ИЗВЕСТИЯ
ТОМСКОГО ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА имени С. М. КИРОВА

Том 179 1968

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).

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.

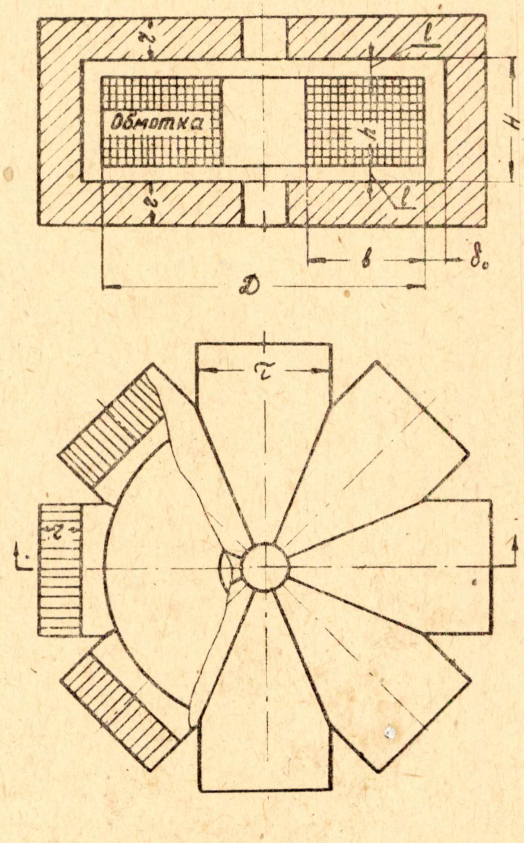

Рис. 1

Взаимосвязь между электрическими параметрами и геометрическими размерами дросселя.

Энергия, запасенная в дросселе:

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

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

L — индуктивность дросселя, *гн*;

$$L = \frac{B_{\text{c}} \cdot q_{\text{c}} w}{I}; \qquad (2)$$

B_{c} — индукция в стали, *гс*;

w — число витков обмотки дросселя;

q_{c} — площадь сечения стали внешнего ярма.

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

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

или

$$q_c = \frac{B_{\text{заз}} \cdot q_{\text{заз}}}{B_c}, \tag{3}$$

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

$$S = \omega L \frac{I^2}{2} = \frac{\omega}{2} \cdot B_c \cdot q_c \cdot \Delta \cdot q_м \cdot 10^{-11}, \tag{4}$$

где ω — частота питающей сети;

$q_м$ — площадь сечения материала обмотки.

Сечение стали q_c можно выразить через геометрические размеры

$$q_c = \kappa_c \cdot n \cdot r \cdot \tau = \kappa_c \cdot n \cdot r \cdot D \cdot \operatorname{tg} \frac{180^\circ}{n}, \tag{5}$$

так как

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

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,

$$B_{\text{заз}} = \frac{0{,}4\pi \cdot I \cdot w}{H} = \frac{0{,}4\pi \cdot \Delta \cdot q_м}{H}. \tag{6}$$

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

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

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

$$\kappa_0 = \frac{b_1}{b_1 + v}, \tag{8}$$

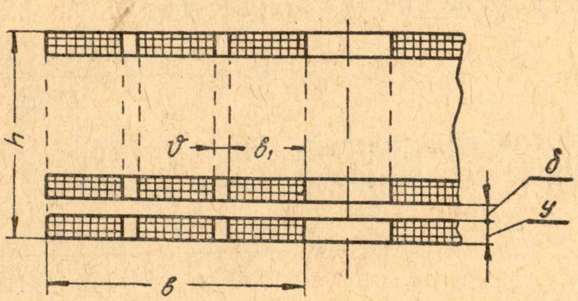

Рис. 2

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

$$q_{зaз} = \frac{\pi}{4} \cdot (D - b)^2. \tag{9}$$

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

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

или

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

где ε — плотность теплового потока с поверхности обмотки, *вт/см²*;
$\kappa_в$ и $\kappa_у$ — коэффициенты, учитывающие закрытые части поверхностей b и y изоляционными деталями;
ρ — удельное сопротивление материала обмотки при расчетной температуре, *ом·см*;

Обозначим $\frac{2\varepsilon \cdot \kappa_у}{\rho} = \alpha$, $\frac{\kappa_в}{\kappa_у} = \kappa_п$,

тогда плотность тока Δ из (10)

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

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

$$r = \frac{0{,}1 \cdot \pi^2 \cdot \Delta \cdot q_м \cdot (D - b)^2}{H \cdot B_с \cdot \kappa_с \cdot n \cdot D \cdot \mathrm{tg} \frac{180^\circ}{n}}. \tag{12}$$

А выражение (5) примет вид

$$q_с = \frac{0{,}1 \cdot \pi^2 \cdot \Delta \cdot q_м \cdot (D - b)^2}{H \cdot B_с}. \tag{13}$$

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

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

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

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

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

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

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

$$b_0 = \frac{D}{2}, \tag{17}$$

$$y_0 = \frac{\kappa_п \cdot b_1 \cdot \delta}{\kappa_п \cdot b_1 - 2\delta}. \tag{18}$$

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*; $n = 8$; $K = 2{,}1\cdot10^{-4}$; $\varepsilon = 0{,}16$ *вт/см*^{2}; $\kappa_в = 0{,}7$; $\kappa_у = 0{,}9$ и $\rho = 2{,}14\cdot10^{-6}$ *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)	$1{,}02\cdot10^5$	$1{,}03\cdot10^5$	$1{,}03\cdot10^5$	$1{,}035\cdot10^5$

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) $b_0 = \dfrac{D}{2}$ не технологична, необходимо принять $b < \dfrac{D}{2}$.

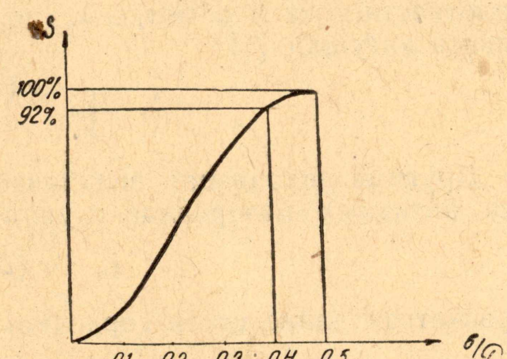

Рис. 3

На рис. 3 показано влияние ширины обмотки дросселя на его мощность. За 100% принята мощность дросселя при $b = \dfrac{D}{2}$. Из графика видно, что мощность дросселя уменьшается незначительно при $b = (0{,}4 \div 0{,}45)\ D$.