm E_{rd} \pm jE_{rq} \\ \dot{E}_r &= \pm E_{rd} \mp jE_{rq} \end{aligned} \right\}, \quad (I2)$$

где E_{rd} - действительная часть комплекса напряжения сети, jE_{rq} - мнимая часть комплекса напряжения сети.

Ток $\dot{I}_{(r)}$ в установившемся режиме в функции времени с учетом (3)-(6):

$$\dot{I}_{(r)} = -j\omega_r E_o \left[\frac{\Gamma_\phi - j(\omega_r - s)x_r}{(\omega_r^2 - s^2)x_d x_q + \Gamma_\phi(\Gamma_\phi + 2jsx_r)} + \frac{j(\omega_r - s)y_r}{(\omega_r^2 - s^2)x_d x_q + \Gamma_\phi(\Gamma_\phi - 2jsx_r)} \right]. \quad (I3)$$

Потокосцепление ротора, вызванное возбуждением со стороны статора, в комплексном виде и неподвижных координатах, связанных со статором, равно:

$$\dot{\Psi}_{(r)} = E_o + \frac{[\Gamma_\phi x_r + (\rho - j\omega_r)x_d x_q](-j\omega_r E_o) + \Gamma_\phi y_r (j\omega_r E_o)}{\dot{Z}_{rx} \dot{Z}_{rx} - \dot{Z}_{ry} \dot{Z}_{ry}} \mathbf{1}, \quad (I4)$$

где $\mathbf{1}$ - единичная функция, равная нулю при $t < 0$ и единице при $t > 0$ и указывая на то, что напряжение включается в момент времени $t = 0$.

Необходимо указать на то, что в последней формуле первый член является потокосцеплением, вызванным возбуждением со стороны статора до включения двигателя в сеть.

Потокосцепление $\dot{\Psi}_{(r)}$ в установившемся режиме в функции времени:

$$\dot{\Psi}_{(r)} = E_o - j\omega_r E_o \frac{\Gamma_\phi x_r - j(\omega_r - s)x_d x_q}{(\omega_r^2 - s^2)x_d x_q + \Gamma_\phi(\Gamma_\phi + 2jsx_r)} \mathbf{1} +$$

$$+j\omega_r E_0 \frac{\Gamma_\phi \psi_r}{(\omega_r^2 - s^2) X_d X_q + \Gamma_\phi (\Gamma_\phi - 2js X_r)} \quad (15)$$

Токи \dot{I}_r и $\dot{I}_{(r)}$:

$$\begin{aligned} \dot{I}_r = & \pm E_{rd} \left\{ \frac{[(\omega_r^2 - s^2) X_d X_q + \Gamma_\phi^2] \Gamma_\phi - 2(\omega_r - s) s X_q X_r \Gamma_\phi}{[(\omega_r^2 - s^2) X_d X_q + \Gamma_\phi^2]^2 + (2s \Gamma_\phi X_r)^2} - \right. \\ & \left. - j \frac{[(\omega_r^2 - s^2) X_d X_q + \Gamma_\phi^2] (\omega_r - s) X_d + 2s \Gamma_\phi^2 X_r}{[(\omega_r^2 - s^2) X_d X_q + \Gamma_\phi^2]^2 + (2s \Gamma_\phi X_r)^2} \right\} \pm \\ & \pm E_{rq} \left\{ \frac{[(\omega_r^2 - s^2) X_d X_q + \Gamma_\phi^2] (\omega_r - s) X_q + 2s \Gamma_\phi^2 X_r}{[(\omega_r^2 - s^2) X_d X_q + \Gamma_\phi^2]^2 + (2s \Gamma_\phi X_r)^2} + \right. \\ & \left. + j \frac{[(\omega_r^2 - s^2) X_d X_q + \Gamma_\phi^2] \Gamma_\phi - 2(\omega_r - s) s X_d X_r \Gamma_\phi}{[(\omega_r^2 - s^2) X_d X_q + \Gamma_\phi^2]^2 + (2s \Gamma_\phi X_r)^2} \right\}, \quad (16) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_{(r)} = & \omega_r E_0 \left\{ - \frac{[(\omega_r^2 - s^2) X_d X_q + \Gamma_\phi^2] (\omega_r - s) X_q + 2s \Gamma_\phi^2 X_r}{[(\omega_r^2 - s^2) X_d X_q + \Gamma_\phi^2]^2 + (2s \Gamma_\phi X_r)^2} - \right. \\ & \left. - j \frac{[(\omega_r^2 - s^2) X_d X_q + \Gamma_\phi^2] \Gamma_\phi - 2(\omega_r - s) s X_d X_r \Gamma_\phi}{[(\omega_r^2 - s^2) X_d X_q + \Gamma_\phi^2]^2 + (2s \Gamma_\phi X_r)^2} \right\}. \quad (17) \end{aligned}$$

