

О ПРЕДЕЛЬНОЙ МОЩНОСТИ СГЛАЖИВАЮЩИХ ДРОССЕЛЕЙ С ЛИНЕЙНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКОЙ

Л. И. ПИЛЕЦКИЙ, И. Д. КУТЯВИН

В статье исследуется влияние основных геометрических размеров сглаживающих дросселей на их максимальную мощность. Рассматриваемый дроссель имеет линейную характеристику (воздушный зазор равен высоте окна сердечника).

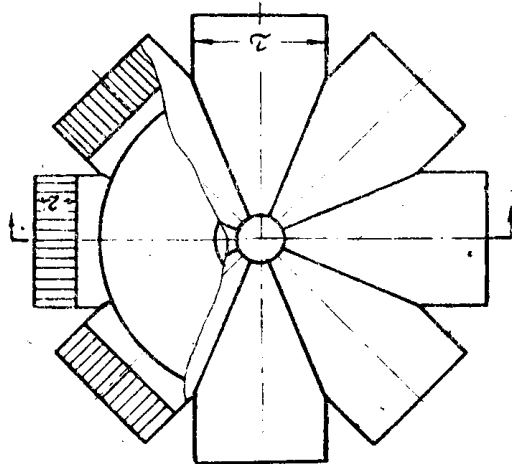
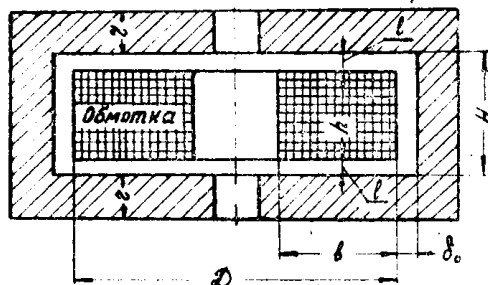


Рис. 1

Конструкция магнитной системы дросселя напоминает полую многогранную призму, набранную из [-образных пакетов, выполненных радиальной шихтовкой трансформаторной стали (рис. 1). Внутри расположена обмотка. Такая конструкция позволяет максимально уменьшить добавочные потери в баке и обжимном устройстве от пульсирующего потока.

Взаимосвязь между электрическими параметрами и геометрическими размерами дросселя.

Энергия, запасенная в дросселе:

$$W_{др} = L \cdot \frac{I^2}{2}, \quad (1)$$

где I — постоянная составляющая тока, протекающая через дроссель, а;

L — индуктивность дросселя, гн;

$$L = \frac{B_c \cdot q_c w}{I}; \quad (2)$$

B_c — индукция в стали, гс;

w — число витков обмотки дросселя;

q_c — площадь сечения стали внешнего яра.

Рассматриваемый случай идеализируем, полагая, что магнитный поток проходит только по стали. Поэтому

$$\Phi_{\text{стали}} = \Phi_{\text{зазора}}$$

или

$$q_c = \frac{B_{\text{заз}} \cdot q_{\text{заз}}}{B_c}, \quad (3)$$

где $B_{\text{заз}}$ и $q_{\text{заз}}$ — индукция и сечение в воздушном зазоре. Тогда типовая мощность дросселя в *кВа*:

$$S = \omega L \frac{I^2}{2} = \frac{\omega}{2} \cdot B_c \cdot q_c \cdot \Delta \cdot q_m \cdot 10^{-11}, \quad (4)$$

где ω — частота питающей сети;

q_m — площадь сечения материала обмотки.

