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

Том 179 1969

ИССЛЕДОВАНИЕ СГЛАЖИВАЮЩИХ ДРОССЕЛЕЙ ПАНЦИРНОГО ТИПА НА МИНИМУМ ВЕСА ПРИВЕДЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ, ОТНЕСЕННОГО К ЕДИНИЦЕ МОЩНОСТИ

И. Д. КУТЯВИН, Л. И. ПИЛЕЦКИЙ

Расход приведенных активных материалов на единицу мощности при проектировании и изготовлении сглаживающих дросселей играет существенную роль и зависит от выбора основных геометрических размеров. В настоящей статье делается попытка вывести некоторые рекомендации по наивыгоднейшему расходу материалов на единицу мощности дросселя.

Исследуемый дроссель имеет воздушный зазор, равный высоте окна сердечника. Магнитная система дросселя расщеплена на $n = 6 \div 12$. [-образных пакетов, охватывающих обмотку со всех сторон. Считается, что магнитный поток проходит только по стали и замыкается по воздушному зазору.

Исходными служат выражение мощности дросселя [1]:

$$S = K \frac{\kappa_0^2 b h^2 x y P (D - b)^2}{b_1 H (x + i)(y + \delta)^2} \qquad (1)$$

и плотности тока в обмотке Δ, полученное из уравнения теплового баланса катушки [1]:

$$\Delta = \sqrt{\frac{\alpha (x + i) P}{x y b_1}}. \qquad (2)$$

Другими исходными величинами для определения приведенного веса активных материалов служат длина среднего витка обмотки $l_м$:

$$l_м = \pi (D - b) \qquad (3)$$

и расчетная длина стали сердечника, приведенная к $q_с$:

$$l_с = H + 2r + 2\delta_0 + 0{,}5\,D. \qquad (4)$$

Для определения расхода приведенных активных материалов на единицу мощности в дросселе выразим некоторые величины через его мощность.

Сечение меди $q_м$:

$$q_м = \frac{b_1 S H (y + \delta)}{K \kappa_0 b h P (D - b)^2}. \qquad (5)$$

Вес меди $Q_м$:

$$Q_м = \frac{\gamma_м \cdot \pi \cdot b_1 \cdot S \cdot H \cdot (y + \delta)}{K \cdot \kappa_0 bhP\,(D - b)^2}, \tag{6}$$

где $\gamma_м$ — удельный вес материала обмотки.

Вес меди, отнесенный к единице мощности дросселя,

$$\frac{Q_м}{S} = \frac{\pi\gamma_м b_1 H\,(y + \delta)}{K\kappa_0 bhP\,(D - b)^2}. \tag{7}$$

Вес стали, приходящейся на единицу мощности дросселя,

$$\frac{Q_с}{S} = \frac{q_с l_с \gamma_с}{S}. \tag{8}$$

Здесь $\gamma_с$ — удельный вес стали.

Подставив значения $q_с$ и $l_с$ и полагая $\frac{x}{x+i} \approx \frac{x+i}{x} \approx 1$, получим:

$$\frac{Q_с}{S} = \frac{0{,}1 \cdot \pi^2 \gamma_с (D - b)(h + l)}{B_с} \sqrt{\frac{\alpha}{KSH}} + \frac{0{,}1\pi^2\gamma_с D\,(D - b)}{2B_с} \sqrt{\frac{\alpha}{KSH}} + $$
$$+ 2\frac{(0{,}1\pi^2)^2 \gamma_с \alpha\,(D - b)^2}{B_с^2 KH \cdot \kappa_с \cdot nD \operatorname{tg} \frac{180^\circ}{n}}. \tag{9}$$

В выражении (9)

$$h + l = H + 2\delta_0. \tag{10}$$

На основании (7) и (9) приведенный вес активных материалов в единице мощности:

$$\frac{Q_п}{S} = \frac{Q_с}{S} + \beta\frac{Q_м}{S}, \tag{11}$$

где β — отношение удельной расчетной стоимости материала обмотки к стоимости стали в изделии [2].