Выражения для потокоцеплений с учетом, что двигатель включается в сеть при $t > 0$ ($1 = I$):

$$\begin{aligned} \dot{\Psi}_r = & \pm E_{rd} \left\{ \frac{[(\omega_r^2 - s^2) X_d X_q + \Gamma_\phi^2] \Gamma_\phi X_d - 2(\omega_r - s) s \Gamma_\phi X_d X_q X_r}{[(\omega_r^2 - s^2) X_d X_q + \Gamma_\phi^2]^2 + (2s \Gamma_\phi X_r)^2} - \right. \\ & \left. - j \frac{[(\omega_r^2 - s^2) X_d X_q + \Gamma_\phi^2] (\omega_r - s) X_d X_q + 2s \Gamma_\phi^2 X_q X_r}{[(\omega_r^2 - s^2) X_d X_q + \Gamma_\phi^2]^2 + (2s \Gamma_\phi X_r)^2} \right\} \pm \\ & \pm E_{rq} \left\{ \frac{[(\omega_r^2 - s^2) X_d X_q + \Gamma_\phi^2] (\omega_r - s) X_d X_q + 2s \Gamma_\phi^2 X_d X_r}{[(\omega_r^2 - s^2) X_d X_q + \Gamma_\phi^2]^2 + (2s \Gamma_\phi X_r)^2} + \right. \\ & \left. + j \frac{[(\omega_r^2 - s^2) X_d X_q + \Gamma_\phi^2] \Gamma_\phi X_q - 2(\omega_r - s) s \Gamma_\phi X_d X_q X_r}{[(\omega_r^2 - s^2) X_d X_q + \Gamma_\phi^2]^2 + (2s \Gamma_\phi X_r)^2} \right\}, \quad (18) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{\Psi}_{(r)} = & E_0 \left\{ \frac{[(\omega_r^2 - s^2) X_d X_q + \Gamma_\phi^2]^2 - [(\omega_r^2 - s^2) X_d X_q + \Gamma_\phi^2] (\omega_r - s) X_r X_d X_q + 2s \Gamma_\phi^2 X_r (2s X_r - \omega_r X_d)}{[(\omega_r^2 - s^2) X_d X_q + \Gamma_\phi^2]^2 + (2s \Gamma_\phi X_r)^2} - \right. \\ & \left. - j \frac{[(\omega_r^2 - s^2) X_d X_q + \Gamma_\phi^2] \Gamma_\phi \omega_r X_q - 2(\omega_r - s) \omega_r s \Gamma_\phi X_d X_q X_r}{[(\omega_r^2 - s^2) X_d X_q + \Gamma_\phi^2]^2 + (2s \Gamma_\phi X_r)^2} \right\}. \quad (19) \end{aligned}$$

Установившийся электромагнитный вращающий момент из (I) с учетом (16)-(19):

