

## К ВЫБОРУ ОБМОТКИ РОТОРА В БЕСКОЛЛЕКТОРНЫХ ЭЛЕКТРОМАШИНАХ УСИЛИТЕЛЯХ (БЭМУ) И ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ ЧАСТОТЫ

А. И. СКОРОСПЕШКИН, К. А. ХОРЬКОВ, Е. К. ДЕРГОВУЗОВА

(Рекомендовано семинаром кафедр электрических машин  
и общей электротехники)

Разрабатываемые нами БЭМУ и преобразователи частоты являются двухкаскадными и совмещенными. Первый каскад по существу представляет собой синхронную машину. Но величина воздушного зазора в них принята как в асинхронных машинах. Поэтому можно ожидать, что без применения стабилизирующих средств внешняя характеристика синхронного каскада будет носить крутопадающий характер. Эксперимент подтверждает это.

Существующие методы стабилизации напряжения путем применения обратных связей больше подходят к преобразователям и усилителям постоянного тока и фиксированной частотой. В преобразователях и усилителях с регулируемой частотой применение обратной связи ведет к дополнительной нагрузке управляемого полупроводникового коллектора (УПК), которая при больших пределах регулирования частоты может превзойти номинальную мощность (при базисной частоте) в несколько раз. Другими словами, наличие обратной связи через УПК ведет к снижению номинальной нагрузки машины.

Указанное заставляет искать новые методы стабилизации напряжения.

Нами предложен метод улучшения жесткости внешней характеристики синхронного каскада машины путем уменьшения влияния размагничивающего действия реакции якоря с помощью особого конструктивного исполнения обмотки ротора, названного «зигзаг».

Сущность этого исполнения обмотки состоит в том, что каждая фаза обмотки делится на части, сдвинутые в пространстве друг относительно друга на некоторый угол  $\alpha$  (рис. 1).

Благодаря такому соединению создается сдвиг между основным потоком и потоком реакции якоря, в результате чего размагничивающее действие реакции якоря уменьшается. Результирующая э. д. с. машины также уменьшается, но незначительно, во всяком случае в меньшей степени, чем уменьшается размагничивающее действие реакции якоря.

Логика подсказывает, что наилучшим будет деление фазы на две равные части,

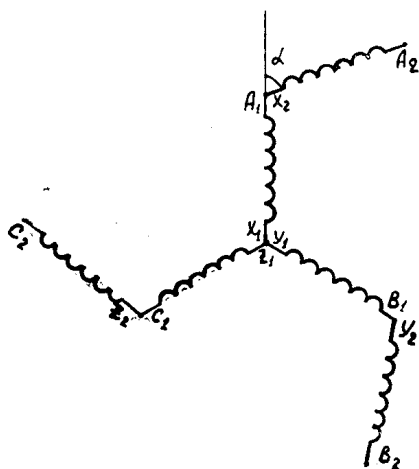


Рис. 1.

сдвинутые в пространстве на 90 электрических градусов. Для синхронного индуктивного сопротивления трехфазного синхронного генератора имеем следующую расчетную формулу:

$$X_p = 2mf \frac{\mu_0 D l K_w W_2}{K_\delta K_\mu p^2 \delta}, \quad (1)$$

где  $m$  — число фаз обмотки,  
 $f$  — частота э. д. с.,  
 $\mu_0$  — магнитная проницаемость воздуха,  
 $K_w$  — обмоточный коэффициент,  
 $W_p$  — число витков обмотки,  
 $K_\delta$  — коэффициент воздушного зазора,  
 $K_\mu$  — коэффициент насыщения,  
 $p$  — число пар полюсов,  
 $\delta$  — величина воздушного зазора.

