

СРАВНЕНИЕ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПРЕДЕЛЬНОЙ МОЩНОСТИ С КАТУШЕЧНЫМИ И МНОГОСЛОЙНЫМИ ОБМОТКАМИ ВН

И. Д. КУТЯВИН, Г. В. ДЕЛЬ, Л. И. ДЕЛЬ

В статье изложены результаты поискового сравнения трансформаторов предельной мощности с одинаковой винтовой обмоткой НН и с концентрическими многослойными и спиральными катушечными обмотками ВН.

Катушечные обмотки (винтовая, спиральная, дисковая) имеют очень высокий коэффициент заполнения медью своей площади и поэтому этот

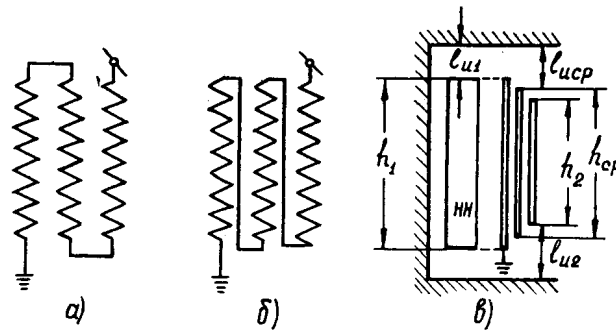


Рис. 1.

класс обмоток оказывается экономичным для напряжений (6—220) кВ. При более высоких номинальных напряжениях обмотки ВН применение для нее катушечной обмотки оказывается невыгодным из-за больших изоляционных расстояний между обмотками НН и ВН, малой электродинамической устойчивости ее и т. д. В этом случае многослойная концентрическая обмотка ВН оказывается значительно выгоднее катушечной. Поскольку сети 110 кВ и выше работают с наглухо заземленной нейтралью, то один конец внутреннего слоя будет заземлен, поэтому изоляционное расстояние между обмотками НН и ВН может быть минимальным, соответствующим напряжению на другом конце слоя. При m слоев в обмотке напряжение между соседними слоями, соединенными по схеме рис. 1, а, равно

$$U_{\text{сл}} = \frac{1,1 U_{\text{н}}}{\sqrt{3} m}. \quad (1)$$

При соединении слоев по схеме рис. 1, б.

$$U_{\text{сл}} = \frac{2,2 U_{\text{н}}}{\sqrt{3} m}. \quad (2)$$

Изоляция наружного слоя обмотки ВН от обмотки НН каскадно нарастает за счет междуслойной изоляции и большие изоляционные проме-

жутки нужны только до ярем и между обмотками ВН разных фаз. Осевая высота слоя уменьшается от внутреннего слоя к наружному с учетом нарастания напряжения слоев (рис. 1,в).

Для определения предельной мощности стержня трансформаторов использован метод, основанный на максимизации формулы мощности стержня и предполагающий максимальное использование активных материалов и допустимых железнодорожных габаритов. Этот метод в упрощенном виде ($x_1 = x_2; y_1 = y_2; b_1 = b_2$) для трансформаторов с катушечными обмотками НН и ВН описан в [1]. Здесь же предполагается $x_1 \neq x_2; b_1 \neq b_2$ и $y_1 = y_2 = 1,45$.

Тогда выражения для предельного диаметра стержня d и предельной высоты обмотки h будут иметь вид (все обозначения совпадают с [1]):
 $d = A - 2(b_1 + b_2); h = B + 2(b_1 + b_2)$. (3)

Остальные размеры обмоток находились совместным решением уравнений, полученных из формулы для напряжения к. з., равенства намагничивающих сил (НС) и соотношения (17) [1].

