

ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ БЭМУ ПОСТОЯННОГО ТОКА

А. И. Скороспешкин, Э. Н. Подборский, Е. К. Дергобузова

(Рекомендована научным семинаром кафедр электрических машин
и общей электротехники)

В настоящей статье рассматриваются вопросы выбора электромагнитных нагрузок, определения максимальной выходной мощности и максимального коэффициента усиления в бесколлекторных ЭМУ постоянного тока. Согласно [1] бесколлекторные ЭМУ постоянного тока представляют две электрические бесконтактные машины постоянного тока, совмещенные в одном магнитопроводе.

При проектировании электрических машин, совмещенных в одном магнитопроводе, важное значение имеет рациональное распределение электромагнитных нагрузок между каскадами. Причем если магнитные индукции каскадов $B_{\delta 1}$ и $B_{\delta 2}$ заданы, то линейные нагрузки должны быть вполне определенными.

Согласно основному расчетному уравнению электрической машины [2], величина D^2l , пропорциональная весу активных материалов, может быть выражена, с одной стороны, через мощность и электромагнитные нагрузки первого каскада:

$$D^2l = \frac{P_1}{\pi^2 \alpha_1 n A_1 B_{\delta 1}} = \frac{P_1}{\pi^2 \alpha_1 n (1 - c_A) \Sigma A (1 - c_B) \Sigma B_{\delta}} , \quad (1)$$

с другой — через мощность и электромагнитные нагрузки второго каскада

$$D^2l = \frac{P_3}{\pi^2 \alpha_2 n A_2 B_{\delta 2}} = \frac{P_3}{\pi^2 \alpha_2 n c_A \Sigma A c_B \Sigma B_{\delta}} . \quad (2)$$

Здесь

P_1 и P_3 — мощности соответственно выходной обмотки первого каскада W_{p1} и выходной обмотки второго каскада W_3 ;

n — скорость вращения ротора БЭМУ;

α_1 и α_2 — коэффициенты полюсной дуги обоих каскадов;

A_1 — линейная нагрузка обмотки W_{p1} в a/cm ;

A_2 — линейная нагрузка обмотки W_3 , равная линейной нагрузке обмотки компенсации, лежащей на роторе, в a/cm ;

$\Sigma A = A_1 + A_2$ — суммарная линейная нагрузка обмоток W_{p1} и W_3 ;

$B_{\delta 1}$, $B_{\delta 2}$ — магнитные индукции в воздушном зазоре магнитных полей Φ_1 и Φ_2 в $гс$;

$\Sigma B_{\delta} = B_{\delta 1} + B_{\delta 2}$ — суммарная магнитная индукция;

$c_B = \frac{B_{\delta 2}}{\Sigma B_{\delta}}$, $c_A = \frac{A_2}{\Sigma A}$ — коэффициенты, характеризующие распределение электрической и магнитной нагрузок между обмотками.

Уравнения (1) и (2) позволяют получить зависимость между коэффициентами c_A и c_B . Приравняв правые части уравнений (1) и (2), после некоторых преобразований получим

$$c_A = \frac{1 - c_B}{1 - c_B(1 - k)}, \quad (3)$$

где

$$k = \frac{P_1 \alpha_2}{P_3 \alpha_1}. \quad (4)$$

Выражение (3) аналогично уравнению в [3], но коэффициент k имеет другое содержание.

Рассмотрим, как влияет распределение электромагнитных нагрузок на мощность, коэффициент усиления и к.п.д. БЭМУ.

Согласно [2] выходная мощность БЭМУ

$$P_{\text{вых}} = \pi^2 \alpha_2 n D^2 l B_{\delta 2} A_2 = \pi^2 D^2 l \alpha_2 n \sum B_{\delta} \cdot c_B \cdot A_2. \quad (5)$$

Здесь надо учесть, что на роторе, кроме выходной обмотки первого каскада W_{p1} и компенсационной обмотки W_k , создающих линейные нагрузки A_1 и A_2 , уложена еще обмотка возбуждения второго каскада W_{p2} , которая создает свою линейную нагрузку A_{p2} .

