

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭМУ  
С ГЛАДКИМ ЯКОРЕМ

А. И. СКОРОСПЕШКИН, А. И. ВИЛЬНЕР

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин  
и общей электротехники)

В настоящей статье рассматриваются вопросы, связанные с выбором электромагнитных нагрузок и основных размеров в электромашинных усилителях поперечного поля с гладким якорем.

Обычно выбор главных размеров электрической машины производится на основе машинной постоянной [1]

$$C_A = \frac{D^2 l_i n_H}{P_H \cdot K_E} = \frac{6, l \cdot 10^{11}}{B_0 \alpha \cdot A} \quad (1)$$

Величины  $B_0$  и  $A$  берутся с учетом данных, хорошо работающих на практике электрических машин, близких к проектируемой машине. При отсутствии аналогий основными размерами грубо задаются и методом последовательных приближений получают машинную постоянную  $C_A$ , которая обеспечивает хорошие расчетные характеристики машины. При этом строят кривые

$$C_A = f\left(\frac{P_H}{n_H}\right) \text{ или } C_A = f(P_H) \quad \text{для определенной скорости}$$

вращения. Эти кривые определяют объем якоря  $D^2 l_i$  для любых соотношений  $D$  и  $l$  и не зависят от номинального напряжения машины  $U_H$ .

Затем при выбранном отношении  $\lambda = \frac{l_i}{c}$  определяют диаметр якоря по формуле:

$$D = \sqrt[3]{\frac{2p C_A P_H K_E}{\pi \lambda n_H}} \quad (2)$$

При попытке расчета гладкого якоря электромашинного усилителя мы не получаем четкой связи  $C_A = f\left(\frac{P_H}{n_H}\right)$ , не зависящей от напряжения  $U_H$ , для каждого значения  $U_H$  получается своя кривая  $C_A$ .

Следовательно, для ЭМУ с гладким якорем необходим другой подход к выбору главных размеров и электромагнитных нагрузок по сравнению с машинами обычного исполнения.

При проектировании электромашинных усилителей накладывается ряд дополнительных требований:

- 1) усилитель должен иметь высокий коэффициент добротности;
- 2) возможность двойной и большей форсировки напряжения, для достижения которой магнитная система должна быть ненасыщенной;
- 3) усилитель должен обеспечивать максимально возможный ко-

эффицент усиления, что ограничивает пределы увеличения мощности управления.

Следовательно, в усилителе с гладким ярком немагнитный слой должен быть по возможности малым. Это требование, по существу, приводит к тому, что приходится ограничиваться одним слоем проводников на поверхности гладкого ярка. При выполнении двухслойной обмотки значительно ухудшаются свойства усилителя вследствие резкого увеличения воздушного зазора.

Таким образом, при проектировании ЭМУ с гладким ярком необходимо выбирать однослойную обмотку с максимально возможной по условиям нагрева плотностью тока второго каскада ( $\Delta_3$ ). Индукция в воздушном зазоре ( $B_\delta$ ), как показывает опыт, не должна превышать 3800 гс.

Плотность тока в обмотке ярка ввиду непосредственного охлаждения обмотки достаточно высока: в испытанных усилителях она доводилась до 21 а/мм<sup>2</sup>.

На рис. 1 представлена экспериментальная зависимость перегревов обмотки ярка от плотности тока. Из рисунка видно, что при  $\Delta_3 > 20$  а/мм<sup>2</sup> перегрев растет очень быстро (работа происходит в области критической плотности тока).

