

## ВЫБОР СООТНОШЕНИЙ МЕЖДУ ОСНОВНЫМИ РАЗМЕРАМИ ЭЛЕКТРОМАГНИТА ПОСТОЯННОГО ТОКА МИНИМАЛЬНОГО ВЕСА

А. В. КУРНОСОВ

(Представлена научным семинаром кафедр электрических машин  
и общей электротехники)

Для электромагнитов, работающих на воздушном и наземном транспорте, в различных передвижных устройствах, весьма актуальными являются требования уменьшения их габаритов и весов. Подход к удовлетворению этих требований может быть различным в зависимости от условий, предъявляемых к электромагнитному механизму. Однако в большинстве случаев основные размеры целесообразно выбирать таким образом, чтобы отношение механической работы, совершаемой электромагнитом, к весу его активных материалов было максимальным.

Разнообразие существующих конструкций, электромагнитов не позволяет учесть все особенности каждого типа. Рассмотрим соотношения между основными геометрическими размерами применительно к электромагниту клапанного типа (рис. 1). Примем следующие допущения:

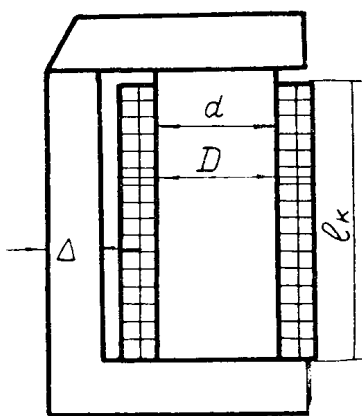


Рис. 1. Эскиз электромагнита.

сечение стали вдоль длины магнитопровода постоянно; в непритянutom положении якоря электромагнита сталь ненасыщена; когда якорь электромагнита притянут, вся н. с. обмотки расходуется на проведение магнитного потока через магнитопровод; после срабатывания электромагнита его обмотка длительно находится под током и достигает установившейся температуры нагрева; ток в обмотке во время движения якоря остается неизменным. Работа, совершаемая якорем электромагнита, пропорциональна площади, ограниченной кривой потокосцеплений, построенными для двух крайних положений якоря (притянутое и непритянутое) и прямой установившегося значения тока (рис. 2) [1].

Сделав преобразование общих выражений, описывающих работу электромагнитов постоянного тока, применительно к электромагниту клапанного типа таким же образом, как это было сделано для цилиндрического электромагнита [1], найдем выражение механической работы рассматриваемого электромагнита:

$$W_M = \frac{KV_c \sqrt{S_0 V_0}}{l_{clM}} \quad (1)$$

где

$$K = \frac{K_H (R + B_H) - K_B \sigma_p B_{\mu T}}{2} \sqrt{K_0},$$

$$\sigma_p = \frac{1 + 2\sigma}{3} \text{ — приведенный коэффициент рассеяния для электро-}$$

магнитного клапанного типа;

$\sigma$  — коэффициент рассеяния электромагнита клапанного типа [2];

$$K_H, B, B_H, B_{\mu T}, K_0 \text{ [1];}$$

$$V_c = Q_c l_c \text{ — объем стали магнитопровода;}$$

$$Q_c = \frac{\pi}{4} D^2 X^2 \text{ — сечение магнитопровода; } X = \frac{d}{D};$$

$$l_c = D \left( \frac{3\pi}{4} X^2 + 2Y + 1 \right) \text{ — средняя длина магнитопровода;}$$

$$Y = \frac{l_k}{D}; V_0 = Q_0 l_m \text{ — объем обмотки;}$$

$$Q_0 = D^2 \cdot Y \cdot \frac{1 - X}{2} \text{ — сечение обмотки;}$$

$$l_m = \frac{\pi}{4} D (1 + X) \text{ — средняя длина витка;}$$

$$S_0 = D^2 \left[ \pi (Y + X^2) + \left( 1 + \frac{\pi}{2} X^2 (1 + \pi X^2 + X + Y) \right) \right]$$

— теплоотдающая поверхность электромагнита, которая складывается из внешней поверхности магнитопровода и внешней боковой поверхности катушки. Поверхностями фланцев катушки пренебрегаем.