Следовательно, суммарная линейная нагрузка, определяющая тепловое состояние машины, которой задаемся при проектировании, равна

$$\Sigma A^1 = A_1 + A_2 + A_{p2} = \Sigma A + A_{p2}.$$

Чтобы выяснить влияние коэффициентов c_A и c_B на мощность БЭМУ, необходимо выразить A_2 через ΣA^1 .

$$A_2 = c_A (\Sigma A^1 - A_{p2}).$$

Выразим магнитные индукции каскадов через линейные нагрузки обмоток возбуждения:

$$B_{\delta 1} = \frac{\lambda_1 A_y}{2 p_1 \alpha_1 l k_{\mu 1} k_{E1}}, \quad (7a)$$

$$B_{\delta 2} = \frac{\lambda_2 A_{p2}}{2 p_2 \alpha_2 l k_{\mu 2} k_{E2}}, \quad (7b)$$

где

p_1 и p_2 — число пар полюсов соответственно первого и второго каскадов;

A_y — линейная нагрузка обмотки управления;

$k_{\mu 1}$ и $k_{\mu 2}$ — коэффициенты насыщения первого и второго каскадов;

$\lambda_1 = \frac{\alpha_1 \tau_1 l}{\delta'} \mu_0$, $\lambda_2 = \frac{\alpha_2 \tau_2 l}{\delta'} \mu_0$ — проводимость воздушного зазора для потоков Φ_1 и Φ_2 .

Отношение индукций первого и второго каскадов с учетом значений λ_1 и λ_2 :

$$\frac{B_{\delta 1}}{B_{\delta 2}} = \frac{1 - c_B}{c_B} = \frac{A_y p_2 k_{\mu 2} k_{E2}}{A_{p2} p_1 k_{\mu 1} k_{E1}}.$$

Отсюда

$$A_{p2} = A_y \frac{c_B p_2 k_{\mu 2} k_{E2}}{(1 - c_B) p_1 k_{\mu 1} k_{E1}}. \quad (8)$$

Из уравнения внешней характеристики первого каскада БЭМУ [1]

$$U_2 + \frac{c_1 \lambda_1 W_{p1} I_2^2}{16 F_y} = E_2$$

получим значение A_y

$$A_y = A_1 \sqrt{\frac{k_{E1}}{2k_{E1}(k_{E1} - 1)}}. \quad (9)$$

Здесь

E_2 — эдс первого каскада;

$U_2 = \frac{E_2}{k_{E1}}$ — напряжение первого каскада;

$$c_1 = 4f_1 w_{p1},$$

F_y — н. с. обмотки возбуждения первого каскада;

I_2 — ток обмотки возбуждения второго каскада.

Подставляя (9) в (8), получим выражение для A_{p2}

$$A_{p2} = A_1 \frac{c_B k_{p2} k_{E2} p_2}{(1 - c_B) k_{p1} \sqrt{2k_{E1}(k_{E1} - 1)} \cdot P_1}. \quad (10)$$

Из (3) и (4) получим

$$A_1 = \frac{c_B k}{1 - c_B} A_2. \quad (11)$$

Окончательно с учетом (3), (6), (11) формула для A_2 примет вид

$$A_2 = \sum A' \frac{(1 - c_B)^2}{(1 - c_B)[1 - c_B(1 - k)] + c_B^2 m k}, \quad (12)$$

где

$$m = \frac{p_2 k_{p2} k_{E2}}{p_1 k_{p1} \sqrt{2k_{E1}(k_{E1} - 1)}}.$$

Подставив (12) в (15), получим формулу мощности

$$P_{\text{вых}} = \pi^2 D^2 l n \alpha_2 \sum B_\delta \sum A' \cdot \frac{c_B(1 - c_B)^2}{(1 - c_B)[1 - c_B(1 - k)] + c_B^2 m k}. \quad (13)$$

Уравнение (13) является одним из основных расчетных уравнений БЭМУ постоянного тока.

Коэффициент усиления БЭМУ

$$k_y = \frac{P_{\text{вых}}}{i_y^2 r_y}.$$

Выразив ток и сопротивление обмотки управления через удельные нагрузки и размеры машины, получим

$$k_y = \frac{P_{\text{вых}}}{\pi(l + \tau_1)D j_y A_y \rho}, \quad (14)$$

где $\tau_1 = \frac{\pi D}{2p_1}$ — полюсное деление первого каскада БЭМУ,

j_y — плотность тока в обмотке управления.