$$\begin{aligned}
M_{\text{ЭМ}} = & \left\{ \frac{(\pm E_{r\phi} - \omega_r E_0) \{ 2(\omega_r - s) s \Gamma_{\phi} x_d x_q x_r - [(\omega_r^2 - s^2) x_d x_q + \right. \\
& \left. + r_{\phi}^2] \Gamma_{\phi} x_q \} \pm E_{rd} \{ [(\omega_r^2 - s^2) x_d x_q + r_{\phi}^2] (\omega_r - s) x_q + 2s \Gamma_{\phi}^2 x_q x_r \}}{[(\omega_r^2 - s^2) x_d x_q + r_{\phi}^2]^2 + (2s \Gamma_{\phi} x_r)^2} \right\} x \\
& x \left\{ \frac{(\pm E_{r\phi} - \omega_r E_0) \{ [(\omega_r^2 - s^2) x_d x_q + r_{\phi}^2] (\omega_r - s) x_q + 2s \Gamma_{\phi}^2 x_r \} \pm \right. \\
& \left. \pm E_{rd} \{ [(\omega_r^2 - s^2) x_d x_q + r_{\phi}^2] \Gamma_{\phi} - 2(\omega_r - s) s \Gamma_{\phi} x_q x_r \}}{[(\omega_r^2 - s^2) x_d x_q + r_{\phi}^2]^2 + (2s \Gamma_{\phi} x_r)^2} \right\} - \\
& - \left\{ \frac{(\pm E_{r\phi} - \omega_r E_0) [(\omega_r^2 - s^2) x_d x_q + r_{\phi}^2] (\omega_r - s) x_d x_q \pm \right. \\
& \left. \pm E_{rd} \{ [(\omega_r^2 - s^2) x_d x_q + r_{\phi}^2] \Gamma_{\phi} x_d - 2(\omega_r - s) s \Gamma_{\phi} x_d x_q x_r \} + \right. \\
& \left. + E_0 \{ [(\omega_r^2 - s^2) x_d x_q + r_{\phi}^2]^2 + 2s \Gamma_{\phi}^2 x_r (2s x_r - \omega_r x_d) \} \pm \right. \\
& \left. \pm 2E_{r\phi} s \Gamma_{\phi}^2 x_d x_r \right\} \left\{ \frac{(\pm E_{r\phi} - \omega_r E_0) \{ 2(\omega_r - s) s \Gamma_{\phi} x_d x_r - \right. \\
& \left. - [(\omega_r^2 - s^2) x_d x_q + r_{\phi}^2] \Gamma_{\phi} \} \pm E_{rd} \{ [(\omega_r^2 - s^2) x_d x_q + r_{\phi}^2] (\omega_r - s) x_q + 2s \Gamma_{\phi}^2 x_r \}}{[(\omega_r^2 - s^2) x_d x_q + r_{\phi}^2]^2 + (2s \Gamma_{\phi} x_r)^2} \right\} \quad (20)
\end{aligned}$$

Обозначим:

$$\left. \begin{aligned}
Z_1 &= (\omega_r^2 - s^2) x_d x_q + r_{\phi}^2 \\
Z_2 &= 2s \Gamma_{\phi} x_r \\
C_n &= \omega_r - s \\
C_u &= \pm E_{r\phi} - \omega_r E_0
\end{aligned} \right\} \quad (21)$$

Перепишем (20) с учетом (21):

$$\begin{aligned}
M_{эм} = & \left[\frac{C_U x_q (C_N Z_2 x_d - Z_1 \Gamma_\phi) \pm E_{rd} x_q (C_N Z_1 x_d + Z_2 \Gamma_\phi)}{Z_1^2 + Z_2^2} \right] \times \\
& \times \left[\frac{C_U (C_N Z_1 x_q + Z_2 \Gamma_\phi) \pm E_{rd} (Z_1 \Gamma_\phi - C_N Z_2 x_q)}{Z_1^2 + Z_2^2} \right] - \\
& - \left[\frac{C_U C_N Z_1 x_d x_q \pm E_{rd} x_d (Z_1 \Gamma_\phi - C_N Z_2 x_q)}{Z_1^2 + Z_2^2} + \right. \\
& \left. + \frac{E_o (Z_1^2 + Z_2 \Gamma_\phi) (2s x_r - \omega_r x_d) \pm E_{rd} Z_2 \Gamma_\phi x_d}{Z_2^2} \right] \times \\
& \times \left[\frac{C_U (C_N Z_2 x_d - Z_1 \Gamma_\phi) \pm E_{rd} (C_N Z_1 x_d + Z_2 \Gamma_\phi)}{Z_1^2 + Z_2^2} \right]. \quad (22)
\end{aligned}$$

Полученная формула (22) позволяет определить установившийся электромагнитный вращающий момент синхронной машины с постоянными магнитами и печатной обмоткой с учетом положения ротора в момент включения и параметров машины.

