

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНОЙ МОЩНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРОВ С УЧЕТОМ НАПРЯЖЕНИЯ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

И. Д. КУТЯВИН, Л. И. ДЕЛЬ

В [1] приводятся исследования трансформаторов предельной мощности с ограничением по нагреву. Реактивная составляющая напряжения короткого замыкания u_p при этом получилась выше рекомендуемых ГОСТом.

Поэтому в предлагаемой статье приводятся исследования трансформаторов предельной мощности с заданным значением u_p .

Воспользовавшись выражением (7) и (11) из [1], запишем

$$\Delta = \sqrt{\frac{\alpha P (x + i)}{k_r b x y}}, \quad (1)$$

$$\varphi = \sqrt{\frac{P x y}{k_r (x + i) (y + \delta)^2}}. \quad (2)$$

Все обозначения соответствуют [1]. Для упрощения решения задачи первоначально приняты следующие допущения: $i_1 = i_2 = i$; $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon$; $\delta_1 = \delta_2 = \delta$; $h_1 = h_2 = h$ и вытекающие из них равенства $x_1 = x_2 = x$; $y_1 = y_2 = y$; $b_1 = b_2 = b$.

За независимые переменные приняты радиальная ширина элементарного проводника x , осевая высота меди элементарного проводника y и радиальная ширина катушки b .

Воспользуемся выражением для реактивной составляющей напряжения короткого замыкания трансформатора (в относительных единицах).

$$u_p = \frac{8\kappa_R \pi d_{12} \delta h \varphi}{3,33 B \kappa_c \pi d^2 h} = \frac{8\kappa_R d_{12} \delta' \varphi}{3,33 B \kappa_c d^2}, \quad (3)$$

где

$$\delta' = 2b + 3\delta_{12}, \quad (4)$$

d_{12} — средний диаметр канала рассеяния, см, равный

$$d_{12} = d + 2b + 2\delta_{01} + \delta_{12}. \quad (5)$$

Для сокращения записей обозначим

$$l = 2\delta_{01} + \delta_{12}. \quad (6)$$

$$p = \frac{3,33 B_c \kappa_c u_p}{8\kappa_R}. \quad (7)$$

Из выражения (3) найдем диаметр стержня:

$$d = \frac{\delta' \varphi}{2p} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{4p}{\delta' \varphi} (2b + l)} \right]. \quad (8)$$

Обозначим

$$1 + \sqrt{1 + \frac{4p}{\delta' \varphi} (2b + l)} = z. \quad (9)$$

После замены переменных через независимые предельная мощность стержня l [1] может быть определена из выражения

$$S_c = K_s h \frac{\delta'^2 \varphi^3}{4p^2} z^2, \quad (10)$$

при подстановке максимально допустимых значений величин, входящих в (10), например, исходя из железнодорожных габаритов,

$$K_s = 4,44 f \frac{\pi}{4} \kappa_c. \quad (11)$$

Выражение мощности (10) имеет максимум при некоторых значениях x и y , которые можно найти из условия

$$\frac{\partial S}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial S}{\partial x} = 0. \quad (12)$$

В результате решения (12) получаются ряд соотношений для определения критических значений x и y :

$$1 + \sqrt{1 + \frac{4p}{\delta' \varphi} (2b + l)} = 0, \quad (13)$$

$$\varphi^2 = 0, \quad (14)$$

$$3 \left[1 + \sqrt{1 + \frac{4p}{\delta' \varphi} (2b + l)} \right] - \frac{4p(2b + l)}{\delta' \varphi \sqrt{1 + \frac{4p}{\delta' \varphi} (2b + l)}} = 0, \quad (15)$$

$$\varphi'(x) = 0, \quad (16)$$

$$\varphi'(y) = 0. \quad (17)$$

Рассматривая последовательно (13), (14), (15), приходим к выводу, что корни этих уравнений не имеют физического смысла.

Выражения (16) и (17) дают следующие уравнения:

$$\kappa_r i - x(x + i) \kappa_r(x) = 0, \quad (18)$$

$$\kappa_r [\delta(\kappa_n b + 2y) - \kappa_n b y] - P y(y + \delta) \kappa_r(y) = 0. \quad (19)$$

Уравнения (18), (19) одинаковы с (13) и (14) [1]. Отсюда можно сделать вывод, что оптимальные значения x_0 и y_0 , соответствующие максимуму мощности при ограничении по u_p и по нагреву, совпадают с оптимальными значениями x_0 и y_0 при ограничении только по нагреву.

В пунктах 6 и 9 табл. 1 и 2 приведен расчет диаметра стержня и предельной мощности на стержень при следующих постоянных величинах.

