

ВЫРАЖЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ТОКА ФЕРРОМАГНИТНЫХ УСТРОЙСТВ

В. П. ОБРУСНИК, Г. А. ХАЙДУРОВА

(Представлена научно-техническим семинаром НИИ АЭМ)

При расчетах ферромагнитных устройств (ФУ) плотность тока стараются выбирать максимальной, так как это всегда приводит к уменьшению удельно-экономического показателя (веса, габаритов и стоимости на единицу мощности). Наиболее существенным ограничением ее предельных значений является допустимый перегрев катушек, который тесно связан со многими физическими и геометрическими параметрами ФУ. Ниже приводятся выражения, позволяющие рассчитывать плотность тока оптимально. Получены они на основе классических формул:

а) для температуры перегрева катушек ФУ [1, 2]

$$\Delta\tau_k = j^2 \cdot \frac{\rho_k \cdot K_{3k} \cdot V_k}{\sigma_k \cdot \Pi_{ок}}; \quad (1)$$

б) для температуры перегрева сердечников [1, 2]

$$\Delta\tau_c = B^2 \left(\frac{f_1}{50} \right)^{1,5} \cdot \frac{g_c \cdot K_{3c} \cdot \rho_c \cdot V_c}{\sigma_c \cdot \Pi_{ос}}. \quad (2)$$

в) для объемов катушек и сердечников [3, 4]

$$V_k = \frac{D_0^3}{4 \sqrt{B^3 \cdot j^3}} \cdot l_k \sqrt{\frac{x \cdot z}{y \cdot K_0}}. \quad (3)$$

$$V_c = \frac{D_0^3}{4 \sqrt{B^3 \cdot j^3}} \cdot \frac{l_c}{\sqrt{\frac{x \cdot z}{y \cdot K_0}}}, \quad (4)$$

где

$$D_0 = \sqrt[4]{\frac{P_{гф}}{4 \cdot K_f \cdot n_k \cdot K_{3c} \cdot K_{3k} \cdot f_1}}; \quad (5)$$

г) для поверхностей охлаждения катушек и сердечников [3, 4]

$$\Pi_{ок} = \frac{D_0^2}{\sqrt{B \cdot j}} \cdot \sqrt[4]{\frac{z + \frac{x}{K_0}}{x \cdot z \cdot y}} \cdot 2 \cdot l_k \cdot \varphi_{пк}, \quad (6)$$

$$\Pi_{oc} = \frac{D_0^2}{V \cdot B \cdot j} \cdot \frac{1+y}{\sqrt[4]{\frac{x \cdot z \cdot y}{K_0}}} \cdot 2 \cdot l_c \cdot \varphi_{nc} \quad (7)$$

В выражениях (1) — (7) и далее приняты обозначения:

B, j — индукция и плотность тока;

$\rho_k, \sigma_k, V_k, \Pi_{ок}, k_{зк}$ — удельное сопротивление, коэффициент теплоотдачи, объем, поверхность охлаждения и коэффициент заполнения активных материалов катушек ФУ;

$\rho_c, g_c, \sigma_c, V_c, \Pi_{ос}, k_{зс}$ — удельные потери в стали (при частоте 50 гц), удельный вес, коэффициент теплоотдачи, объем, поверхность охлаждения и коэффициент заполнения магнитопровода ФУ;

l_c, l_k — относительная длина сердечников и катушек [4] далее сокращается;

f_1, k_f — частота и коэффициент формы сетевого напряжения;

$P_{гф}$ — габаритная мощность одной фазы ФУ;

$\varphi_{пк}, \varphi_{пс}$ — коэффициенты относительной поверхности охлаждения катушек и сердечников, величины безразмерные [4];

n_k — число катушек обмотки переменного тока, подключаемой к сети;

k_0 — коэффициент, показывающий, во сколько раз окно магнитопровода ФУ шире толщины одной катушки первичной обмотки, например, для БТ $k=2,5 \div 3,3$; для $k_0=5 \div 5,5$ и т. д.

x, y, z — геометрические соотношения размеров ФУ.