Согласно фиг.2:

$$\left. \begin{aligned}
E_{rd} &= U_\phi \sin \theta \\
E_{rq} &= U_\phi \cos \theta \\
U_\phi &= \sqrt{E_{rd}^2 + E_{rq}^2}
\end{aligned} \right\}. \quad (23)$$

Электромагнитный вращающий момент при пуске двигателя ($\omega_r = 0, s = 1$) из (20) с учетом (23):

$$\begin{aligned}
M_{эмп} = & \left[\frac{(\pm U_\phi x_q \sin \theta \mp U_\phi \Gamma_\phi \cos \theta) (r_\phi^2 + x_d^2) x_q}{(r_\phi^2 - x_d x_q)^2 + (2r_\phi x_r)^2} \right] \times \\
& \times \left[\frac{(\pm U_\phi \Gamma_\phi \sin \theta \pm U_\phi x_d \cos \theta) (r_\phi^2 + x_q^2)}{(r_\phi^2 - x_d x_q)^2 + (2r_\phi x_r)^2} \right] - \\
& - \left[\frac{(\pm U_\phi \Gamma_\phi x_d \sin \theta \pm U_\phi x_d^2 \cos \theta) (r_\phi^2 + x_q^2) +}{(r_\phi^2 - x_d x_q)^2 +} \right. \\
& \left. + \frac{E_o [r_\phi^2 (r_\phi^2 + x_d^2 + x_q^2) + (x_d x_q)^2]}{(2r_\phi x_r)^2} \right] \times \\
& \times \left[\frac{(\pm U_\phi x_q \sin \theta \mp U_\phi \Gamma_\phi \cos \theta) (r_\phi^2 + x_d^2)}{(r_\phi^2 - x_d x_q)^2 + (2r_\phi x_r)^2} \right]. \quad (24)
\end{aligned}$$

В частном случае, если пренебрегаем активным сопротивлением фазной обмотки ротора ($r_r = 0$), получаем формулу (24) следующего вида:

$$M_{\text{эмп}} = \pm \frac{U_s E_s}{x_q} \sin \theta \pm \frac{U_s^2}{2} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \sin 2\theta. \quad (25)$$

Здесь знаки перед членами в правой стороне выражения (25) зависят от положения ротора в момент включения.

При синхронной скорости вращения ($\omega_r = 1$, $s = 0$) и $r_r = 0$ получим из (20) известное выражение для электромагнитного вращающего момента двигателя:

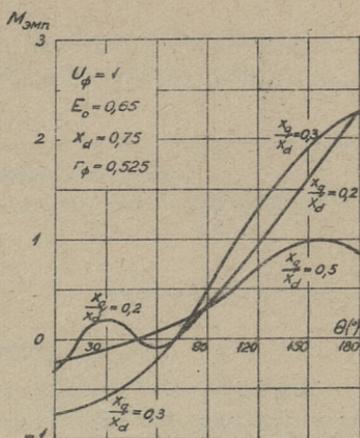
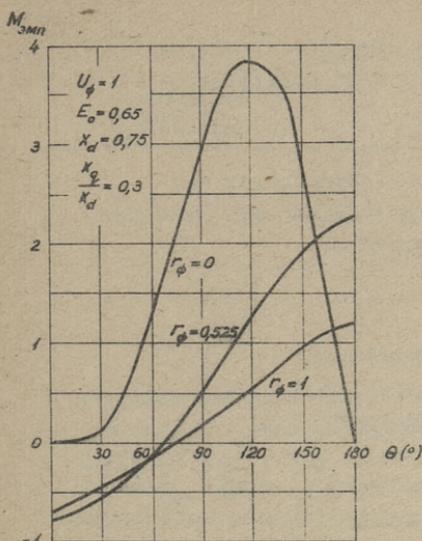
$$M_{\text{эм}} = \frac{U_s E_s}{x_d} \sin \theta + \frac{U_s^2}{2} \left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d} \right) \sin 2\theta. \quad (26)$$

На основании вышеприведенного анализа электромагнитного вращающего момента синхронного двигателя с постоянными магнитами и печатной обмоткой необходимо обратить внимание на очень важное различие между формулами (25) и (26). Это различие заключается в том, что если момент двигателя при синхронной скорости вращения зависит в основном от параметра x_d , то момент при пуске двигателя зависит в основном от параметра x_q . Это можно объяснить следующими явлениями: если рассматривать двигательный режим синхронной машины, то при малых углах нагрузки θ магнитные поля возбуждения и обмотки взаимодействуют по продольной оси. С увеличением нагрузки до выпадения из синхронизма с последующей остановкой двигателя, что соответствует режиму короткого замыкания, угол θ изменяется до π , при котором магнитные поля взаимодействуют по поперечной оси. Этому же случаю соответствует пуск возбужденного двигателя, поэтому основной составляющей электромагнитного вращающего момента при пуске зависит от параметра x_q . Необходимо также напомнить, что угол θ изменяется в процессе пуска периодически от 0 до 2π .