Если произведения постоянных величин, входящих в (11), заменить постоянными коэффициентами, получим окончательно:

$$\varphi = \frac{Q_п}{S} [a_1 (D - b)(h + l) + a_2 D\,(D - b)] \frac{1}{\sqrt{SH}} + a_3 \frac{(D - b)^2}{DH} + $$
$$+ a_4 \frac{H\,(y + \delta)}{b\,hP\,(D - b)^2}. \tag{12}$$

В выражении (12)

$$\left.\begin{aligned} a_1 &= \frac{0{,}1\pi^2\gamma_с}{B_с}\sqrt{\frac{\alpha}{K}}; & a_2 &= \frac{0{,}1\pi^2\gamma_с}{2B_с}\sqrt{\frac{\alpha}{K}}; \\ a_3 &= \frac{2\,(0{,}1\pi^2)^2 \gamma_с \cdot \alpha}{K \cdot B_с^2 \cdot \kappa_с n \operatorname{tg}\frac{180^\circ}{n}}; & a_4 &= \beta\frac{b_1 \pi \cdot \gamma_м}{K \cdot \kappa_0}. \end{aligned}\right\} \tag{13}$$

Выражение (12) при заданной мощности S является функцией четырех переменных; D, b, h и y.

Воспользоваться условием

$$\left.\begin{aligned} \frac{\partial\varphi}{\partial D} &= 0; & \frac{\partial\varphi}{\partial h} &= 0; \\ \frac{\partial\varphi}{\partial b} &= 0; & \frac{\partial\varphi}{\partial y} &= 0 \end{aligned}\right\} \tag{14}$$

для определения оптимальных значений этих переменных не представляется возможным, так как функция φ по некоторым переменным не имеет экстремума. Так, функция (12) не имеет экстремума по переменной b. Сократим число переменных, наложив некоторые ограничения. Из (1) выразим D через h, принимая:

$$\frac{b_1(y+\delta)^2}{yP\cdot K\cdot \kappa_0^2} = Z \quad \text{и} \quad P = (\kappa_{п} b_1 + y). \tag{15}$$

Тогда

$$\left.\begin{aligned} (D-b)^2 &= \frac{SHZ}{b^2h^2}, \\ D-b &= \frac{\sqrt{SHZ}}{bh}, \\ D &= b + \frac{\sqrt{SHZ}}{bh}. \end{aligned}\right\} \tag{16}$$

Выражение (12) с учетом (15) и (16) примет вид

$$\varphi = a_1\frac{\sqrt{Z}}{bh}(h+l) + a_2\frac{\sqrt{Z}}{bh}\left(\frac{\sqrt{SHZ}}{bh} + b\right) + a_3\frac{SZ}{bh(\sqrt{SHZ}+b^2h)} +$$

$$+ a_4\frac{\sqrt{H}(y+\delta)}{P\sqrt{SZ}}. \tag{17}$$

По переменной b выражение (17) не имеет экстремума. С ростом b удельный расход приведенных материалов уменьшается.

Полученное в результате исследования графоаналитическим методом оптимальное значение y_0 стремится к неконструктивным размерам (для $S = 10^3$ *ква*, $y_0 < 0{,}1$ *см* и для $S = 10^6$ *ква*, $y_0 \approx 0{,}3$ *см*).

С ростом мощности y_0 увеличивается незначительно. Для определения оптимального значения h_0 воспользуемся условием

$$\frac{\partial\varphi}{\partial h} = 0,$$

$$\frac{\partial\varphi}{\partial h} = A_4h^2 - A_1\sqrt{H} - A_2\left(3 + \frac{2l}{h}\right) - A_3\frac{4b^2h\sqrt{SHZ} + SZ(3h+l)}{b(\sqrt{SHZ}+b^2h)^2} = 0, \tag{18}$$

где

$$\left.\begin{aligned} A_1 &= \frac{2}{\sqrt{S}}\left(a_1\frac{l}{b} + a_2\right); & A_2 &= a_2\frac{\sqrt{Z}}{b^2}; \\ A_3 &= a_3; & A_4 &= a_4\frac{(y+\delta)}{PSZ}. \end{aligned}\right\} \tag{19}$$

Решить (18) относительно h представляет сложную задачу, поэтому воспользуемся графоаналитическим методом определения корней уравнения (18).

