

## К ВОПРОСУ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АКТИВНОГО ОБЪЕМА СОВМЕЩЕННЫХ МАШИН

В. Г. БАУМ

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин  
и общей электротехники)

В последнее время проявляется повышенный интерес к применению электрических машин, у которых в общих пазах магнитопровода расположены обмотки двух и более машин [1, 2, 3, 4, 5, 6].

Среди других, вызывающих интерес, вопросов при создании таких машин встает вопрос использования в них активных материалов. В настоящее время для расчета машин используется в основном метод [6], разработанный В. С. Новокшеновым с учетом оптимального использования активных материалов применительно к совмещенным машинам, состоящим из двух машин.

Однако это не дает общего представления о влиянии схем исполнения, назначения и количества машин, совмещенных в общем активном объеме на использование активных материалов.

Рассмотрим этот вопрос шире. Для общности представим себе, что в общих пазах магнитопровода объединено « $m$ » машин и каждая из них имеет свою расчетную мощность  $P_i$ , скорость вращения синхронного поля относительно создающей его обмотки  $n_i$ , поток с максимальной индукцией в воздухе  $V_i$  и линейной нагрузкой  $A_i$ .

Потоки всех машин действуют независимо друг от друга в активном объеме  $D^2l$ . Степень использования активного объема каждой из машин будет

$$\frac{P_i}{n_i D^2 l} = K_i A_i V_i, \quad (1)$$

где  $K_i$  — коэффициент, зависящий от коэффициентов полюсного перекрытия ( $\alpha_i$ ), формы кривой поля ( $K_{\phi i}$ ) и обмоточного  $K_{0i}$ , т. е.

$$K_i = \frac{\alpha_i}{n_i D^2 l}.$$

Величины суммарных электромагнитных нагрузок  $A$  и  $V$  совмещенных машин, как показывают исследования [6], могут приниматься на уровне таковых для машин нормального исполнения, имеющих такие же скорость вращения и активные размеры. Введем коэффициенты  $a_i$  и  $b_i$ , характеризующие распределение этих нагрузок между машинами, т. е.

$$a_i = \frac{A_i}{A};$$

$$b_i = \frac{B_i}{B}; \quad (2)$$

$$\sum_1^m a_i = 1;$$

$$\sum_1^m b_i = 1.$$

На основе этого преобразуем формулу (1):

$$\frac{P_i}{n_i D^2 I} = \kappa_i a_i b_i A B.$$

Степень использования активного объема всеми машинами определится из выражения

$$\frac{\sum_1^m \frac{P_i}{n_i}}{D^2 I} = \sum_1^m \kappa_i a_i b_i A B$$

или

$$\frac{\sum_1^m \frac{P_i}{n_i}}{D^2 I} = N A B,$$

где назовем коэффициентом использования

$$N = \sum_1^m \kappa_i a_i b_i. \quad (3)$$

Из условия наличия общего объема для всех машин следует, что

$$D^2 I A B = \frac{P_1}{n_1 \kappa_1 a_1 b_1} = \frac{P_2}{n_2 \kappa_2 a_2 b_2} = \dots = \frac{P_m}{n_m \kappa_m a_m b_m},$$

откуда, обозначив

$$\frac{P_i}{n_i} = \gamma_i,$$

получим

$$\gamma_1 : \gamma_2 : \dots : \gamma_m = \kappa_1 a_1 b_1 : \kappa_2 a_2 b_2 : \dots : \kappa_m a_m b_m. \quad (4)$$

Если зависимость

$$\gamma_1 : \gamma_2 : \dots : \gamma_m$$

известна и остается неизменной, то значения  $a_i$ ,  $b_i$ , при которых функция

$$N(a_1, b_1, a_2, b_2, \dots, a_m, b_m)$$

имеет условный экстремум, могут быть найдены из решения системы уравнений:

$$\frac{\partial F}{\partial a_1} = 0;$$

$$\frac{\partial F}{\partial b_1} = 0;$$

$$\frac{\partial F}{\partial a_2} = 0;$$

$$\frac{\partial F}{\partial b_2} = 0;$$

.....