Полученный вывод подвергался экспериментальной проверке. Опытный синхронный двигатель без специальной пусковой обмотки (фиг. 1) имеет следующие параметры:

$$\begin{aligned} x_d &= 0,145 \text{ ом,} \\ x_q &= 0,05 \text{ ом.} \end{aligned}$$

Двигатель приобрел номинальную скорость вращения в те-



Фиг. 3. Угловые характеристики торцевого магнитоэлектрического синхронного двигателя с печатной обмоткой

чение 0,09 - 1,46 сек после прямого включения в сеть.

Угловые характеристики, рассчитанные для двигательного режима по (24), приведены на фиг.3.

Л и т е р а т у р а

И. Е. Я. К а з о в с к и й. Переходные процессы в электрических машинах переменного тока. Изд. АН СССР, Москва-Ленинград 1962.

G. Samolevski

V. Vagane

Anlaß des Achsial - Synchronmikro-
motors mit einer gedruckten Wicklung und Permanent-
magneten

Zusammenfassung

Innerhalb der vorliegenden Arbeit wird der analytische Ausdruck für den elektromagnetischen Drehmoment des Synchron-Mikromotors mit einer gedruckten Wicklung und Permanentmagneten gegeben. Der Mikromotor ist dabei ohne die Anlaß - wicklung ausgeführt.

Es werden das Anlaß- und das Synchronregime betrachtet und Grundparameter des Motors abgeschätzt.

УДК 621.518.38

Н.А.Варес, Г.К.Самозевский

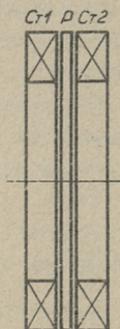
О СХЕМЕ ЗАМЕЩЕНИЯ ТОРЦЕВОГО
АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С
НЕМАГНИТНЫМ РОТОРОМ

Данная работа посвящается выявлению схемы замещения трехфазного торцевого асинхронного двигателя, имеющего два дисковых пакета статора с плоскими обмотками, в зазоре которых на равном расстоянии от их внутренней поверхности располагается немагнитный ротор (фиг.1).

Отличительной особенностью двигателей данного типа является существование взаимоиндуктивной связи между обмотками двух пакетов статора как в воздушном зазоре, так и вне его - в зоне лобовых частей.

В предположении симметричности пространственного распределения трехфазной обмотки каждого из пакетов статора и симметрии трехфазного питающего напряжения представляется возможным составить исходные уравнения напряжений и токов для одной фазы двигателя с вращающимся ротором. При этом вводятся следующие допущения:

- 1) магнитная система двигателя предполагается ненасыщенной,
- 2) магнитные потери в магнитной системе не учитываются,
- 3) напряжения и токи меняются во времени синусоидальны,
- 4) контуры токов ротора образуют эквивалентную трехфаз-



Фиг.1. Магнитная система торцевого асинхронного двигателя с немагнитным ротором

ную обмотку ротора,

5) температура всех обмоток двигателя для заданного режима (скольжения) принимается одинаковой.

Введем обозначения:

$\dot{U}_1; \dot{U}_2$ - фазные напряжения обмотки первого и второго пакетов статора - соответственно,

$\dot{I}_1; \dot{I}_2$ - первичные фазные токи обеих пакетов статора,

\dot{I}_r - ток фазы эквивалентной обмотки ротора,

$r_1; r_2; r_r$ - активные сопротивления обмотки фазы пакетов статора и ротора,

$x_{\sigma 1}; x_{\sigma 2}; x_{\sigma r}$ - индуктивные сопротивления рассеяния обмотки пакетов статора и ротора, учитывающие рассеяние в воздушном зазоре, в лобовых частях, а также дифференциальное рассеяние,

$x_1; x_2; x_r$ - индуктивные сопротивления обмотки статора и ротора, соответствующие основным гармоникам поля в воздушном зазоре,