Сечение стали q_c можно выразить через геометрические размеры

$$q_c = \kappa_c \cdot n \cdot r \cdot \tau = \kappa_c \cdot n \cdot r \cdot D \cdot \text{tg} \frac{180^\circ}{n}, \quad (5)$$

так как

$$\tau = D \cdot \text{tg} \frac{180^\circ}{n}.$$

В выражении (5)

n — число пакетов расщепленного сердечника в пределах $= 6 \div 12$;

κ_c — коэффициент заполнения стали ярма;

r — радиальный размер пакета сердечника, *см*;

D — наружный диаметр обмотки, *см*;

Индукция в воздушном зазоре при его длине, равной H ,

$$B_{\text{заз}} = \frac{0,4\pi \cdot I \cdot w}{H} = \frac{0,4\pi \cdot \Delta \cdot q_m}{H}. \quad (6)$$

Площадь сечения материала обмотки выражается через геометрические размеры в следующем виде:

$$q_m = \frac{\kappa_0 \cdot b \cdot x \cdot y \cdot h}{(x + i) \cdot (y + \delta)}, \quad (7)$$

здесь κ_0 — коэффициент, учитывающий наличие осевых каналов охлаждения в катушке через каждые $8 \div 10$ *см* (см. рис. 2),

$$\kappa_0 = \frac{b_1}{b_1 + v}, \quad (8)$$

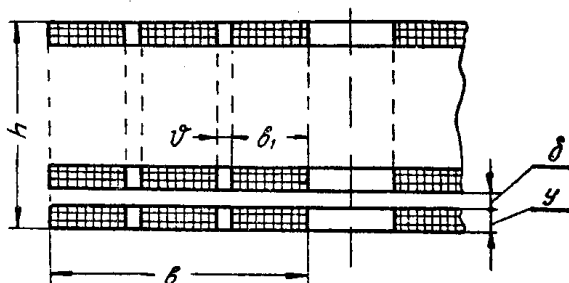


Рис. 2

b — радиальная ширина одной стороны обмотки, *см*;

x — радиальный размер меди элементарного проводника, *см*;

i — толщина изоляции на две стороны проводника, *см*;

y — осевой размер меди проводника, *см*;

δ — осевое расстояние между (алюминием) медью соседних катушек, включающее ширину радиального охлаждающего канала, *см*;

h — осевая высота обмотки.

Приведенная к среднему витку обмотки площадь воздушного зазора с учетом осевых каналов охлаждения

$$q_{\text{зав}} = \frac{\pi}{4} \cdot (D - b)^2. \quad (9)$$

Пренебрегая увеличением активного сопротивления обмотки от переменной составляющей тока, протекающего через дроссель, составим уравнение теплового баланса катушки на один погонный сантиметр среднего витка:

$$2\varepsilon \left[\kappa_b \cdot \kappa_0 \cdot b + \kappa_y \cdot y \frac{b}{b_1 + v} \right] = \rho \cdot \Delta^2 \cdot \frac{\kappa_0 \cdot b \cdot x \cdot y}{(x + i)} \quad (10)$$

или

$$2\varepsilon \left(\kappa_b + \kappa_y \cdot y \frac{1}{b_1} \right) = \rho \cdot \Delta^2 \frac{xy}{(x + i)},$$

где ε — плотность теплового потока с поверхности обмотки, вт/см^2 ; κ_b и κ_y — коэффициенты, учитывающие закрытые части поверхностей b и y изоляционными деталями;

ρ — удельное сопротивление материала обмотки при расчетной температуре, $\text{см} \cdot \text{см}$;

Обозначим $\frac{2\varepsilon \cdot \kappa_y}{\rho} = \alpha$, $\frac{\kappa_b}{\kappa_y} = \kappa_n$,

тогда плотность тока Δ из (10)

$$\Delta = \sqrt{\frac{\alpha \cdot (x + i)}{x \cdot y} \left(\kappa_n + \frac{y}{b_1} \right)}. \quad (11)$$

Подставив (6), (7) и (11) в (3) и решая (3) совместно с (5) относительно r , определим

$$r = \frac{0,1 \cdot \pi^2 \cdot \Delta \cdot q_m \cdot (D - b)^2}{H \cdot B_c \cdot \kappa_c \cdot n \cdot D \cdot \text{tg} \frac{180^\circ}{n}}. \quad (12)$$

А выражение (5) примет вид

$$q_c = \frac{0,1 \cdot \pi^2 \cdot \Delta \cdot q_m \cdot (D - b)^2}{H \cdot B_c}. \quad (13)$$

После подстановки (7), (11), (13) в (4) мощность дросселя выразится через его геометрические размеры:

$$S = K \frac{\kappa_0^2 \cdot b^2 \cdot h^2 \cdot x \cdot y \cdot (D - b)^2}{H(x + i)(y - \delta)^2} \left(\kappa_n + \frac{y}{b_1} \right). \quad (14)$$

Здесь $K = \pi^3 \cdot f \cdot \alpha \cdot 10^{-12}$.