Аналогично выведенное выражение для индуктивного сопротивления обмотки при соединении ее по схеме «зигзаг» имеет вид:

$$X_{pz} = 2mf \frac{\mu_0 D l K_{wz}}{K_p K_\mu p^2 \delta} [(W_1 + W_2 \cos \alpha)^2 + (W_2 \sin \alpha)^2]. \quad (2)$$

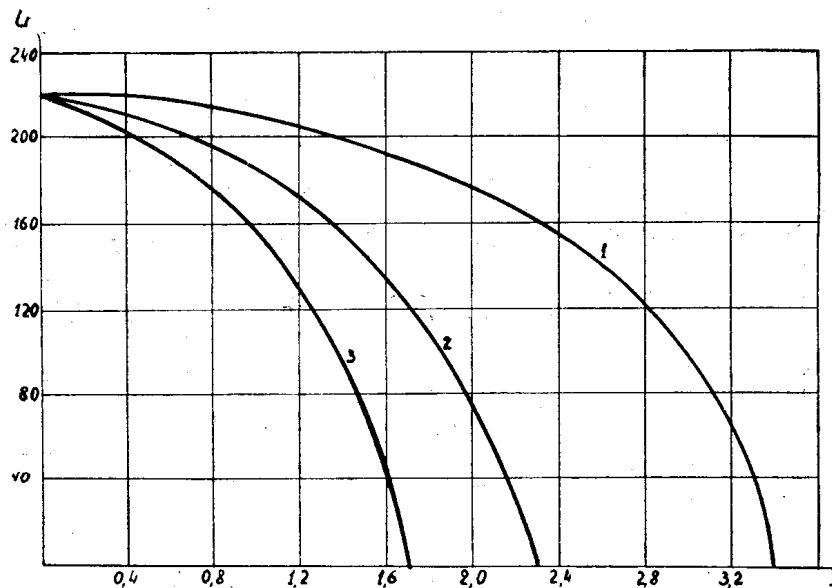


Рис. 2. Внешние характеристики каскада при  $i_y = 0$

При условии, что число витков обмотки «зигзаг»  $W_z = W_1 + W_2$  равно числу витков обычной обмотки  $W_p$ , получим

$$\begin{aligned} \frac{X_{pz}}{X_p} &= \frac{K_{wz} [(W_1 + W_2 \cos \alpha)^2 + (W_2 \sin \alpha)^2]}{K_w (W_1 + W_2)^2} = \\ &= \frac{K_{wz}}{K_w} \left[ 1 + \frac{2W_1 W_2}{(W_1 + W_2)^2} (\cos \alpha - 1) \right]. \end{aligned} \quad (3)$$

Оптимальное соотношение чисел витков  $W_1$  и  $W_2$  и оптимальное значение угла  $\alpha$  получаются после приравнивания частных производных выражения (3) к нулю, равными:

$$W_1 = W_2 \text{ и } \alpha = \frac{\pi}{2}. \quad (4)$$

Проведенные эксперименты полностью подтверждают этот вывод. Для исследований была создана модель в габаритах АОК 42-4. Обмотка якоря укладывалась на роторе. Были исследованы следующие типы обмоток:

- 1) обычная петлевая обмотка с числом витков  $W_p$ ,
- 2) обмотка «зигзаг» с  $W_1 + W_2 = W_p$  при  $W_2 = \frac{1}{2} W_1$ .

Исследовано влияние угла  $\alpha$  на жесткость внешних характеристик при частоте поля управления  $f_y = 0$ .

Результаты испытаний представлены на рис. 2 в виде зависимости  $U = f(I)$ . Из рисунка видно, что при  $\alpha = 90^\circ$  (кривая 1) внешняя характеристика получается более жесткой, чем при  $\alpha = 60^\circ$  (кривая 2) и  $\alpha = 0$  (кривая 3).