Уравнение из формулы для напряжения к. з. при подстановке d из (3):

$$\kappa_c BU_p [A - 2(b_1 + b_2)]^2 \cdot 10^4 - 2,4 k_R (A - 2b_2 + 2\delta_{01} + \delta_{12})(b_1 + b_2 + 3\delta_{12}) \varphi_2 = 0, \quad (4)$$

где φ_2 на основании (10) и (11) [1].

$$\varphi_2 = \sqrt{\frac{\alpha_2 P_2 b_2 x_2 y}{k_{r2} (x_2 + i_2) (y + \delta_2)^2}}. \quad (5)$$

Равенство НС для равновысоких обмоток при $y_1 = y_2 = y = 1,45$ имеет вид

$$\frac{\alpha_1 P_1 b_1 x_1 y}{k_{r1} (x_1 + i_1) (y + \delta_1)^2} = \frac{\alpha_2 P_2 b_2 x_2 y}{k_{r2} (x_2 + i_2) (y + \delta_2)^2} = \varphi_2^2. \quad (6)$$

Из соотношения (17) [1] находим b_1 :

$$b_1 = \frac{3(x_1 + i_1)(y + \delta_1)}{Cx_1^2 y \sqrt{\frac{2x_1}{i_1} + 3}}. \quad (7)$$

Каждому b соответствует определенное оптимальное x , определяемое соотношением (17) [1], или (7).

Из уравнения (4) находим зависимость $b_1(b_2)$. Для этого задаемся рядом значений b_2 в конструктивных пределах, находим для них, пользуясь методикой [1], соответствующие оптимальные x_2, k_{r2}, φ_2 и т. д., и строим кривую $b_1(b_2)$.

Из (7) находим ряд зависимостей $b_1(x_1)$, которые последовательно подставляем в (6), пока не удовлетворится это равенство при каждом значении b_2 и φ_2 и не найдем, таким образом, новую зависимость $b_1(b_2)$. Пересечение кривых $b_1(b_2)$ позволит найти оптимальные b_1 и b_2 и соответствующие им x_1 и x_2 для каждого заданного значения u_p . После чего определяют значения d и h , а по ним и предельная мощность стержня из выражения

$$S_c = K_c d^2 h \varphi_1, \quad (8)$$

$$K_c = 1,11 f K_c \pi B \cdot 10^{-7}. \quad (9)$$

Предельные мощности стержня для этого сочетания обмоток трансформаторов 500 и 750 кВ показаны в таблице.

Для определения предельной мощности стержня с винтовой обмоткой НН и многослойной — ВН можно воспользоваться материалами [2, 3].

Равенство НС с учетом трапецеидальности площади сечения многослойной обмотки ВН (рис. 1)

$$\varphi_1 = \frac{h_{ср}}{h} \varphi_2 = \frac{C_2 + 2(b_1 + b_2)}{C_1 + 2(b_1 + b_2)} \varphi_2; \quad (10)$$

$$C_1 = H_B - l_{н1} - A; \quad C_2 = H_B - (l_{н1} + l_{н2}) - A; \quad (11)$$

$$A = D_B - 2 \delta_{12} - 2 \delta_{10}; \quad B = H_B - 2l_{н1} - A. \quad (12)$$

Удельная НС многослойной обмотки из (6) и (8) [2]:

$$\varphi_2 = \frac{q_{M2} \Delta_2}{h_{ср}} = m_2 \sqrt{\frac{\alpha_2 x_2 y_2}{k_{r2} (y_2 + i_2)}}; \quad (13)$$

$$b_2 = m_2 x_2 M \rho_2 (m_2 - 1) \quad (14)$$

Коэффициент увеличения активного сопротивления меди многослойной обмотки из (23) [3]:

$$k_{r2} = 1 + \frac{1}{3 \rho^2}. \quad (15)$$

Оптимальное значение толщины меди слоя [3]:

$$x_2 = \sqrt{\frac{1,73 (y_2 + i_2)}{C m_2 y_2}}. \quad (16)$$

Задавшись несколькими значениями m_2 в пределах (4—12), находим для них x_2 из (16) и b_2 из (14). Пользуясь соотношением (27) [3], находим соответствующие значения I_2 и ρ_2 . Затем определяем k_{r2} из (15) и φ_2 из (13), после чего можно решить совместно (4), (6) и (7) для отыскания оптимальных b_1 , b_2 и x_1 .

