

**К ВОПРОСУ ПРИМЕНЕНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ ОБМОТОК
В МАСЛЯНЫХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРАХ*)**

В. А. ЗОРИН

(Представлена научным семинаром кафедр электрических станций и электрических сетей и систем)

Потребность электротехнической промышленности в цветных металлах, постоянно возрастающая из-за высоких темпов электрификации, может быть в значительной степени покрыта за счет широкого использования в электромашиностроении алюминия для изготовления обмоток. В производстве силовых трансформаторов I, II и III габаритов, где занято до 70% всей используемой в трансформаторостроении меди, вопрос внедрения алюминиевых проводов имеет особую важность.

В данной статье приводятся некоторые результаты технико-экономических исследований трансформаторов общего назначения I и II габаритов с алюминиевыми обмотками. При расчетах первичное напряжение (ВН) принималось равным 10 кВ, вторичное — 0,4 кВ, напряжение

Таблица 1

Отношение характеристик алюминиевых и медных трансформаторов	По методу [1]	По методу [2]
d_a/d_m	0,9÷0,95	0,95÷1,0
h_{ca}/h_{cm}	1,4÷1,5	1,1÷1,3
MO_a/MO_m	1,0÷1,05	1,05÷1,1
H_a/H_m	1,15÷1,3	1,05÷1,15
Q_{ma}/Q_{mm}	0,63÷0,65	0,51÷0,6
Δ_a/Δ_m	0,55÷0,6	0,55÷0,6
σ_a/σ_m	0,6÷0,7	0,7÷0,8
P_{ca}/P_{cm}	≈1	1,04÷1,1
P_{ma}/P_{mm}	≈1	1,1÷0,95
$\Sigma P_a/\Sigma P_m$	≈1	1,08÷1,0
V_a/V_m	≈(2÷2,2)	1,8÷2,0

короткого замыкания согласно ГОСТ 401—41—5,5%, для магнитопровода принята сталь Э330 с толщиной листа 0,35 мм по ГОСТ 802—58. Конструкция обмотки — двухслойная цилиндрическая, обмотки ВН — многослойная цилиндрическая из круглого провода.

В различных литературных источниках приведены данные сравнения важнейших характеристик «медных» и «алюминиевых» трансформаторов и обосновывается технико-экономическая целесообразность выполнения обмоток из алюминиевого провода.

В табл. 1 даны результаты сравнения рациональной серии «алюминиевых» и «мед-

ных» трансформаторов I, II и III габаритов, разработанной в Московском энергетическом институте [1] и распределительных трансформаторов, рассчитанных по предлагаемому нами в [2] методу.

*) Работа проводится под руководством доктора технических наук профессора И. Д. Кутявина.

Расхождение в результатах обуславливается разницей в подходах к решению задачи нахождения оптимального варианта трансформатора.

При расчетах по [1] потери короткого замыкания и холостого хода, а следовательно, и их отношение и сумма для «алюминиевого» варианта принимались еще до расчета равными соответствующим характеристикам «медного» трансформатора той же мощности, которые выбирались на уровне 65—70% от потерь по ГОСТ 401-41. В [2] нами в качестве основополагающего был принят принцип, приведенный в [3], согласно которому «алюминиевому» трансформатору не должны навязываться ни характеристики, ни модели «медного» варианта ввиду различия в физических свойствах обмоточного материала. Поэтому ни потерями в стали, ни потерями в меди, ни их отношением до расчета мы не задавались, а находили их так же, как и геометрические размеры из условия получения минимальных суммарных расчетных затрат с учетом расчетного срока окупаемости, используя методику, предложенную П. Г. Грудинским.