$K_B = \frac{G_{\mu \delta}}{G_{\mu T}}$  — коэффициент, учитывающий выпучивание магнитных

силовых линий. На рис. 2. представлены экспериментальные кривые зависимости  $K_B$  от угла поворота якоря  $\varphi$ . Как видно из кривых, величина  $K_B$  весьма незначительно изменяется в пределах оптимальных значений

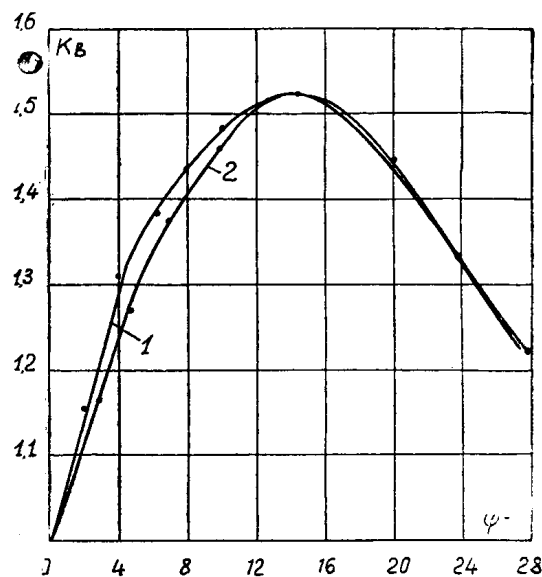


Рис. 2. Зависимость коэффициента выпучивания от угла поворота якоря  $\varphi$ .  
1 — для  $X = 0,7$ ; 2 — для  $X = 0,6$ .

Х. Кроме того, эксперимент показал, что  $K_B$  не зависит от величины  $Y$ .

$G_{p,d}$  — проводимость магнитному потоку в рабочем воздушном зазоре,

$G_{p,t}$  — проводимость магнитному потоку выходящему из торца сердечника в рабочем воздушном зазоре.

Для нахождения соотношений  $X$  и  $Y$ , соответствующих электромагниту минимального веса при совершении им определенной механической работы, поделим [1] на суммарный вес активных материалов:

$$\frac{W_M}{G} = \frac{KV_c \sqrt{V_0 S_0}}{I_M l_c G} \quad (2)$$

Вес активных материалов, приведенный к весу электропровода, можно выразить, как

$$G = \gamma_3 (K_B V_0 + \epsilon V_c), \quad (3)$$

$$\text{где } \epsilon = \frac{\gamma_c}{\gamma_3},$$

$\gamma_c$  — удельный вес единицы объема стали;

$\gamma_3$  — удельный вес единицы объема электропровода;

$K_3$  — коэффициент заполнения обмотки проводом.

Выразив в правой части выражения (2) все геометрические параметры через соотношения  $X$  и  $Y$  и перенеся в левую часть все абсолютные параметры, получим

$$\begin{aligned} & \frac{W_M}{K \sqrt{\frac{D}{\pi} (K_3 V_0 + \epsilon V_c)}} = \\ & = \frac{X^2 \sqrt{\frac{\left[ \pi(Y + X^2) + \left(1 + \frac{\pi}{2} X^2\right) (1 + \pi X^2 + X + Y) \right] Y(1 - X)}{1 + X}}}{K_3 Y (1 - X^2) + \epsilon X^2 (2,36X^2 + 2Y + 1)}, \quad (4) \end{aligned}$$

Правая часть выражения (4) представляет собой геометрический фактор  $\Gamma_B(X, Y)$ , характеризующий собой геометрию электромагнита относительно механической работы, приходящейся на единицу веса активных материалов. На рис. 3 представлены кривые  $\Gamma_B(X, Y)$  для медного провода и  $K_3 = 0,6$  в функции  $X$  и  $Y$ . Оптимальные значения  $X$  находятся в пределах  $(0,5 \div 0,6)$ , за оптимальное значение  $Y$  рекомендуется принимать  $(1,5 \div 3)$ . Анализ  $\Gamma_B(X, Y)$  в функции  $K_3$  показывает, что при уменьшении  $K_3$  оптимум значения  $X$  смещается влево; так при  $K_3 = 0,3$  —  $X = (0,4 \div 0,5)$  при неизменном оптимальном значении  $Y$ ; при  $K_3 = 0,7$  —  $X = (0,55 \div 0,7)$ . Исследование  $\Gamma_B(X, Y)$  относительно  $\gamma_3$  показывает, что, чем легче материал электропровода по сравнению с медным, тем больше оптимальное значение  $X$  смещается влево, и, наоборот, при неизменном оптимальном значении  $Y$ .

