

**К ПРИМЕНЕНИЮ СОВМЕЩЕННЫХ ОБМОТОК  
ДЛЯ СИНХРОННЫХ МАШИН**

А. П. ФЕЛЬЗИНГ, М. Л. КОСТЫРЕВ, А. И. СКОРОСПЕШКИН

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин и общей электротехники)

В последние годы все более возрастающий интерес проявляется к так называемым совмещенным обмоткам электрических машин [1, 2]. Совмещенная обмотка заменяет несколько, чаще две, независимые обмотки на разное число пар полюсов одной, выполняющей те же функции, что и две отдельные обмотки. Машина становится более технологичной, сокращается расход изоляционного материала, а в ряде случаев удается получить экономию и проводникового материала [3, 4]. Кроме того, машина с совмещенными обмотками приобретает ряд новых свойств. Например, в бесконтактных синхронных генераторах совмещенная обмотка на роторе, кроме основных функций выходной обмотки первого каскада и обмотки возбуждения второго каскада, может выполнять роль демпферной обмотки, а в однофазном генераторе — обмотки обратной связи по току [3, 5].

Оценка эффективности совмещенных обмоток, применяемых в одномашинных преобразователях при совмещении машин, примерно равных по мощности, приводится в работах [3, 4]. Однако полученные результаты нельзя в полной мере распространить на обмотки для бесщеточного возбуждения синхронных машин, так как в этом случае совмещаются машины (генератор и возбудитель, двигатель и возбудитель), существенно различающиеся по мощности. Кроме того, данный тип совмещенных обмоток отличается режимом работы. Обмотки для бесщеточного возбуждения синхронных машин выполняются замкнутыми через выпрямитель на себя, являясь одновременно и источником, и потребителем электрической энергии (рис. 1).

В связи с этим необходимо выяснить целесообразность замены двух отдельных обмоток на роторе одной совмещенной для бесщеточного возбуждения синхронной машины как с симметричной, так и с несимметричной (однофазной) выходной обмоткой.

Для оценки эффективности замены двух отдельных обмоток совмещенной примем, что плотности токов в отдельных обмотках одинаковы, намагничивающие силы по второму каскаду и удельные тепловые нагрузки отдельных и совмещенной обмоток также равны.

Из условия равенства удельных тепловых нагрузок эффективная плотность тока совмещенной обмотки определяется выражением

$$\Delta_c = \frac{A_1 \cdot \Delta_1 + A_2 \cdot \Delta_2}{\sqrt{A_{1c}^2 + A_{2c}^2}}, \quad (1)$$

где  $A_1, A_2$  и  $\Delta_1, \Delta_2$  — линейные нагрузки и плотности токов отдельных обмоток первого и второго каскадов машины;

$A_{1C}, A_{2C}$  — линейные нагрузки совмещенной обмотки по первому и второму каскадам, создаваемые соответственно переменной и постоянной составляющими тока фазы.

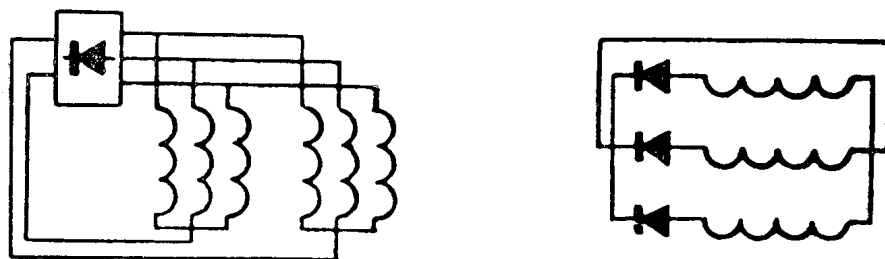


Рис. 1. Совмещенные обмотки для бесщеточного возбуждения синхронных машин

В обычных схемах выпрямления и работы выпрямителя для связи действующих и выпрямленных значений пользуются коэффициентами передачи по напряжению и току. При этом угол коммутации вентилей зачастую практически не учитывается. В совмещенных обмотках (рис. 1) выпрямитель работает в режиме короткого замыкания. Вентили проводят ток практически в течение всего периода, и поэтому использовать обычные коэффициенты передачи по току и напряжению в данном случае нельзя. Соотношение между действующим и выпрямленным током в таких схемах может быть определено из условия равенства мощностей со стороны переменного и постоянного тока. Для схем, приведенных на рис. 1, если пренебречь потерями в вентилях, имеем

$$I_{\sim} = I_{-}, \quad (2)$$

т. е. среднее значение выпрямленного тока равно действующему значению тока установившегося трехфазного короткого замыкания первого каскада.