С учетом вышесказанного плотность теплового потока на поверхности обмоток «алюминиевых» трансформаторов по [1] получается ниже таковой для медных конструкций на 30—40%. С целью определения оптимальных с точки зрения расчетных затрат величин σ_1 и σ_2 *) нами проведены расчеты на быстродействующей ЭЦВМ (СО АН СССР). На рисунке даны зависимости минимальных затрат (Z_{\min})

от λ_2 ($\lambda_2 = p_2 k_{п2} \sigma_2$) для «медного» трансформатора мощностью 100 кВА. Кривые $Z_{\min}(\lambda_2)$ и $Z_{\min}(\lambda_1)$ для «медных» и «алюминиевых» вариантов других мощностей подобны приведенным. Характер кривых позволяет сделать вывод о наличии для каждого трансформатора критического сочетания λ_1 и λ_2 , при котором расчетные затраты на производство и эксплуатацию трансформатора получаются минимальными. Следовательно, если принять средние величины коэффициентов $k_{п1}$ равными 0,83, а $k_{п2}$ — 0,75 при p_1 — 3 и p_2 — 4 [4], то можно определить соответствующие критические сочетания σ_1 и σ_2 (табл. 2).

Чтобы получить равные для «медных» и «алюминиевых» трансформаторов размеры в плане и максимально унифицировать их производство на одном и том же заводе и, таким образом, избежать значительных затрат при переходе от «медных» к «алюминиевым» обмоткам, отношение высот обмоток

$\frac{h_A}{h_M}$ должно быть $1,9 \div 2$ [5]. В настоящее время

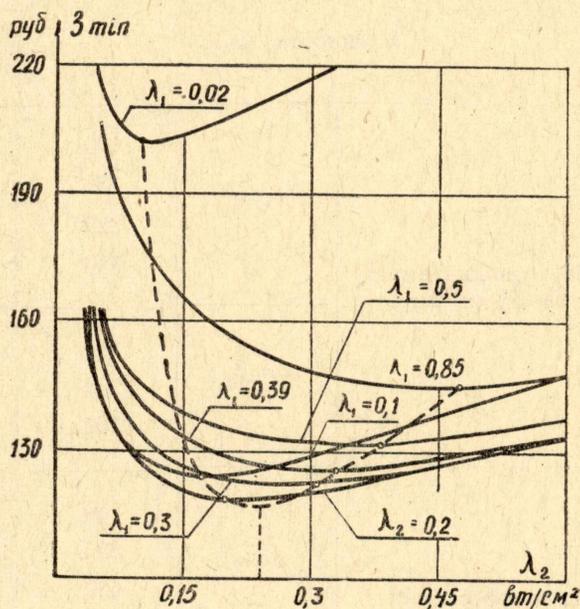


Рис. 1.

*) Условные обозначения даны в конце статьи.

Таблица 2

Материал обмоток	Медь			Алюминий		
Мощность, ква	100	250	630	100	250	630
$\lambda_{1кр}$, $вт/см^2$	0,210	0,240	0,310	0,150	0,180	0,240
$\sigma_{1кр}$, "	0,084	0,096	0,124	0,060	0,072	0,096
$\lambda_{2кр}$, "	0,240	0,270	0,350	0,180	0,210	0,280
$\sigma_{2кр}$, "	0,080	0,090	0,117	0,060	0,070	0,093

такая унификация едва ли целесообразна, так как при этом неизбежно возрастут расчетные затраты, главным образом за счет потерь (табл. 3), т. е. такой вариант не будет оптимальным. Единственно правильным в этом смысле, на наш взгляд, является вывод П. М. Тихомирова [1] о том, что разработка «алюминиевых» трансформаторов должна производиться независимо от «медных», с целью полного перехода для рассматриваемых трансформаторов на алюминиевый обмоточный провод. Техничко-экономический расчет [2] дает для оптимальных вариантов отношение $\frac{h_a}{h_m}$ всего до 1,4.