Предельные мощности стержня 500 и 750 кв для второго сочетания типов обмоток приведены в последних 3-х столбцах таблиц.

Т а б л и ц а 1

Обозначение величин	Спиральная одноконцентричная обмотка ВН			Многослойная обмотка ВН			
	u_p отн. един.	0,10	0,15	0,20	0,10	0,15	0,20
				500 кв			
b_1 , см		7,4	9,9	11,8	10,1	12,0	13,6
b_2 »		10,5	13,8	16,3	19,4	23,8	27,0
d »		185	174,5	166	180	165	155
h_1 »		215	225,5	234	246	261	271
m_2 »		—	—	—	6,3	7,5	8,7
S_c , Мва		298	348	380	410	426	436
				750 кв			
b_1 , см		6,1	8,2	9,9	9,3	11,1	13,0
b_2 »		10,7	14,2	17,2	21,2	25,0	29,0
d »		182	171	162	175	164	155
h_1 »		192	203	212	251	266	271
m_2 »		—	—	—	6,6	7,9	9,1
S_c , Мва		220	256	282	370	396	412

Для составления таблицы были приняты исходные данные: общие и для обмотки НН $D_B = 260$; $H_B = 450$; $B = 1,7$ тл; $\kappa_c = 0,83$; $y_1 = 1,45$; $\delta_1 = 0,8$; $i_1 = 0,1$; $\delta_{01} = 5$; $C = 0,95$; $\alpha_1 = 25 \cdot 10^4$; $\epsilon_1 = 0,3$; $\kappa_{п1} = 0,78$; $\kappa_{y1} = 0,9$.

Для обмотки 500 кв катушечной: $i_2 = 0,3$; $y_2 = 1,45$; $\delta_2 = 1,2$; $\delta_{12} = 14$; $l_{н1} = 25$; $\epsilon_2 = 0,3$; $\kappa_{п1} = 0,78$; $\alpha_2 = 25 \cdot 10^4$; для многослойной — $i_2 = 0,3$; $y_2 = 2,0$; $\delta_2 = 3,0$; $\delta_{12} = 5$; $l_{н2} = 25$; $l_{н1} = 12$; $\epsilon_2 = 0,3$; $\kappa_{п1} = 0,57$; $\alpha_2 = 16 \cdot 10^4$;

Для обмотки 750 кв катушечной: $i_2 = 0,4$; $y_2 = 1,45$; $\delta_2 = 1,2$; $\delta_{12} = 17$; $l_{н1} = 3,8$; $\epsilon_2 = 0,3$; $\alpha_2 = 25 \cdot 10^4$.

Для многослойной: $i_2 = 0,4$; $y_2 = 2$; $\delta_2 = 3,0$; $\delta_{12} = 6$; $l_{н1} = 12$; $l_{н2} = 38$; $\epsilon_2 = 0,3$; $\kappa_{п1} = 0,57$; $\alpha_2 = 16 \cdot 10^4$ (размеры в см). Число слоев не

округлено и размеры проводников не приведены в соответствие с нормальными намеренно.

Сравнение мощностей стержня для трансформаторов 500 и 750 кВ с катушечными и многослойными обмотками ВН, приведенных в таблице, говорит в пользу многослойных, несмотря на то, что междуслойное расстояние принято нами с большим запасом ($\delta_2 = 3 \text{ см}$).

ЛИТЕРАТУРА

1. И. Д. Кутявин, Л. И. Дель. О предельной мощности трансформатора. «Известия ТПИ», том 172, 1967.
2. И. Д. Кутявин, Л. И. Дель. О предельной мощности трансформаторов с многослойными обмотками. «Известия ТПИ», том 191, 1969.
3. И. Д. Кутявин. Проектирование обмоток трансформаторов с минимальными потерями в меди. «Электротехника», № 7, 1969.