Из условия равенства н. с. по второму каскаду с учетом выражения (2) эффективная плотность тока совмещенной обмотки.

$$\Delta_{\sigma} = \frac{\Delta}{\sqrt{2} \cdot K_2 \cdot C_A}, \quad (3)$$

где  $C_A = \frac{A_2}{A_1 + A_2}$  — коэффициент, характеризующий распределение линейной нагрузки по каскадам машины с отдельными обмотками, совмещенными в одном магнитопроводе,  $K_2 = \frac{K_{02}}{K_{0C2}}$ , где  $K_{02}$  и  $K_{0C2}$  — обмо-

точные коэффициенты отдельной и совмещенной обмоток относительно поля второго каскада. В общем случае коэффициент  $K_2$  может отличаться от единицы. Однако проектировать совмещенные обмотки с  $K_2 > 1$  нецелесообразно из-за ухудшения использования их по второму каскаду. Уменьшение  $K_2 < 1$  ограничивается тем, что обмоточный коэффициент  $K_{02}$  для синхронных машин обычно достаточно высокий. Поэтому в дальнейшем без особой погрешности можно принять  $K_2 = 1$ .

На рис. 2 построена зависимость относительной плотности тока совмещенной обмотки в функции от коэффициента  $C_A$ , рассчитанная по выражению (3) при условии  $K_2 = 1$ . Как видно, при совмещении обмоток машин, соизмеримых по мощности ( $C_A = 0,4 \div 0,7$ ), например, дви-

двигатель—генератор,  $\frac{\Delta_c}{\Delta} > 1$ , и можно получить экономию проводникового материала, что согласуется с выводами, сделанными применительно к одномашинным преобразователям. При совмещении машин, существенно различающихся по мощности  $C_A = (0,7 \div 0,95)$ , например, двигатель—возбудитель или генератор—возбудитель,  $\frac{\Delta_c}{\Delta} < 1$ , и затраты проводникового материала в совмещенной обмотке получаются несколько выше, чем в случае отдельных обмоток.

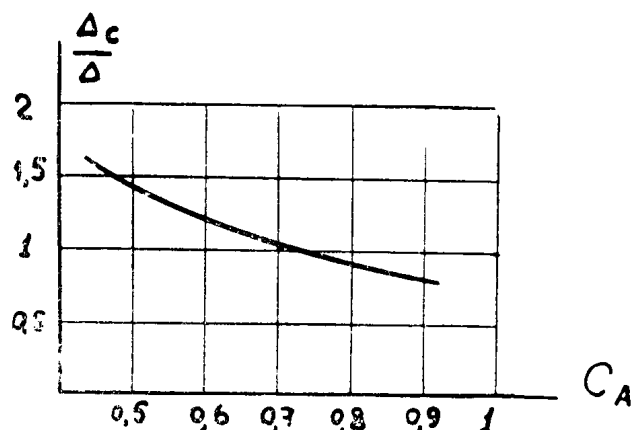


Рис. 2. Относительная плотность тока совмещенной обмотки

Следует отметить, что эффективная плотность тока, определяемая выражением (3), соответствует условию сохранения удельной тепловой нагрузки. При этом не сохраняется равенство потерь в меди, так как лобовая часть совмещенной обмотки по сравнению с одной из отдельных обмоток либо удлиняется, либо укорачивается. Эффективная плотность тока совмещенной обмотки из условия равенства потерь в меди машины с отдельными и совмещенной обмотками

$$\Delta_c = \frac{\left( l_1 \frac{1 - C_A}{C_A} + l_2 \right) \Delta}{\sqrt{2} \cdot K_2}, \quad (4)$$

где  $l_1$  и  $l_2$  — отношения средних длин витков секций соответственно первой и второй отдельной обмотки к средней длине витка секции совмещенной обмотки.