$$\frac{\partial F}{\partial a_m} = 0;$$

$$\frac{\partial F}{\partial b_m} = 0;$$

$$a_1 + a_2 + \dots + a_m = 1;$$

$$b_1 + b_2 + \dots + b_m = 1;$$

$$k_1 a_1 b_1 - \frac{\gamma_1}{\gamma_2} k_2 a_2 b_2 = 0;$$

$$k_1 a_1 b_1 - \frac{\gamma_1}{\gamma_3} k_3 a_3 b_3 = 0;$$

..... : : : :

$$k_1 a_1 b_1 - \frac{\gamma_1}{\gamma_m} k_m a_m b_m = 0,$$

где

$$F = k_1 a_1 b_1 + k_2 a_2 b_2 + \dots + k_m a_m b_m + \lambda_1 (a_1 + a_2 + \dots + a_m - 1) + \lambda_2 (b_1 + b_2 + \dots + b_m - 1) + \lambda_3 \left( k_1 a_1 b_1 - \frac{\gamma_1}{\gamma_2} k_2 a_2 b_2 \right) + \dots + \lambda_{m+1} \left( k_1 a_1 b_1 - \frac{\gamma_1}{\gamma_m} k_m a_m b_m \right).$$

Здесь  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_{m+1}$  — множители Лагранжа.

После анализа результатов решения можно убедиться, что коэффициент использования  $N$  будет иметь максимальное значение тогда, когда

$$a_1 = b_1 = \frac{1}{1 + \sqrt{\frac{k_1 \gamma_2}{k_2 \gamma_1}} + \sqrt{\frac{k_1 \gamma_3}{k_3 \gamma_1}} + \dots + \sqrt{\frac{k_1 \gamma_m}{k_m \gamma_1}}};$$

$$a_2 = b_2 = \frac{1}{\sqrt{\frac{k_2 \gamma_1}{k_1 \gamma_2}} + 1 + \sqrt{\frac{k_2 \gamma_3}{k_3 \gamma_2}} + \dots + \sqrt{\frac{k_2 \gamma_m}{k_m \gamma_2}}}; \quad (5)$$

$$a_m = b_m = \frac{1}{\sqrt{\frac{k_m \gamma_1}{k_1 \gamma_m}} + \sqrt{\frac{k_m \gamma_2}{k_2 \gamma_m}} + \dots + \sqrt{\frac{k_m \gamma_{m-1}}{k_{m-1} \gamma_m}} + 1}.$$

Принимая во внимание зависимости (5), формуле (3) можно придать другой вид:

$$N = k_1 c_1^2 + k_2 c_2^2 + \dots + k_m c_m^2, \quad (6)$$

где

$$a_i = b_i = c_i.$$

Если снять условие неизменности отношений (4), то значения  $c_i$ , при котором функция  $N(c_1, c_2, \dots, c_m)$  имеет условный экстремум, найдутся после решения системы уравнений:

$$\frac{\partial F}{\partial c_1} = 0;$$

$$\frac{\partial F}{\partial c_2} = 0;$$

$$\frac{\partial F}{\partial c_m} = 0;$$

$$c_1 + c_2 + \dots + c_m = 1,$$

где

$$F = k_1 c_1^2 + k_2 c_2^2 + \dots + k_m c_m^2 + \lambda(c_1 + c_2 + \dots + c_m - 1),$$

Здесь  $\lambda$  — множитель Лагранжа.

В результате анализа решения этой системы уравнений получим, что наименьшая величина коэффициента использования будет тогда, когда

$$c_1 = c_2 = \dots = c_m = \frac{1}{m}. \quad (7)$$

Из выражений (4, 5 и 7) получим, что в этом случае

$$k_1 \gamma_2 = k_1 \gamma_3 = \dots = k_m \gamma_s,$$

где  $s$  — любое число из нормального ряда  $m$  чисел, не равное  $m$ .