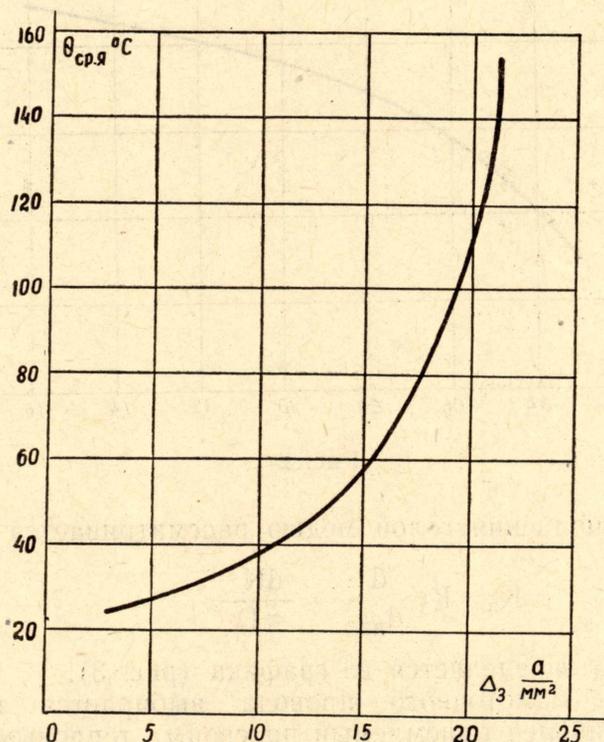


Рис. 1

Очевидно, что при проектировании ЭМУ с гладким ярком может быть рекомендована плотность тока в обмотке ярка в пределах 18—19 а/мм<sup>2</sup>.

Диаметр голой меди в этом случае можно получить как

$$d = \sqrt{\frac{2J_H}{a\pi\Delta_3}}, \quad (3)$$

где

$I_H$  — ток второго каскада, а,

$\Delta_3$  — плотность тока второго каскада, а/мм<sup>2</sup>,  
 $a$  — число пар параллельных ветвей обмотки якоря.

Коэффициент заполнения пакета якоря изолированным проводом определяется выражением:

$$K_3' = \frac{d_{из} N}{\pi(D + 2h_{вн} + d_{из})}, \quad (4)$$

где

$D$  — диаметр пакета якоря, мм,  
 $h_{вн}$  — высота изоляции между пакетом якоря и проводниками обмотки, мм,  
 $d_{из}$  — диаметр стандартного изолированного провода, мм,  
 $N$  — число проводников однослойной обмотки якоря.  
 Для упрощения можно принять

$$K_3' = \frac{d_{из} N}{\pi D}. \quad (5)$$

Коэффициент заполнения  $K_3'$  определяется из графика (рис. 2).

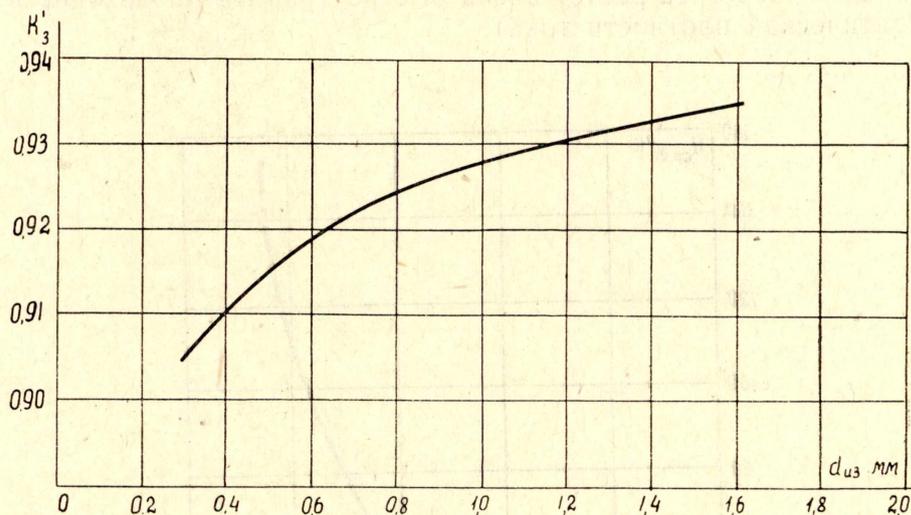


Рис. 2

Коэффициент заполнения голый медью рассматривается как

$$K_3 = K_3' \frac{d}{d_{из}} = \frac{dN}{\pi D}. \quad (6)$$

Величина  $K_3$  определяется из графика (рис. 3).

В качестве обмоточного провода выбирается провод марки ПЭТВ-1, как наиболее приемлемый по своим тепловым и механическим свойствам. Этот провод нами применяется для ЭМУ с гладким якорем. В принципе может быть использован и любой другой провод, обеспечивающий необходимые тепловые и механические свойства при минимальной толщине изоляции.