Оценим расход проводникового материала в машине с отдельными и совмещенной обмотками при условии сохранения равенства потерь в меди, выразив последние через плотность тока и вес:

$$\Delta_1^2 G_1 + \Delta_2^2 G_2 = \Delta_c^2 G_c. \quad (5)$$

С учетом равенства плотностей токов в отдельных обмотках, а также выражений (5) и (4) отношение суммарного веса меди отдельных обмоток к весу меди совмещенной обмотки

$$\frac{G}{G_c} = \left[ \frac{l_1 - (l_1 - l_2) C_A}{\sqrt{2} K_2 C_A} \right]^2. \quad (6)$$

На рис. 3 построены графики  $\frac{G}{G_c} = f(C_A)$ , рассчитанные по выражению (6) при условии  $K_2 = l_2 = 1$  и различных  $l_1$ .

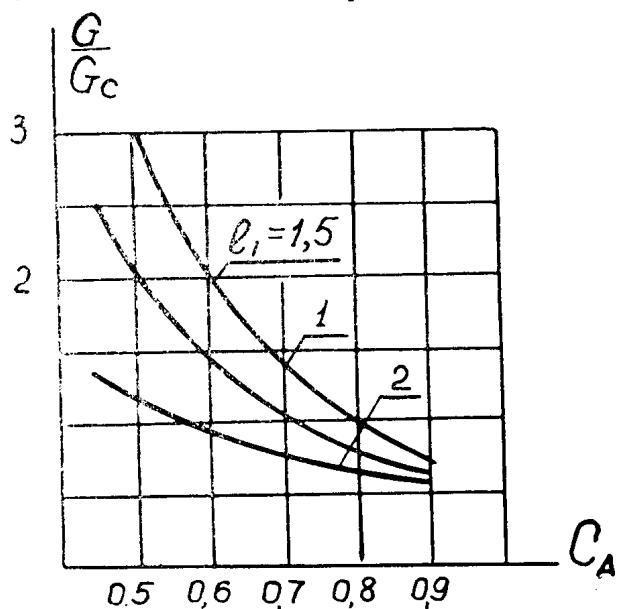


Рис. 3. Относительный вес совмещенной обмотки

Из рисунка видно, что при правильном выборе и проектировании совмещенной обмотки можно получить значительную экономию проводникового материала, особенно при совмещении обмоток машин, примерно равных по мощности.

Чтобы расход меди в совмещенной обмотке для бесщеточного возбуждения синхронных машин оставался примерно на уровне расхода меди в отдельных обмотках, совмещенные обмотки следует проектировать с максимально возможным обмоточным коэффициентом относительно поля второго каскада и с шагом, примерно равным полюсному делению каскада с большим числом полюсов.

По проведенным исследованиям можно сделать следующие выводы:

1. Совмещение обмоток эффективно с точки зрения экономии проводникового материала при совмещении машин, примерно одинаковых по мощности, что согласуется с выводами, сделанными применительно к одномашинным преобразователям.

2. При совмещении машин, существенно отличающихся по мощности (генератор—возбудитель, двигатель—возбудитель), затраты проводникового материала в совмещенной обмотке могут получиться выше, чем при отдельных обмотках, но даже и в этом случае применять совмещенные обмотки целесообразно. Конструкция машины получается более технологичной и надежной, сокращается расход пазовой изоляции. Машина приобретает ряд новых полезных свойств.

3. Совмещенные обмотки для бесщеточного возбуждения синхронных машин следует проектировать с максимально возможным обмоточным коэффициентом относительно поля второго каскада и с шагом, примерно равным полюсному делению каскада с большим числом полюсов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А. М. Бамдас, В. И. Попов, В. П. Караваев. Бесконтактный синхронный генератор с совмещенными магнитными и электрическими системами БСГС-150, ГИТ и ПО, № 9—68—545/53. Москва, 1968.

2. Н. Н а г з. Synchronmaschine ohne Schleifringe. Патент ФРГ, кл. 21 d<sup>21</sup>, № 953636, б. 12, 1956.

3. В. Н. Б р е е в, Ю. В. Б а р ы ш н и к о в, А. Г. П л а с т у н. Применение совмещенных обмоток в ЭПЧ, Сб. «Частота промышленного переменного тока и проблемы ее оптимизации», Кишинев, 1969.

4. В. И. З а г р я д ц к и й. Совмещенные электрические машины и перспективы их развития. «Электроэнергетика и автоматика», вып. 5, 1969.

5. А. П. Ф е л ь з и н г, М. Л. К о с т ы р е в, А. И. С к о р о с п е ш к и н. Расчет характеристик бесконтактного однофазного синхронного генератора повышенной частоты. «Известия ТПИ», т. 212.

---