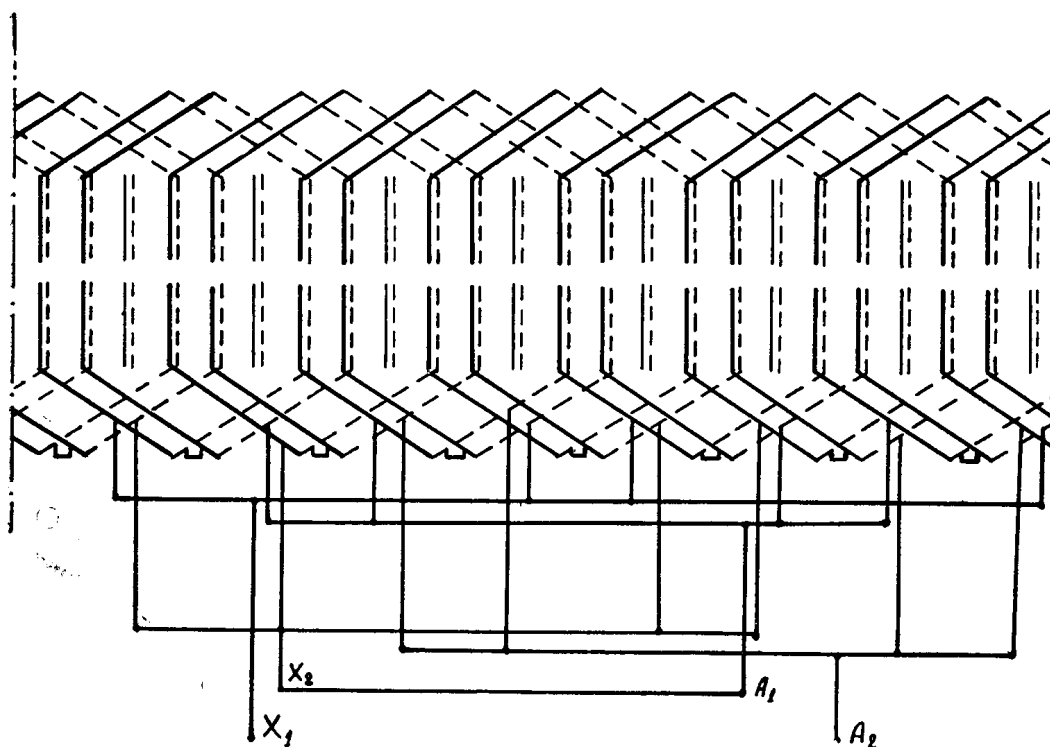


Рис. 3. Развернутая схема обмотки «зигзаг» при  $\alpha = 90^\circ$  эл.

Развернутая схема обмоток «зигзаг» при  $\alpha = 90^\circ$  представлена на рис. 3.

Таким образом, соединение обмотки «зигзагом» значительно увеличивает жесткость внешней характеристики машины. Однако наиболее показательными являются регулировочные характеристики (рис. 4), полученные при неподвижном поле управления  $f_y = 0$  и частоте э.д.с. ротора  $f_p = 100$  гц.

Из кривых видно, что при малых токах нагрузки для получения одинакового напряжения на выходе при соединении обмотки по схеме «зигзаг» требуется большая мощность возбуждения машины (кривая 1), чем при нормальной обмотке. Однако при токах, близких к номинальному, картина резко меняется. Это говорит о том, что коэффициент усиления каскада при нормальной нагрузке будет значительно больше для обмотки «зигзаг», так как мощности управления для обеих обмоток относятся как квадраты токов.

