

## ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ С КОМБИНИРОВАННЫМИ РАЗНОИМЕННОПОЛЮСНЫМИ ИНДУКТОРАМИ

Ю. Н. КРОНЕБЕРГ, А. С. ЖИБИНОВ, С. Н. МАРУХИН

Представлена научным семинаром кафедр электрических машин и общей электротехники

Существует класс электрических машин комбинированного возбуждения (КВ), индукторы которых состоят из разноименнополюсных электромагнитной и магнитоэлектрической систем [1]. Последняя должна иметь равное число северных и южных полюсов и желательно, чтобы порядок их чередования . . .  $N-S-N$  . . . при обходе по окружности расточки не нарушался — это ведет к увеличению сечений ярма и спинки якоря (рис. 1), а также, чтобы система имела не менее двух осей симметрии [2], что обеспечит магнитную уравновешенность независимо от тока обмотки возбуждения (ОВ). Очевидно, что обмотка якоря должна быть последовательной.

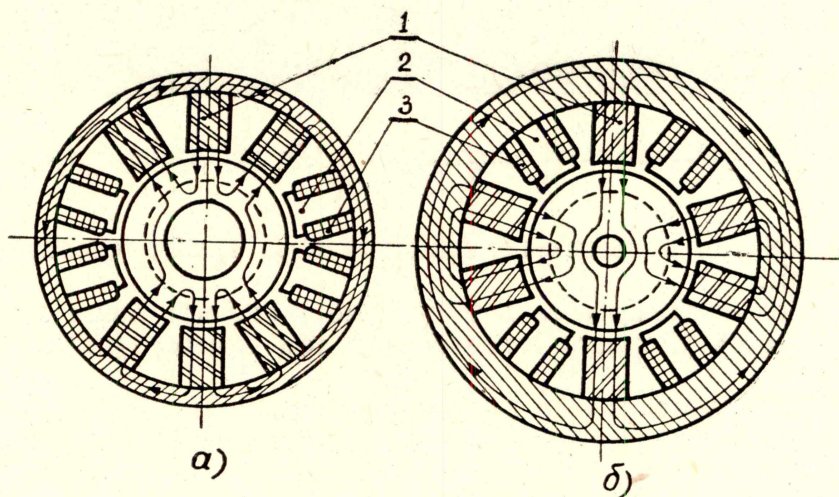


Рис. 1. Электрические машины с комбинированными индукторами: а) — с нормальным чередованием ПМ; б) — с нарушенным чередованием ПМ; 1 — ПМ, 2 — электромагнитный полюс, 3 — ОВ

Когда ОВ отключена, магнитные потоки постоянных магнитов (ПМ) будут замыкаться преимущественно по своим полюсам, наводя основную часть общей э. д. с. в проводниках обмотки якоря, которые в данный момент пересекают потоки полюсов магнитоэлектрической части системы. С увеличением тока ОВ вступает в действие электромагнитная часть системы и э. д. с. якоря увеличивается. При некоторой н. с.

ОВ потоки всех полюсов становятся одинаковыми. Согласно закону полного тока это означает, что н. с. каждой катушки ОВ должна быть точно такой же, как и у эквивалентной машины электромагнитного возбуждения (ЭВ). Но поскольку в машине КВ катушки ОВ расположены лишь на части полюсов, то общая мощность возбуждения в этом случае должна быть меньше.

Для более подробной оценки машин КВ их целесообразно сопоставить с машинами ЭВ, отличающимися только тем, что магнитоэлектрические полюсы заменены электромагнитными. А чтобы результаты сравнения были более общими, примем, что машина ЭВ имеет так называемую нормализованную характеристику холостого хода (рис. 2), которую можно аппроксимировать гиперболическим тангенсом [3]:

$$E = 1,43 \operatorname{th} 0,87 I, \quad (1)$$

где  $E$  — э. д. с. якоря, выраженная в долях номинального напряжения;

$I$  — ток возбуждения, выраженный в долях тока ОВ при  $E=1$ .

Делая допущение о независимости электромагнитной и магнитоэлектрической систем машины КВ, получим уравнение характеристики холостого хода в виде

$$e = ke_m + 1,43(1 - k) \operatorname{th} 0,87 i, \quad (2)$$

где  $e$  — э. д. с. якоря;  $i$  — ток ОВ;  $k$  — отношение числа магнитоэлектрических полюсов к полному числу полюсов;  $e_m$  — условная э. д. с. машины, поток каждого полюса которой равен потоку магнитоэлектрического полюса машины КВ. В уравнении (2) э. д. с.  $e$  и  $e_m$ , а также ток  $i$  выражены в тех же единицах, что э. д. с.  $E$  и ток  $I$  в уравнении (1).

Поскольку ОВ машин ЭВ и КВ имеют разное сопротивление, то зависимости (1) и (2) еще неудобны для сравнения и их следует привести к виду

$$E = 1,43 \operatorname{th} 0,87 \sqrt{P_B}, \quad (3)$$

$$e = ke_m + 1,43(1 - k) \operatorname{th} 0,87 \sqrt{\frac{P_B}{1 - k}}, \quad (4)$$

где  $P_e$  и  $p_e$  — мощности ОВ машин ЭВ и КВ, выраженные в долях мощности ОВ машины ЭВ при  $E=1$ .