Коэффициенты  $k_i$  могут незначительно отличаться друг от друга. Для таких машин можно принять

$$k_1 = k_2 = \dots = k_m = k.$$

Тогда наилучшее использование активных материалов будет для машин, которые имеют

$$\gamma_1 = \gamma_2 = \dots = \gamma_m.$$

В этом случае формула (6) принимает вид

$$N = \frac{k}{m}.$$

Значительное количество известных совмещенных машин имеют в общих пазах обмотки двух машин [1, 2, 3, 4, 6]. Для этих случаев на рис. 1 изображена графическая зависимость

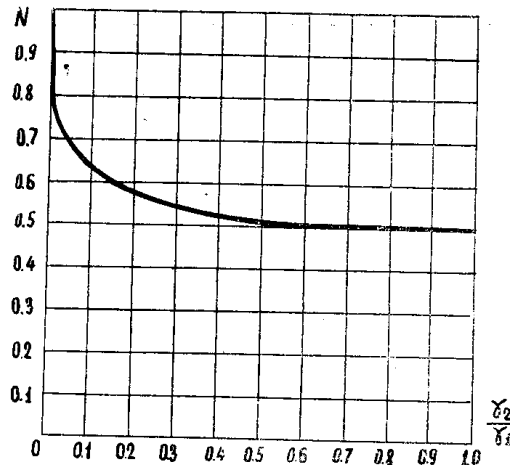


Рис. 1

$$N \left( \frac{\gamma_2}{\gamma_1} \right),$$

где

$$\gamma_1 > \gamma_2.$$

За единицу ( $N=1$ ) принят коэффициент использования активного объема нормальной машины, имеющей те же габариты и скорость вращения как и совмещенная машина при  $\gamma_2=0$ . Из графика видно, что при совмещении в общих пазах с одной машиной второй, коэффициент использования резко снижается, достигая минимума

$$N_{\min}=0,5$$

при

$$\gamma_1 = \gamma_2.$$

Резкое снижение происходит при относительно небольших значениях  $\gamma_2$ .

Использование активного объема остается низким в довольно широких пределах изменения  $\frac{\gamma_2}{\gamma_1}$ .

Используя вышеизложенное можно оценить рациональность двух типов совмещенных машин: одномашинного (рис. 2) и бесконтактного

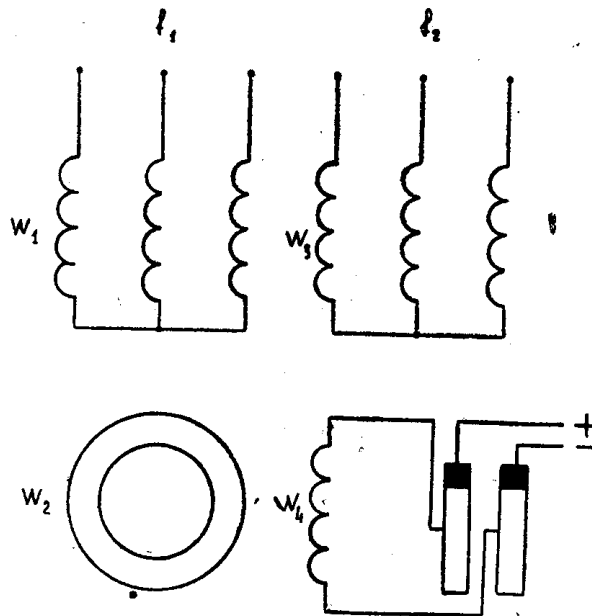


Рис. 2

(рис. 3) преобразователей частоты.

В одномашинном преобразователе частоты в общем магнитопроводе совмещены обмотки асинхронного двигателя ( $w_1, w_2$ ) и синхронного генератора ( $w_3, w_4$ ). При работе преобразователя от сети нормальной частоты  $f_1$ , со статорной обмотки генератора снимается повышенная частота  $f_2$ .