После определения h_0 сравнительно просто определяются остальные величины, влияющие на минимум расхода приведенных материалов.

В табл. 1 показано влияние мощности на минимум расхода приведенных материалов при отношении $b/D \simeq 0{,}45$.

Таблица 1

1	S *ква*	10^3	10^4	10^5	10^6	10^6	10^6	10^6	Примечание
2	b *см*	40	60	80	50	80	100	120	
3	A_4	$514\cdot10^{-4}$	$51{,}4\cdot10^{-4}$	$5{,}14\cdot10^{-4}$	$0{,}514\cdot10^{-4}$	$0{,}514\cdot10^{-4}$	$0{,}514\cdot10^{-4}$	$0{,}514\cdot10^{-4}$	из (19)
4	A_1	1,09	0,268	0,0728	0,03	0,023	0,02	0,0192	из (19)
5	A_2	0,578	0,257	0,1445	0,37	0,1445	0,0925	0,0642	из (19)
6	h *см*	15,1	27	55,5	215	151	128	113	из (18)
7	D *см*	89,9	128	179,5	279,5	254	253	257	из (16)
8	b/D	0,445	0,468	0,446	0,179	0,315	0,395	0,467	—
9	φ *г/ква*	1864	725,8	318	205,2	165,9	154,55	141	из (17)
10	Q_c *т*	0.317	1,598	9,124	78,6	57,9	53,95	45,65	из (9)
11	$Q_м$ *т*	0,442	1,62	6,49	36,2	30,9	28,7	27,2	из (6)
12	$\beta Q_м$ *т*	1,547	5,66	22,7	126,6	108	100,5	95,3	из (11)
13	$Q_{др}$ *т*	0,759	3,218	15,614	114,8	88,8	82,65	72.85	$Q_{др}=Q_c+Q_м$
14	φ при $b/D=0{,}45$	1863	728,3	317,5				143,5	

Исследование проводились при $\alpha = 1{,}35 \cdot 10^4$; $K_п = 0{,}78$; $b_1 = 9$ *см*; $K_0 = 0{,}9$; $B_c = 16500$ *гс*; $\delta = 1$ *см*; $y = 1{,}4$ *см*; $l = 40$ *см*; $\beta = 3{,}5$; $\varepsilon = 0{,}16$ *вт/см*^{2}.

Исследования показали, что с увеличением отношения $\frac{b}{D}$ до 0,5 удельный расход приведенных материалов уменьшается.

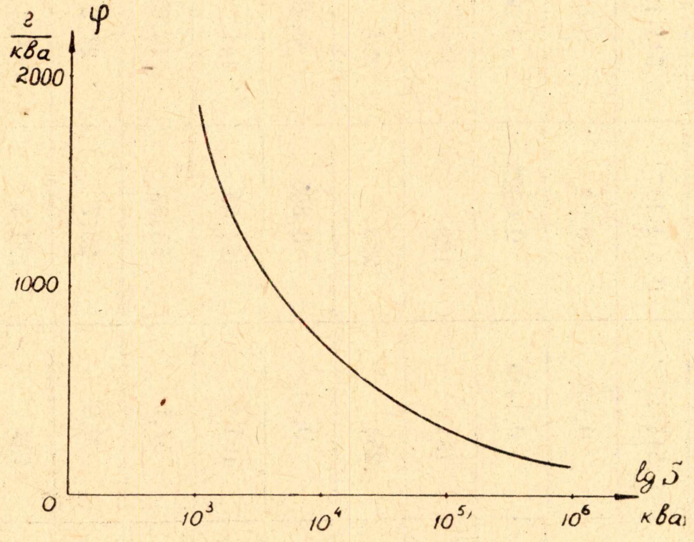

Рис. 1

На рис. 1. показана зависимость удельного расхода приведенных материалов φ от мощности S при $\frac{b}{D} = 45$.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. И. Пилецкий, И. Д. Кутявин. О предельной мощности сглаживающих дросселей с линейной характеристикой (см. выше).

2. И. Д. Кутявин. К определению оптимальных размеров трехфазных двухобмоточных трансформаторов. Известия Томского политехнического института, т. 130, 1964.