Мощность дросселя (14) является функцией пяти переменных D, h, b, x, y . С увеличением D, h и x мощность увеличивается не имея максимума. А переменные b и y влияют на рост мощности по-иному. С ростом переменных b и y мощность возрастает, достигает максимального значения и затем уменьшается.

Для определения значений b и y , при которых мощность достигает максимума, воспользуемся условием

$$\frac{\partial S}{\partial b} = 0 \quad \text{и} \quad \frac{\partial S}{\partial y} = 0,$$

$$\frac{\partial S}{\partial b} = 2b(D-b)^2 - 2b \cdot (D-b) = 0, \quad (15)$$

$$\frac{\partial S}{\partial y} = \frac{\left[\kappa_n + 2 \frac{y}{b_1} \right] (y + \delta) - 2y \cdot \left(\kappa_n + \frac{y}{b_1} \right)}{(y + \delta)^3} = 0. \quad (16)$$

Решая (15) и (16), определим оптимальные b_0 и y_0 :

$$b_0 = \frac{D}{2}, \quad (17)$$

$$y_0 = \frac{\kappa_n \cdot b_1 \cdot \delta}{\kappa_n \cdot b_1 - 2\delta}. \quad (18)$$

Анализируя выражение (14), можно заметить, что мощность имеет слабую зависимость от радиального размера проводника и возрастает с его увеличением.

В табл. 1 показано влияние b_1 на мощность дросселя при следующих значениях остальных переменных и постоянных, входящих в [14]: $y=y_0$; $b=100$ см; $D=200$ см; $h=40$ см; $H=h+2l=60$ см; $\delta=1$ см; $v=1$ см; $n=8$; $K=2,1 \cdot 10^{-4}$; $\varepsilon=0,16$ Вт·см²; $\kappa_n=0,7$; $\kappa_y=0,9$ и $\rho=2,14 \cdot 10^{-6}$ Ом·см.

Таблица 1

b_1 , см	5	8	9	10
κ_0 из (8)	0,834	0,89	0,9	0,91
y , см из (18)	2 055	1,47	1,4	1,345
S , кВа из (14)	$1,02 \cdot 10^5$	$1,03 \cdot 10^5$	$1,03 \cdot 10^5$	$1,035 \cdot 10^5$

При проектировании дросселя на заданную мощность размер D можно определить из (14), а для определения h необходимо какое-либо дополнительное условие, например условие минимума веса активных материалов или минимума расчетных затрат. Так как ширина обмотки из (17) $b_0 = \frac{D}{2}$ не технологична, необходимо принять $b < \frac{D}{2}$.

На рис. 3 показано влияние ширины обмотки дросселя на его мощность. За 100% принята мощность дросселя при $b = \frac{D}{2}$. Из

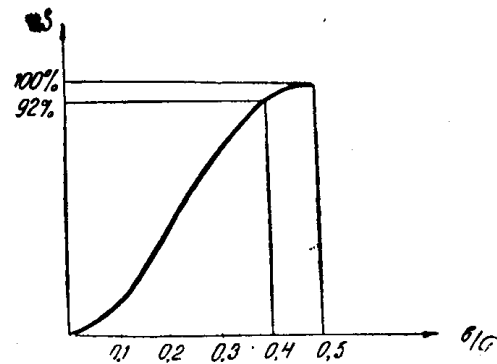


Рис. 3

графика видно, что мощность дросселя уменьшается незначительно при $b = (0,4 \div 0,45) D$.