Бесконтактный преобразователь представляет собой моторгенераторный агрегат, у которого обмотки синхронного генератора ( $w_2, w_3$ ) объединены в общих пазах с обмотками возбудителя ( $w_4, w_5$ ). Роторная обмотка возбудителя ( $w_5$ ) через вращающиеся выпрямители включена на обмотку возбуждения генератора ( $w_3$ ). При работе преобразователя

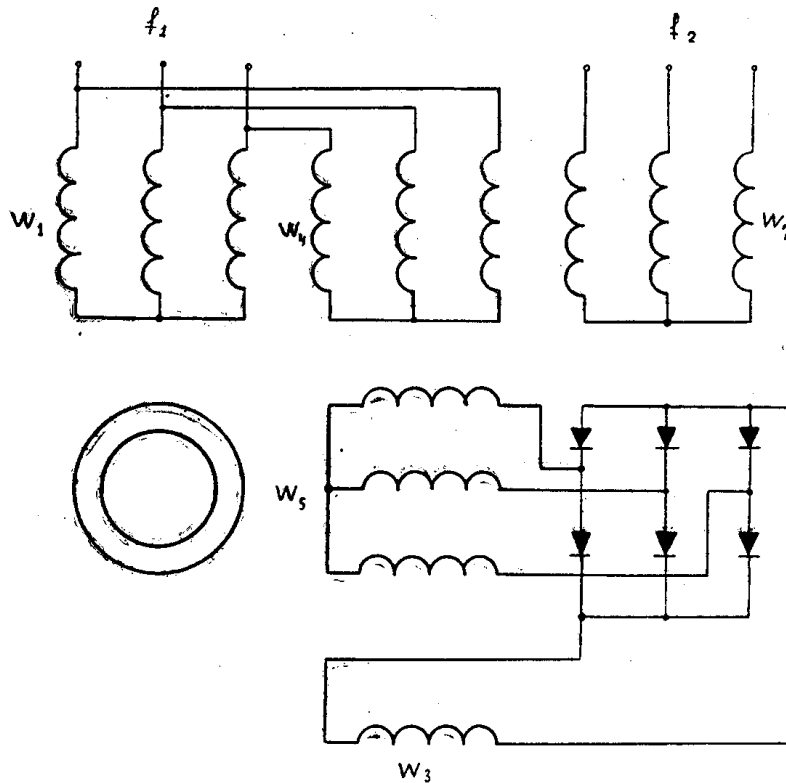


Рис. 3

зователя от сети нормальной частоты  $f_1$  со статорной обмотки генератора снимается повышенная частота  $f_2$ ; ( $w_1$  — статорная обмотка короткозамкнутого двигателя).

Для одномашинного преобразователя [1, 2]  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$  соответственно для двигателя и генератора незначительно отличаются друг от друга. В бесконтактном преобразователе  $\gamma_1$  и  $\gamma_2$  соответственно для возбуждителя и генератора могут значительно отличаться друг от друга, так как расчетная мощность возбуждителя может быть ничтожной по сравнению с мощностью генератора.

На основании вышеизложенного одномашинный преобразователь частоты можно отнести к типу машин с наилучшим использованием активного объема.

Увеличение же количества машин [5], совмещенных в общем активном объеме, ухудшает его использование.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А. С. Быков. Асинхронный преобразователь частоты в одномашинном исполнении. Диссертация, Киевский политехнический институт, 1953.
2. В. Н. Павлинин, Н. С. Сиунов. Свойства и эффективность одномашинного преобразователя частоты. Известия высших учебных заведений «Электромеханика», № 1, 1960.
3. В. Г. Баум. Схемы бесконтактных преобразователей частоты. «Промышленная энергетика», № 9, 1961.
4. Г. Е. Пухов, В. А. Борковский, М. А. Сутормин. Бесконтактные индукционные машины с внутренним каскадом. Сборник ученых трудов Киевского института гражданского воздушного флота, вып. 1, 1963.
5. В. С. Нерсисян. Элементы расчета одномашинных бесконтактных преобразователей частоты. Труды Горьковского политехнического института, т. XIX, вып. 3, 1963.
6. В. С. Новокшенов. Исследование асинхронного бесщеточного преобразователя частоты. Диссертация, Томский политехнический институт, 1961.