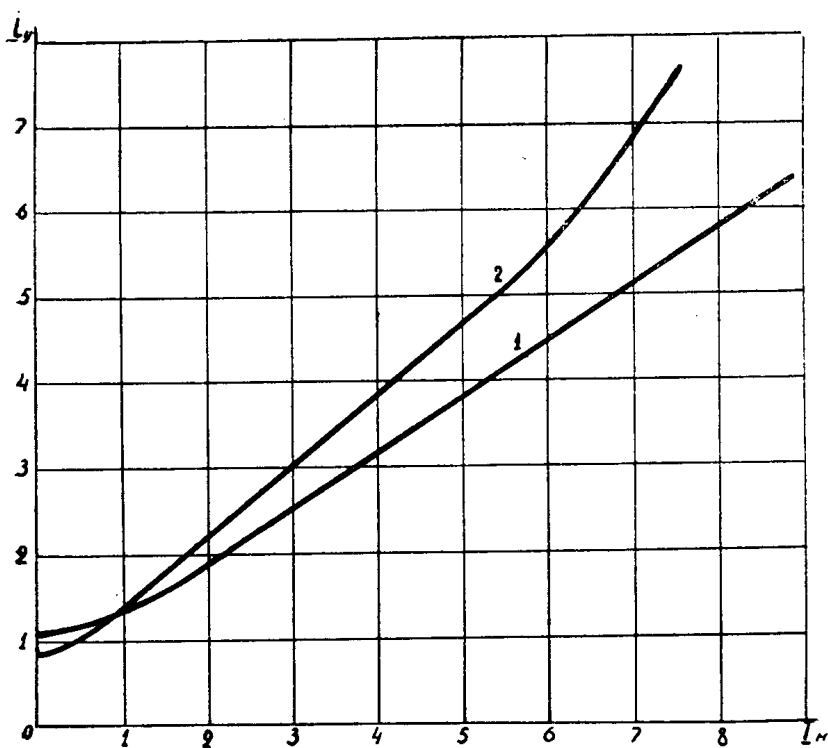


Рис. 4. Регулировочные характеристики каскада при  $f_y = 0$ .

Например, при мощности  $P = 4$  квт были получены коэффициенты усиления:

$K_y = 37$  — для обычной обмотки,

$K_y = 54$  — для схемы «зигзаг».

Особенно важно, что эти зависимости, полученные при неподвижном поле управления, остаются справедливыми и для работы каскада при вращающемся поле обмотки управления.

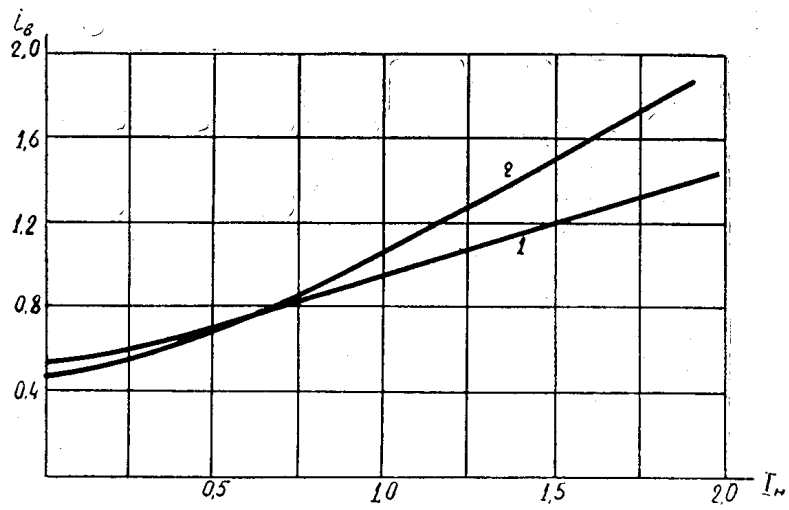
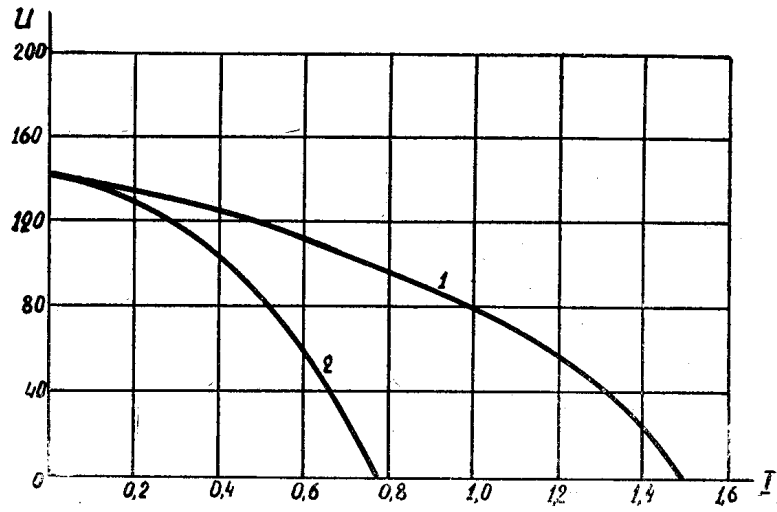
На рис. 5 представлены внешние и регулировочные характеристики каскада, снятые при частоте поля управления  $f_y = 30$  гц, что дает частоту э. д. с. в обмотке ротора  $f_p = 130$  гц. Из кривых видно, что и при регулировании частоты жесткость внешних характеристик для схемы «зигзаг» (кривая 1) значительно больше.