$x_{21}; x_{21}$ - индуктивные сопротивления, соответствующие взаимной индукции фазных обмоток пакетов статора от основных гармоник поля, учитывающие взаимную индукцию обмоток пакетов статора как в воздушном зазоре, так и вне воздушного зазора - в зоне внутренних и внешних лобовых частей,

$x_{r1}; x_{r2}$ - индуктивные сопротивления, соответствующие взаимной индукции фазной обмотки пакета статора и обмотки ротора от основных гармоник поля статора,

$x_{r1}; x_{r2}$ - индуктивные сопротивления, соответствующие взаимной индукции обмотки ротора и фазной обмотки пакета статора от основных гармоник поля ротора.

Для установившегося значения температуры обмоток с учетом вышеназванного, исходные уравнения напряжения записываются в следующем виде:

$$\dot{U}_1 = r_1 \dot{I}_1 + j x_{\sigma 1} \dot{I}_1 + j x_1 \dot{I}_1 + j x_{12} \dot{I}_2 + j x_{r1} \dot{I}_r, \quad (1)$$

$$\dot{U}_2 = r_2 \dot{I}_2 + j x_{\sigma 2} \dot{I}_2 + j x_2 \dot{I}_2 + j x_{21} \dot{I}_1 + j x_{r2} \dot{I}_r, \quad (2)$$

$$0 = r_r \dot{I}_r + j s x_{\sigma r} \dot{I}_r + j s x_{r1} \dot{I}_1 + j s x_{r2} \dot{I}_2. \quad (3)$$

Уравнение намагничивающих сил:

$$\dot{F}_1 + \dot{F}_2 + \dot{F}_r = \dot{F}_0, \quad (4)$$

где \dot{F}_1 ; \dot{F}_2 ; \dot{F}_r - намагничивающие силы обоех пакетов статора и ротора - соответственно,

$\dot{F}_0 = \dot{F}_{01} + \dot{F}_{02}$ - суммарная намагничивающая сила холостого хода. (5)

Как было подчеркнута, особенностью двигателей данного типа является существование взаимоиндуктивной связи между обмотками двух пакетов статора, которая в уравнениях напряжений выражается введением сопротивлений x_{12} и x_{21} .

Если пренебречь взаимоиндуктивной связью обмоток пакетов статора в зоне лобовых частей и предположить, что уменьшение напряженности магнитного поля одного пакета статора по вы-
соте воздушного зазора незначительно [1], и, таким образом, считать, что в частном случае имеют одинаковую величину как индуктивные сопротивления обмоток обоех пакетов статора, соответствующие основным гармоникам поля в воздушном зазоре, так и индуктивные сопротивления, обусловленные взаимной индукцией фазных обмоток пакетов статора, то можно принять:

$$x_1 = x_2 = x_{12} = x_{21}. \quad (6)$$

Учитывая вышеуказанное и используя приведенные значения токов и сопротивлений ротора, получаем вместе уравнений (1)-(3)

$$\dot{U}_1 = r_1 \dot{I}_1 + j x_{s1} \dot{I}_1 + j x_1 (\dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}'_r), \quad (7)$$

$$\dot{U}_2 = r_2 \dot{I}_2 + j x_{s2} \dot{I}_2 + j x_1 (\dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}'_r), \quad (8)$$

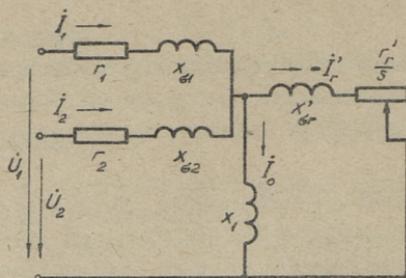
$$0 = \frac{r'_r}{s} \dot{I}'_r + j x'_{sr} \dot{I}'_r + j x_1 (\dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{I}'_r), \quad (9)$$

где \dot{I}'_r - приведенное значение тока фазы эквивалентной обмотки ротора,

r'_r и x'_{sr} - приведенные значения активного сопротивления обмотки фазы ротора и индуктивного сопротивления рассеяния обмотки ротора.

Уравнениям (7)-(9) соответствует T-образная схема замещения, изображенная на фиг. 2.