$x = \frac{c}{a}, z = \frac{h}{a}, y = \frac{b}{a}$ для прямоугольного сечения;

$x = \frac{c}{d_0}, z = \frac{h}{d_0}, y = 1$ для ступенчатых сечений,

где a, b, d_0 — ширина, толщина или средний диаметр главного сердечника магнитопровода,

h, c — высота и ширина окна магнитопровода.

Совместное решение (1—7) позволяет получить для ФУ до 10 кВа., работающих на частоте 50 ÷ 100 гц, когда индукцию можно выбирать максимальной на колене насыщения кривой намагничивания:

$$j = \sqrt[7]{\left(\frac{\sigma_k \cdot \Delta \tau_k}{\rho_k \cdot K_{зк}}\right)^4 \cdot \frac{B}{P_{гф}} \cdot 4 K_f \cdot f_1 \cdot K_{зс} \cdot K_{зк} \cdot n_k (2 \varphi_{пк})^4 \cdot \frac{z \cdot y \cdot K_0^3}{x^3}}, \quad (8)$$

для ФУ всех мощностей выше 10 кВа, работающих на повышенной частоте (от 100 гц и выше):

$$j = \sqrt[12]{\left(\frac{\sigma_k \cdot \Delta \tau_k}{\rho_k \cdot K_{зк}}\right)^7 \cdot \frac{\sigma_c \cdot \Delta \tau_c \cdot K_{зс}}{\rho_c \cdot g_c} \cdot \left(\frac{50}{f_1}\right)^{1,5} \cdot \left(\frac{4 K_f \cdot K_{зк} \cdot n_k \cdot f_1}{P_{гф}}\right)^2 \cdot \frac{z^2 \cdot y \sqrt{y \cdot K_0^5}}{x^5} \cdot \sqrt{y^{\pm 1}} (2 \varphi_{пк})^7 \cdot 2 \varphi_{пс}} \quad (9)$$

Здесь индукцию тоже приходится рассчитывать:

$$B = \sqrt[12]{\frac{\sigma_k \cdot \Delta \tau_k \cdot K_{зк}}{\rho_k \cdot P_{гф}^2} (4 K_f \cdot K_{зс} \cdot n_k f_1)^2 \left[\frac{\sigma_c \cdot \Delta \tau_c}{\rho_c \cdot K_{зс} \cdot g_c} \cdot \left(\frac{50}{f_1}\right)^{1,5} \right]^7 \cdot 2 \varphi_{пк} (2 \varphi_{пс})^7 \cdot \frac{x \cdot z^2}{\sqrt{y^3 \cdot K_0^2}} \sqrt{y^{\pm 1}}} \quad (10)$$

Выражения (8, 9) дают полную информацию о связи плотности тока ФУ со всеми его параметрами, позволяют вести достаточно точные расчеты, анализировать и синтезировать эти расчеты.

В заключение отметим основные свойства плотности тока ФУ, вытекающие из (8, 9).

1. Наиболее существенно плотность зависит от допустимой температуры перегрева, коэффициента теплоотдачи, удельного сопротивления и коэффициента заполнения катушек.

2. С увеличением толщины катушек она уменьшается примерно пропорционально $1/\sqrt{x}$.

3. Эффективно влияет на плотность тока поверхность охлаждения, поэтому всегда следует добиваться участия в охлаждении всех участков катушек, вводить дополнительные охлаждающие каналы и т. д.

4. Плотность тока медленно, но уменьшается с увеличением мощности ФУ и незначительно увеличивается с увеличением частоты напряжения питающей сети.

ЛИТЕРАТУРА

1. Р. Х. Бальян. Трансформаторы малой мощности. Л., Судпромгиз, 1961.
 2. И. И. Белопольский, Л. Г. Пикалова. Расчет трансформаторов и дросселей малой мощности. М., Госэнергоиздат, 1963.
 3. В. П. Обрусник, В. Г. Киселев. Вопросы оптимальной геометрии подмагничиваемых трансформаторов. Доклады VI научно-технической конференции по вопросам автоматизации производства. Изд-во ТГУ, Томск, 1969.
 4. В. П. Обрусник. Теория оптимальной геометрии ферромагнитных устройств. Техотчет НИИ АЭМ, № гр. Б153278.
-