Следует также отметить, что при работе на емкостную нагрузку (например, при подключении компенсирующей емкости на выход каскада) обмотка, соединенная по схеме «зигзаг», ведет себя так же, как и обычная обмотка. Внешние характеристики каскада при емкостной нагрузке приведены на рис. 6.

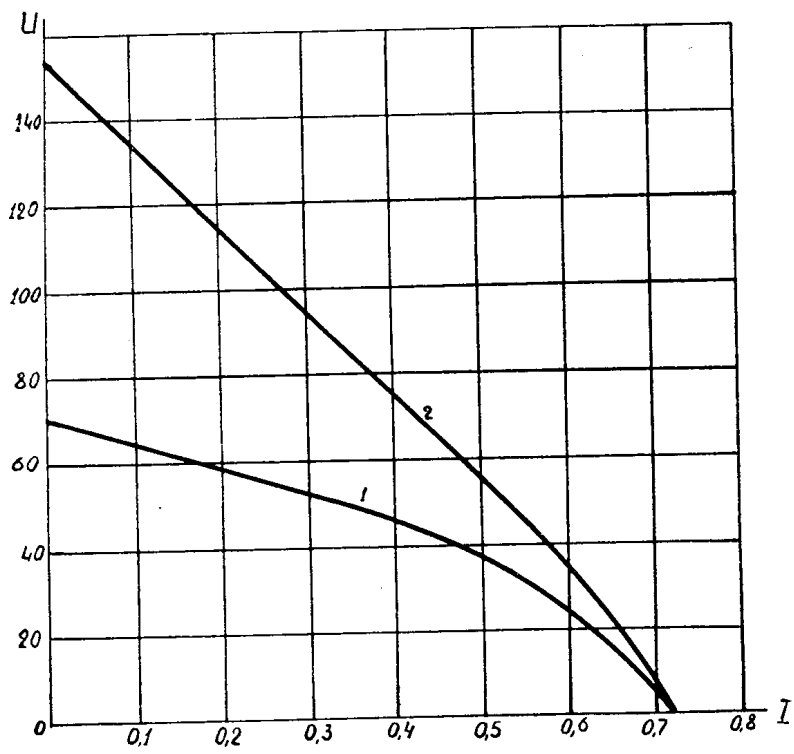
Таким образом, применение в преобразователях и усилителях совмещенного типа вместо обычной обмотки обмотки, соединенной по схеме «зигзаг», позволяет увеличить жесткость внешней характеристики каскада и уменьшить мощность управления при номинальной нагрузке, что особенно важно для машин с регулируемой частотой.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. М. П. Костенко, Л. М. Пиотровский. Электрические машины, ГЭИ, ч. II, 1958.



Р и с. 5 Внешние и регулировочные характеристики каскада при  $f_y = 30$  гц,  
 $f_p = 130$  гц.



Р и с. 6. Внешние характеристики каскада  
с обмоткой «зигзаг» при емкостной нагрузке  
и  $f_y = 30$  гц.  
1 — при  $C = 0$ .  
2 — при  $C = 15$  мкф.