Для таблицы 1:

$$h = 260 \text{ см}; B = 17500 \text{ гц}; u_p = 0,2; i = 0,01 \text{ см};$$

$$\delta = 0,8 \text{ см}; \delta_{01} = 5 \text{ см}; \delta_{12} = 18 \text{ см}; \varepsilon = 0,3 \text{ вт/см}^2;$$

$$\rho = 2,14 \cdot 10^{-6} \text{ ом} \cdot \text{см}; \kappa_n = 0,78; \kappa_c = 0,8;$$

$$\kappa_R = 0,95; f = 50 \text{ гц}; C = 0,92.$$

материал обмотки — медь.

Таблица 1

b	5	6	7	8	9	10
u	51,9	45,2	40	35,7	32,2	29,4
x_0	0 180	0,166	0,152	0,140	0,132	0,125
y_0	1,27	1,14	1,06	1,00	0,97	0,93
κ_r	1,037	1,030	1,030	1,032	1,034	1,036
Δ	455	469	478	485	489	495
d	96	113	129	148	163	186
$q_{ст}$	5770	8620	10440	13850	17540	21700
q_m	751	860	964	1068	1183	1290
S_c	76,9	125,8	187,5	279,5	395,0	540,0

Для таблицы 2:

$$\begin{aligned}
 h &= 260 \text{ см}; B = 17500 \text{ гц}; u_p = 0,15; i = 0,01 \text{ см}; \\
 \delta &= 1,0 \text{ см}; \delta_{01} = 5 \text{ см}; \delta_{12} = 18 \text{ см}; \varepsilon = 0,3 \text{ вт/см}^2; \\
 \rho &= 3,5 \cdot 10^{-6} \text{ ом}\cdot\text{см}; C = 0,562; \kappa_c = 0,8; \kappa_R = 0,95; \\
 f &= 50 \text{ гц}; \kappa_n = 0,78.
 \end{aligned}$$

материал обмотки алюминий.

На рис. 1 представлена зависимость $d = f(u_p)$ при различных значениях b , из которой следует, что с ростом b диаметр стержня становится неконструктивно большим.

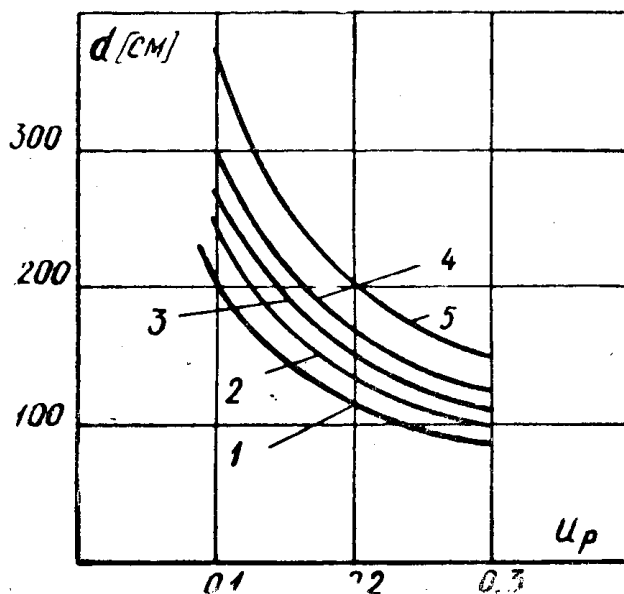


Рис. 1. 1— $b=7$ см, 2— $b=8$ см, 3— $b=9$ см,
4— $b=10$ см, 5— $b=12$ см

Поэтому удовлетворительным размером является ширина катушки b порядка 8 см.

Т а б л и ц а 2

<i>v</i>	6	7	8	9	10	12
<i>u</i>	7,04	6,23	5,63	5,07	4,59	3,97
<i>x₀</i>	0,50	0,47	0,44	0,41	0,39	0,37
<i>y₀</i>	1,42	1,29	1,19	1,13	1,08	1,03
<i>κ_r</i>	1,075	1,084	1,086	1,087	1,092	1,107
<i>Δ</i>	351	358	366	376	382	387
<i>d</i>	102,6	116,5	131,7	147,5	163,5	197,6
<i>q_{ст}</i>	6560	8480	10900	13570	16830	24600
<i>q_м</i>	761	845	920	996	1076	1235
<i>S_с</i>	68,3	100	143	198	269	459

ЛИТЕРАТУРА

1. И. Д. Кутявин, Л. И. Дель. О предельной мощности трансформатора. Известия Томского политехнического института, т. 172.
2. С. А. Фарбман, А. Ю. Бун. Ремонт и модернизация трансформаторов.