Из (7а) имеем

$$A_y = \frac{2k_{p1} k_{E1} \delta'}{p_0 \tau_1} (1 - c_B) \sum B_\delta.$$

Подставив значение A_y в (14), получим окончательное выражение для k_y

$$k_y = \frac{\pi^2 D^2 n \alpha_2 \sum A' \mu_0}{4 \rho (1 + \beta_1) p_1 j_y k_{\mu 1} k_{E1} \delta'} \cdot \frac{c_B (1 - c_B)}{(1 - c_B) [1 - c_B (1 - k)] + c_B^2 k m}, \quad (15)$$

где

$$\beta_1 = \frac{\tau_1}{l}.$$

Из уравнений (13) и (15) видно, что мощность и коэффициент усиления БЭМУ существенно зависят от распределения электромагнитных нагрузок между каскадами.

На рис. 1 и 2 представлены зависимости мощности и коэффициента усиления БЭМУ от c_B при различных k . Расчет был произведен для

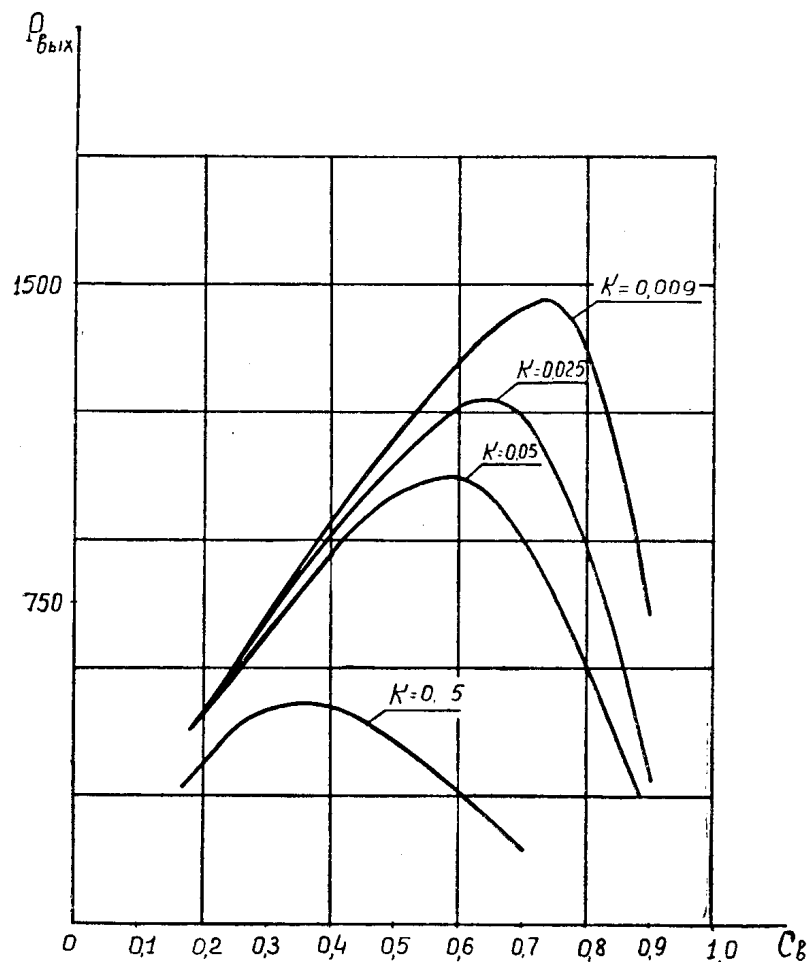


Рис. 1. Зависимость выходной мощности от c_B при различных k

БЭМУ, имеющего данные

$$D = 12,2 \text{ см},$$

$$l = 11,5 \text{ см},$$

$$\Sigma B_0 = 3200 \text{ гс},$$

$$\Sigma A' = 140 \text{ а/см},$$

$$n = 3000 \text{ об/мин},$$

$$2p_1 = 2, 2p_2 = 8$$

Как видно из рисунков, при уменьшении k мощность и коэффициент усиления БЭМУ растут, а при изменении c_B от нуля до единицы значения $P_{\text{вых}}$ и k_y изменяются от нуля до некоторого максимального значения, а затем опять при $c_B \rightarrow 1$ приближаются к нулю. Причем, значения