Исходя из выражения (4) базовый размер может быть найден, как

$$D = \sqrt[7]{\frac{\pi W_M^2}{K^2 [\Gamma_B(X, Y)]^2 b^2}}, \quad (5)$$

здесь

$$b = \frac{\pi}{4} \left[ K_3 (1 - X^2) Y + \epsilon X^2 (2,36X^2 + 2Y + 1) \right].$$

Остальные значения геометрических величин электромагнита определяются по базовому размеру  $D$  и основным соотношениям  $X$  и  $Y$ .

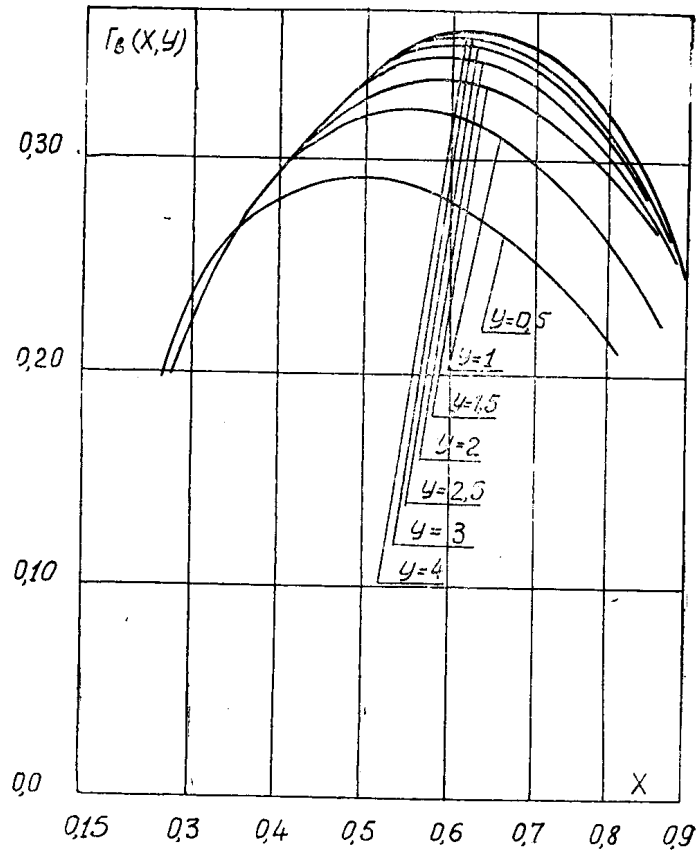


Рис. 3. Зависимость геометрического фактора от соотношений между основными размерами.

### Выводы

1. Соотношения основных геометрических размеров, соответствующие электромагниту минимального веса, находятся в непосредственной зависимости от  $K_3$  и  $\gamma_3$  и должны выбираться на основании опыта изготовления катушек при известных  $K_3$  и  $\gamma_3$ .

2. Оптимальные значения  $X$ , соответствующие максимуму  $\Gamma_B(X, Y)$  для медного электропровода, находятся в пределах  $(0,5 \div 0,65)$ , оптимальные значения  $Y$  в этом случае рекомендуется принимать в пределах  $(1,5 \div 3)$ .

3. Габариты и вес электромагнита будут меньше у той электромагнитной системы, у которой  $X$  и  $Y$  будут оптимальными.

### ЛИТЕРАТУРА

1. А. В. Курносов. Наивыгоднейшие соотношения между основными размерами электромагнитов постоянного тока цилиндрического типа, Известия ТПИ, т. 160, 1966.

2. Ф. А. Ступель. Расчет и конструкция электромагнитных реле, Госэнергоиздат, 1950.