Однако в общем случае индуктивные сопротивления x_1 , x_2 , x_{12} , x_{21} могут быть неодинаковой величины. Кроме того, в



Фиг.2. Т-образная схема замещения

связи с нагревом может изменяться значение активных сопротивлений обмоток двигателя.

Для учета этого можно видоизменить схему замещения следующим образом.

Выразим вторичный ток через ток холостого хода

$$\dot{I}_r = k \dot{I}_0, \quad (I0)$$

где k — комплексный коэффициент пропорциональности, рассчитываемый с учетом скольжения, а также температурного изменения сопротивления намагничивающего контура и обмотки ротора [2].

Тогда уравнение токов получает вид:

$$\dot{I}_1 + \dot{I}_2 = (1-k) \dot{I}_0. \quad (II)$$

Из уравнений (I)-(3) и (II) получаем путем алгебраических преобразований следующие уравнения:

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_1(r_1 + jX_1) + (1-k) \dot{I}_0(R_m + jX_m), \quad (I2)$$

$$\dot{U}_2 = \dot{I}_2(r_2 + jX_2) + (1-k) \dot{I}_0(R_m + jX_m), \quad (I3)$$

$$X_1 = x_{\sigma 1} + x_1 - x_{12}, \quad (I4)$$

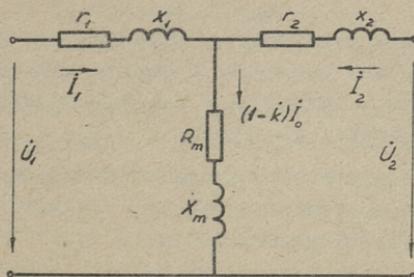
$$X_2 = x_{\sigma 2} + x_2 - x_{21}, \quad (I5)$$

$$R_m = \frac{k r_r}{1-k}, \quad (I6)$$

$$X_m = \frac{x_m^2}{1-k}, \quad (I7)$$

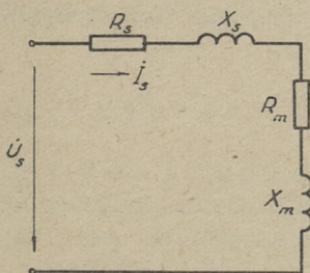
$$\begin{aligned} x_m^2 &= (1-k)(x_{12} + 5x_{r2}) + k(x_{1r} + 5x_{6r} + 5x_{r1}) = \\ &= (1-k)(x_{2l} + 5x_{r1}) + k(x_{2r} + 5x_{6r} + 5x_{r1}). \end{aligned} \quad (I8)$$

Уравнениям (I2) и (I3) соответствует схема замещения с двухсторонним питанием (Фиг.3).



Фиг.3. Схема замещения с двухсторонним питанием

При параллельном включении двух статорных обмоток на напряжение $\dot{U}_s = \dot{U}_1 = \dot{U}_2$ эта схема модифицируется в последовательную схему замещения (Фиг.4).



Фиг.4. Последовательная схема замещения

Согласно этой схеме замещения:

$$\dot{U}_s = \dot{I}_s (Z_s + Z_m), \quad (I9)$$

$$Z_s = R_s + jX_s, \quad (20)$$

$$Z_m = R_m + jX_m, \quad (21)$$

где

$$Z_s = \frac{Z_1 Z_2}{Z_1 + Z_2};$$

$$Z_1 = r_1 + jx_1; \quad Z_2 = r_2 + jx_2. \quad (22)$$

В ы в о д н

Для описания процессов трехфазного двухпакетного торцевого асинхронного двигателя с немагнитным ротором представляется возможным применить Т-образную, либо последовательную схему замещения двигателя.

При взаимоиндуктивной связи между обмотками двух пакетов статора следует учитывать в данной работе соответствующие индуктивные сопротивления x_{12} и x_{21} .

Влияние вторичной системы можно учесть введением комплексного коэффициента пропорциональности между эквивалентным фазным током ротора и током намагничивания.

Комплексный коэффициент k является, таким образом, видоизмененным параметром, при помощи которого, в отличие от общеизвестных способов, можно учесть скольжение, а также потери магнитной системы и температурное изменение сопротивлений намагничивающего контура последовательной схемы замещения.

Л и т е р а т у р а

1. Г.К. Самелевский, Н.А. Варес. О распределении магнитного поля в воздушном зазоре торцевой электрической машины переменного тока. Труды ТПИ, серия А, №264, 1968.