Исходя из такого определения коэффициента заполнения активного слоя якоря и известных формул, определяем число проводников обмотки якоря.

$$N = \frac{60 a U_H K_E 10^8}{r_{пн} \Phi_q}, \quad (7)$$

где

$U_H$  — напряжение второго каскада, в,

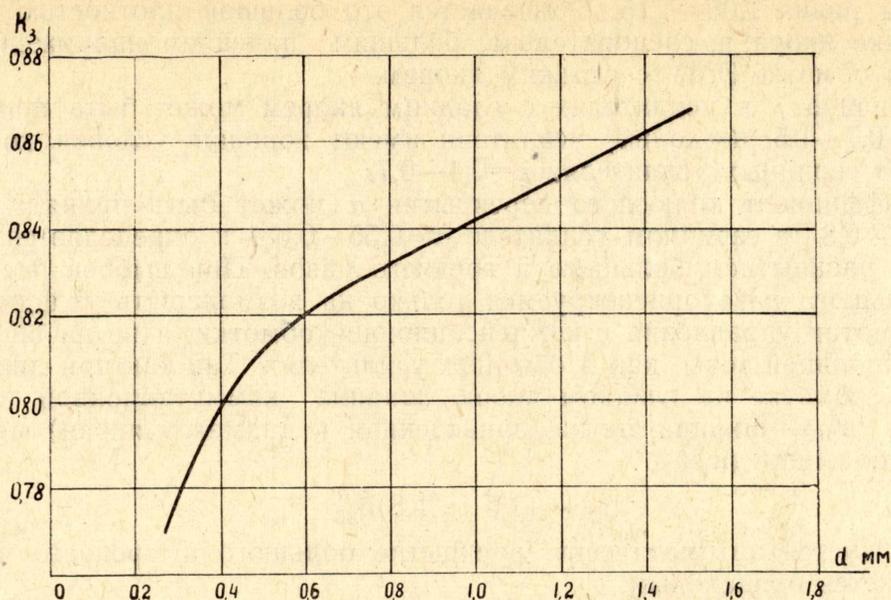


Рис. 3

$\Phi_q$  — поток поперечной цепи,  
 $\alpha$  — полюсное перекрытие.

$$\Phi_q = B_\delta \alpha \cdot \tau \cdot l_i, \quad (8)$$

где

$$\tau = \frac{\pi D}{2p} \text{ и } l = \lambda \tau$$

следовательно,

$$N = \frac{60a U_H K_E \cdot 10^8 \cdot 4p^2}{p n_H B_\delta \alpha \cdot \lambda \pi^2 D^2}. \quad (9)$$

Подставив

$$D = \frac{Nd}{\pi K_3}, \quad (10)$$

получим

$$N = \sqrt[3]{\frac{24 \cdot 10^9 p \cdot a \cdot K_3^2 U_H K_E}{n_H \alpha \cdot \lambda \cdot B_\delta d^2}}, \quad (11)$$

где  $d$  — (см),  $U_H$  — (в),  $B_\delta$  — (гс),  $n_H$  — (об/мин).

Выражение для диаметра пакета якоря можно записать в виде:

$$D = \frac{l}{\pi} \sqrt[3]{\frac{24 \cdot 10^9 p \cdot a \cdot U_H K_E d}{n_H \alpha \cdot \lambda \cdot B_\delta K_3}}. \quad (12)$$

Это выражение дает, таким образом, наименьший диаметр якоря  $D$  при выбранном соотношении  $l$  и  $D$ , на котором можно расположить  $N$  проводников, обеспечивающих при заданной индукции  $B_\delta$  номинальное напряжение на выходе усилителя. Такой диаметр обеспечивает также получение максимального коэффициента усиления.

Рассмотрим некоторые величины, входящие в формулу (12).

На основе расчета ряда машин можно заключить, что в усилителях с гладким якорем величина  $K_E$  несколько больше, чем в серийных усилителях, и находится в пределах 1,2—1,5, в то время как в серий-

ных она равна 1,05—1,15. Объясняется это большой плотностью тока в обмотке якоря и, следовательно, большим падением напряжения в якорной обмотке ЭМУ с гладким якорем.

Величина  $\lambda$  в усилителях с гладким якорем может быть принята равной 0,7—1,5, поскольку усилители имеют хорошие условия коммутации. В серийных усилителях  $\lambda=0,4-0,7$ .