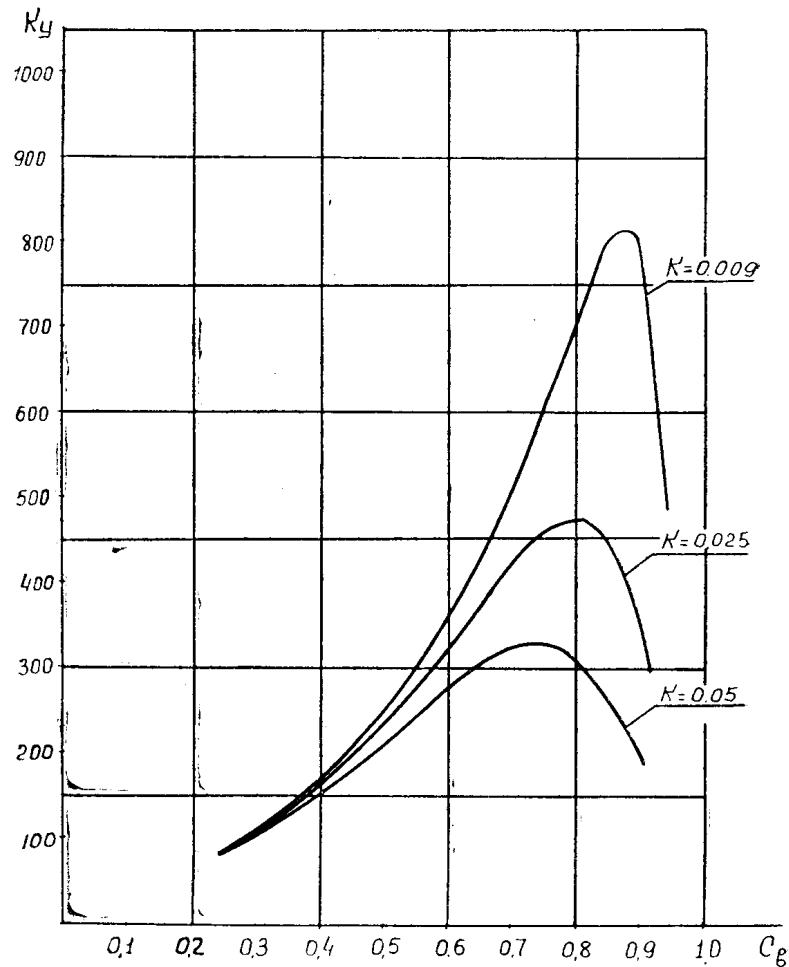


Рис. 2. Зависимость коэффициента усиления от c_p при различных k

c_p , соответствующие максимальному значению мощности и коэффициента усиления, не совпадают.

Значение величины c_p , соответствующее максимальному коэффициенту усиления при заданных значениях прочих величин, входящих в уравнение (15), может быть получено из уравнения

$$\frac{\partial k_y}{\partial c_p} = 0. \quad (16)$$

Подставив в (16) значение k_y , выраженное уравнением (15), после некоторых преобразований получим

$$c_{pm} = \frac{1 - \sqrt{mk}}{1 - mk}. \quad (17)$$

На рис. 3 в пределах возможных в БЭМУ значений k представлены зависимости $c_{pm} = f(k)$ из условия максимума коэффициента усиления (кривая 1) и из условия максимума выходной мощности (кривая 2).

При изменении k от 0,005 до 0,02 c_p , соответствующее максимальному значению коэффициента усиления, меняется в пределах 0,925—0,83.

Случаю максимальной выходной мощности при изменении k в тех же пределах соответствуют значения $c_B = 0,75—0,67$.

Таким образом, c_B следует выбирать в области, ограниченной кривыми 1 и 2 на рис. 3, либо исходя из требования максимального коэффициента усиления, либо максимальной мощности.