2. А.И. Бертинев. Влияние изменения температуры обмоток на характеристики индукционных машин. "Электромеханика" 1959, № 8.

G. Samolevski

N. Vares

Vom Ersatzschema des Asynchronmotors mit dem
paramagnetischen

Zusammenfassung

In diesem Artikel werden auf der Basis der Gleichungen der Spannungen und magnetomotorischer Kräfte verschiedene Variante des Ersatzschemas für den Asynchronmotor mit paramagnetischem Rotor und achsialem Fluß gefolgert.

Aus konstruktiven Gründen [großer Luftspalt, zwei Statorpakete (oder Hälften), paramagnetischer Rotor] sind die Parameter des Ersatzschemas des gegebenen Motortyps, im Vergleich zu den entsprechenden allgemein anerkannten Größen, in gewissem Maße geändert worden.

Zur Illustration dieser Behauptung sind bei dem im Artikel beschriebenen Versuchsmotor die experimentell erhaltenen Werte der Parameter des Ersatzschemas in relativen Einheiten gegeben.

СО Д Е Р Ж А Н И Е

1. В.Э. Вагане, Г.К. Самелев - ский. О геометрии печатного ротора торцевого синхронного двигателя	3
2. В.Э. Вагане, Г.К. Самелев - ский. Включение в сеть торцевого синхронного микродвигателя с постоянными магнитами и печат- ной обмоткой	9
3. Н.А. Варес, Г.К. Самелев - ский. О схеме замещения торцевого асинхрон- ного двигателя с немагнитным ротором	21

Э Л Е К Т О М Е Х А Н И К А

II

Таллинский политехнический институт

Редактор И. Давыдов

Технический редактор Л. Лоопер

Сдано в печать 1/УИИ 1968. Подписано к печати 13/УИИ 1968.

Бумага 60x90/16. Печ. д. 1,75 + 0,125. Уч.-изд. л. 1,25.

Тираж 850. МВ- 07839. Зак. № 656.

Ротапринт ТПИ, Талики, ул. Пахк ялг, 14.

Цена 14 коп.



Э Л Е К Т Р О М Е Х А Н И К А
II

УДК 621.313.84

Г.К. Самолевский, В.Э. Вагане. О геометрии печатного ротора торцевого синхронного двигателя

Статья посвящена установлению связи между номинальной электрической мощностью и геометрическими размерами печатной обмотки ротора торцевого синхронного двигателя с шестиугольными полюсными наконечниками.

Выведены формулы, позволяющие полностью определить геометрические размеры печатной обмотки, а также радиальные размеры магнитной системы синхронного двигателя.

Фигур I, библиографий 3.

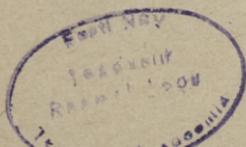
УДК 621.313.84

Г.К. Самолевский, В.Э. Вагане. Включение в сеть торцевого синхронного микродвигателя с постоянными магнитами и печатной обмоткой

Содержанием работы является аналитический вывод выражения электромагнитного вращающего момента синхронного микродвигателя с печатной обмоткой и постоянными магнитами, не имеющего пусковой обмотки.

Рассматривается установившийся режим пуска и режим синхронной скорости вращения с оценкой основных параметров двигателя.

Фигур 3, библиографий I.



УДК 621.318.38

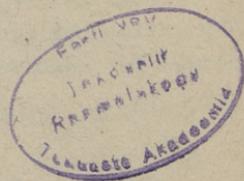
Г.К. Самолетский, Н.А. Варес. О схеме
замещения торцевого асинхронного двигателя с немаг-
нитным ротором.

В данной статье, на основе анализа уравнений напряжений и м.д.с., определены различные варианты схемы замещения трехфазного торцевого асинхронного двигателя с немагнитным ротором и аксиальным потоком.

Исходя из особенностей конструктивного исполнения двигателя (большой воздушный зазор, наличие двух статорных пакетов немагнитный ротор), параметры схемы замещения несколько видоизменены, по сравнению с соответствующими общеизвестными величинами.

В качестве примера в статье приведены некоторые данные о параметрах схемы замещения обного двигателя полученные экспериментальным путем.

Фигур 4, библиографий 2.



Цена 14 коп.