Коэффициент полюсного перекрытия  $\alpha$  может быть принят равным 0,6—0,8 (в серийном усилителе  $\alpha=0,55-0,65$ ) и определяется собственно раскрытием большого и среднего пазов. При выборе раскрытия большого паза ориентируемся только на возможность укладки в него обмоток управления и компенсационной обмотки, а не на ширину коммутационной зоны, как в обычных усилителях. Так как при диаметральной обмотке на гладком якоре ширина коммутационной зоны  $b_{кз} \approx b'_{щ}$  ( $b'_{щ}$  — ширина щетки, приведенная к диаметру якоря) и раскрытие большого паза

$$b_q = (1,5 \div 1,8)b_{кз} \quad (13)$$

обеспечивается автоматически, раскрытие большого и среднего пазов принимается одинаковым.

Диаметр расточки статора определяется как

$$D' = D + 2\delta, \quad (14)$$

где

$$\delta = \delta' + \delta_{из} + d_{из},$$

$\delta'$  — воздушный зазор между полюсами и обмоткой якоря,

$\delta_{из}$  — суммарная высота изоляции якорной обмотки.

Немагнитный слой определяется в основном диаметром изолированного провода  $d_{из}$  и может быть представлен как

$$\delta = Kd_{из}. \quad (15)$$

В свою очередь,  $d_{из} \equiv I_H$ , следовательно, величина воздушного зазора пропорциональна току якоря и при расчете практически не выбирается.

Далее получено выражение для линейной нагрузки, подставив в (16)  $N$  и  $D$  (9) и (10).

$$A_3 = \frac{NI_H}{2a\pi D}. \quad (16)$$

Получим

$$A_3 = \frac{I_H K_3}{2d}, \quad (17)$$

или, подставив (3), находим выражение для линейной нагрузки в виде

$$A_3 = 0,5K_3 \sqrt{1,5aI_H \Delta_3}. \quad (18)$$

Следовательно, при заданной плотности тока линейная нагрузка зависит только от тока. Например, при  $\Delta_3=20$  а/мм<sup>2</sup> зависимость  $A_3=f(I_H)$  изображается кривой рис. 4. При более подробном исследовании нагрева якорей усилителей с гладким якорем представится возможность на самом начальном этапе расчета усилителя определить  $A_{3max}$ , выбирая допустимую линейную нагрузку.

В целом результаты проведенной работы можно сформулировать следующим образом:

1. Получены расчетные формулы для определения основных размеров ЭМУ с гладким якорем.
2. Даны рекомендации по выбору электромагнитных нагрузок.
3. Рекомендован выбор величин  $\lambda$  и  $\alpha$ ,  $K_E$ .

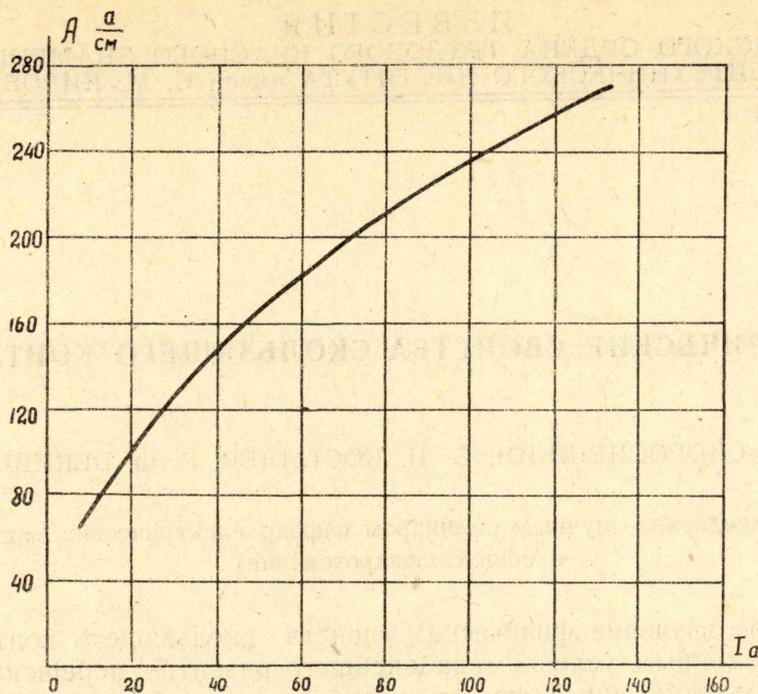


Рис. 4

#### ЛИТЕРАТУРА

1. И. М. Постников. Проектирование электрических машин. 1960.
2. И. Н. Рабинович, И. Г. Шубов. Проектирование машин постоянного тока. 1967.
3. Ф. А. Горяинов. Электромашинные усилители. 1962.