Таблица 3

Мощность, ква		$\frac{P_c}{1 \text{ ква}}$, $вт$	$\frac{P_m}{1 \text{ ква}}$, $вт$	$\frac{\Sigma P}{1 \text{ ква}}$, $вт$	
Изготавливаемые трансформаторы	ТСМ	100	5,80	20,70	26,50
		180	5,56	17,80	33,36
		320	5,00	15,20	20,20
		560	3,60	9,00	12,60
	ТСМА	100	5,80	20,70	26,50
		250	5,00	17,80	22,80
560		4,40	12,80	17,20	
Трансформаторы, рассчитанные по методу [2]	медь	100	3,27	18,77	22,04
		250	2,44	13,70	16,14
		630	1,98	10,12	12,10
	алюминий	100	3,37	19,42	22,79
		250	2,55	14,75	17,30
		630	2,20	10,35	12,55
ГОСТ 401—41	100	7,30	24,00	31,30	
	240	6,77	21,25	28,02	
	560	4,46	16,80	21,26	

Увеличение минимальных расчетных затрат для «алюминиевых» вариантов по сравнению с «медными», если принять для меди $\beta=2,7$ [4]

и $k_T = 0,55$, а для алюминия $\beta = 3,8$ и $k_T = 0,6$ составляет не более 6—7%.

Выводы

1. Несмотря на некоторое увеличение размеров в плане «алюминиевые» и «медные» трансформаторы, рассчитанные по методу [2], имеют меньшее отношение высот сердечника, по сравнению с соответствующими вариантами, рассчитанными по другим методам, что позволяет ожидать снижения веса масла и общего веса трансформатора.

2. Суммарные потери, определяемые по методу [2] для «алюминиевых» вариантов, незначительно превышают суммарные потери «медных» трансформаторов, рассчитанных по этому же методу, однако, не больше потерь, найденных по методу [1], но значительно меньше, чем потери изготавливаемых трансформаторов.

Уровень потерь составляет $0,58 \div 0,7$ от потерь по ГОСТ 401—41.

Условные обозначения

- d — диаметр стержня, см,
 h_c — высота стержня сердечника $= h + 2l_{ц}$, см,
 h — высота обмотки, см,
 $l_{ц}$ — изоляционное расстояние от обмотки до ярма, см,
 H — высота сердечника $\approx h_c + 2d$, см,
 Q_m — вес металла обмоток, кг,
 Δ_1 — плотность тока, а/см²,
 σ — плотность теплового потока на поверхности обмотки, вт/см²,
 p — число поверхностей охлаждения обмотки,
 $k_{ц}$ — коэффициент, учитывающий закрытие части поверхности охлаждения обмотки изоляционными деталями,
 P_c — потери в стали обмоток, квт,
 P_m — потери в меди обмоток, квт,
 ΣP — суммарные потери $= P_c + P_m$, квт,
 v — объем металла обмоток $\frac{v_m}{v_a} = \frac{Q_{mm}}{Q_{ma}} \frac{\gamma_a}{\gamma_m}$
 γ — удельный вес металла обмоток, кг/см³,
 β — отношение удельной расчетной стоимости меди к стоимости стали в изделии,
 k_T — удельная расчетная цена трансформатора, руб. кг.

ЛИТЕРАТУРА

1. П. М. Тихомиров. Применение алюминиевых обмоток в новых сериях распределительных трансформаторов, «Вестник электропромышленности», 1959, № 8.
2. И. Д. Кутявин, В. А. Зорин. Техничко-экономическое обоснование выбора оптимальных размеров силовых трансформаторов малой мощности, «Вопросы надежности и экономичности электрооборудования нефтехимических заводов». Омск, 1967.
3. М. А. Басс. Применение алюминия в трансформаторостроении и перспективы его использования для обмоток силовых трансформаторов, М., 1965.
4. П. М. Тихомиров. Расчет трансформаторов, Госэнергоиздат, 1962.
5. Г. С. Акопян, З. Х. Погосян, Т. Л. Ганцева. Трансформаторы с алюминиевыми обмотками на 6 и 10 кв, «Вестник электропромышленности», 1959, № 8.