Уравнения (3) и (4) позволяют провести достаточно подробное исследование режима холостого хода. Так, принимая в (4)  $e=1$ , найдем выражение для мощности возбуждения  $p_n$  при э. д. с., равной номинальному напряжению; решая совместно (3) и (4) при  $E=e$  и  $P_e=p_e$ , найдем э. д. с.  $e_r$  и мощность  $p_r$ , соответствующие режиму, в котором сопоставляемые машины эквивалентны по мощности возбуждения; глубина регулирования  $\gamma$  получится в виде разности номинальной э. д. с.  $e=1$  и начальной э. д. с., найденной из уравнения (4) при  $p_e=0$ .

На рис. 3 представлены параметры, рассчитанные указанным способом и полученные экспериментально для шестиполюсной машины с двумя магнитоэлектрическими полюсами ( $k=1/3$ ).

Эксперименты проводились на специально спроектированном генераторе постоянного тока (диаметр якоря генератора 10 см, длина якоря 7,8 см, скорость вращения 3000 об/мин), позволявшем заменять полюсы и намагничивать ПМ без разборки машины. Вначале снималась характеристика холостого хода машины ЭВ (рис. 2), хорошее совпадение которой с нормализованной характеристикой и аппроксимирующей кривой обеспечивает достаточную общность результатов исследования.

Затем два диаметрально расположенных полюса заменялись магнитоэлектрическими и при разной намагниченности ПМ снималось семейство кривых холостого хода, которые строились на одном графике с

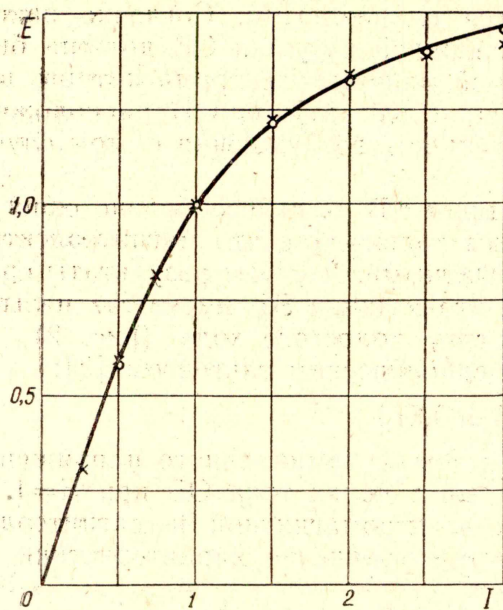


Рис. 2. Характеристика холостого хода: — экспериментальная;  $\times$  — нормализованная;  $\circ$  — по уравнению (1)

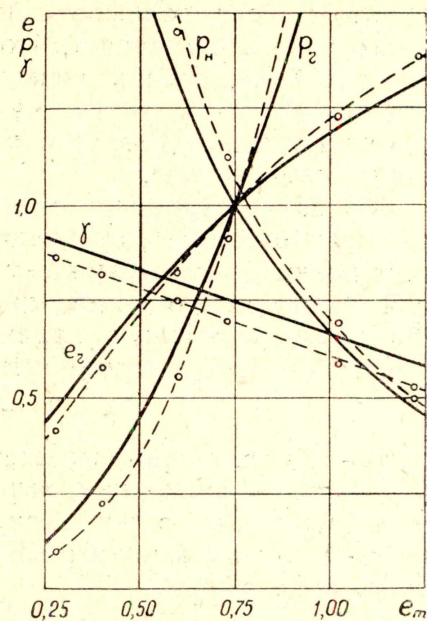


Рис. 3. Относительные параметры шестиполюсной машины КВ с двумя магнитоэлектрическими полюсами: — расчет, — опыт

характеристикой машины ЭВ. Равенство э. д. с. при равенстве н. с. электромагнитных и магнитоэлектрических полюсов (точки пересечения кривых машин ЭВ и КВ) одновременно соответствует равенству потоков всех полюсов обеих машин. Другими словами, э. д. с. каждой точки пересечения кривых является условной э. д. с.  $e_m$ .

Следовательно, каждой кривой семейства можно поставить в соответствие известное значение  $e_m$ , перестроить их в функции мощности возбуждения и найти все величины, представленные на рис. 3. Расхождения расчетных и экспериментальных кривых, особенно по глубине регулирования  $\gamma$ , можно объяснить взаимным влиянием систем возбуждения, а также погрешностями аппроксимации.

Тем не менее проведенные исследования режима холостого хода убедительно показывают, что машины КВ даже при ПМ среднего качества ( $0,8 \leq e_m \leq 1,0$ ) имеют заметный выигрыш по мощности возбуждения и вполне удовлетворительную глубину регулирования. Поскольку реакция якоря относительно слабо размагничивает магнитоэлектрические полюсы, то преимущества машины КВ под нагрузкой проявляются еще сильнее. Например, при  $e_m = 1$  максимальная выходная мощность машины КВ составила 1,03 кВт, тогда как машина ЭВ имела только 0,72 кВт.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ю. Н. Кронеберг. Основные принципы построения систем комбинированного возбуждения. Известия ТПИ, т. 242, Томск, изд. ТГУ, 1972.
2. Ю. Н. Кронеберг. Машина постоянного тока комбинированного возбуждения. Решение о выдаче авторского свидетельства от 31 июля 1964 г. по заявке № 873212/24—7.
3. А. И. Бертинов. Авиационные электрические генераторы. М., Оборонгиз, 1959.