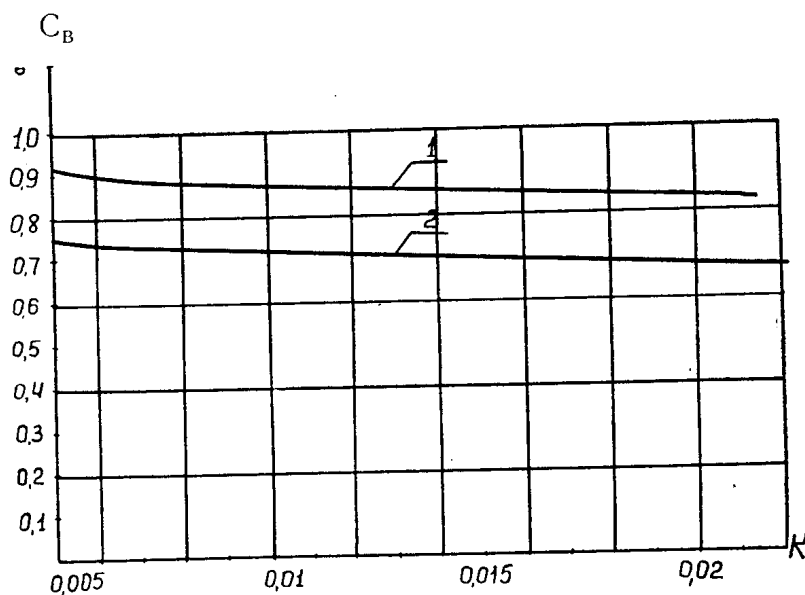


Рис. 3

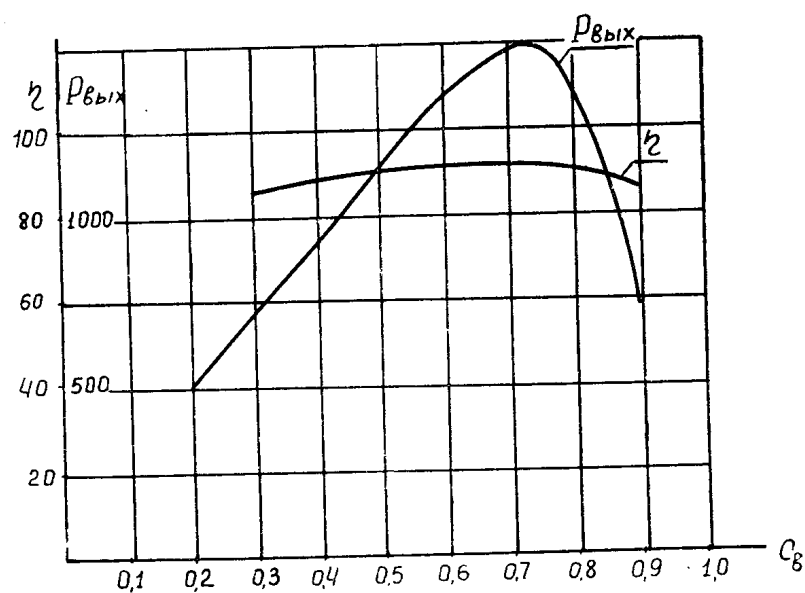


Рис. 4. Зависимость $\eta = f(c_B)$ и $P_{\text{вых}} = f(c_B)$ при $k = 0,009$

На рис. 4 представлена зависимость к.п.д. в функции от c_B для $k = 0,009$, максимум которой совпадает с максимумом выходной мощности, что соответствует известному положению о совпадении оптимума по объему и к.п.д. [3].

Таким образом, в результате проведенных исследований

1) получены соотношения s_A и s_B , позволяющие учесть наиболее рациональное распределение электромагнитных нагрузок с учетом особенности БЭМУ постоянного тока;

2) показано, что распределение электромагнитных нагрузок между каскадами существенно влияет на мощность и коэффициент усиления БЭМУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Э. Н. Подборский. Разработка и исследование бесколлекторного электромашиного усилителя постоянного тока. Диссертация, Томск, 1968.

2. И. М. Постников. Проектирование электрических машин. Гостехиздат СССР, 1956.

3. В. Новокшенов. Исследование асинхронного бесщеточного преобразователя частоты. Диссертация, Томск, 1960.
