

# Выбор трансформаторов распределительных сетей 6-10 кВ по минимуму потерь электроэнергии

При разработке проекта электроснабжения потребителей обычно выбирают трансформаторы с коэффициентом нагрузки, равным 1. Допускается перегрузка масляных трансформаторов сверх номинального тока до 40% общей продолжительностью не более 6 ч в сутки в течение 5 суток подряд при условии, что коэффициент нагрузки не превышает 0,93\*. При этом обычно не учитывается, что потери активной и реактивной мощности в трансформаторе резко возрастают. Например, если при оптимальной нагрузке трансформаторов типа ТМ-25/10 потери активной мощности принять за 100%, то при коэффициенте нагрузки 1 потери составят 140%, а при коэффициенте нагрузки 1,4 потери мощности составят 183%. Это приводит к увеличению стоимости передачи электроэнергии через трансформатор.

Как правило, электроснабжение потребителей осуществляется по цепи «источник-потребитель», которая включает следующие элементы: линия электропередачи напряжением 35 или 110 кВ (ЛЭП 35(110) кВ), понижающая трансформаторная подстанция напряжением 35 или 110 кВ на 10 кВ (ПС 35 (110)/10 кВ), воздушная линия электропередачи напряжением 10 кВ (ВЛ 10 кВ), понижающая трансформаторная подстанция напряжением 10 кВ на 0,4 кВ (ТП 10/0,4 кВ) и воздушная линия электропередачи 0,38 кВ (ВЛ 0,38 кВ). Как видно из вышеизложенного, три из семи элементов электрической системы — трансформаторы. При разработке проектов реконструкции электрических сетей или проектов электроснабжения потребителей необходимо оптимально выбирать элементы системы распределения электроэнергии, что позволит достигнуть наилучших технико-экономических показателей.

Проанализировав выражения для определения потерь активной ( $\Delta P$ ) и реактивной ( $\Delta Q$ ) мощностей, мы получили условия оптимального режима эксплуатации трансформаторов по активным и реактивным потерям:

$$k_{на} = \sqrt{\frac{P_x}{P_k}}, \quad (1)$$

$$k_{нр} = \sqrt{\frac{Q_x}{Q_k}}, \quad (2)$$

где  $k_{на}$ ,  $k_{нр}$  — коэффициенты нагрузки трансформатора, соответствующие ми-

нимальным удельным активным и реактивным потерям мощности;

$P_x, P_k, Q_x, Q_k$  — активные и реактивные потери мощности холостого хода и короткого замыкания трансформаторов соответственно.

В таблице 1 представлены зависимости удельных активных и реактивных потерь мощности от нагрузок трансформаторов ТМ-100-630/10, ТМ-100-630/35, ТМ-1000-16000/35, ТМН-2500-0000/110 и ТДТН-6300-63000/110.

Исследование выражений (1) и (2) показало, что коэффициент  $k_{на}$  не зависит от мощности, а зависит от класса напряжения трансформаторов. Причем математическое ожидание  $M(k_{на})$  изменяется от 0,45 (трансформаторы ТМ-25-630/10) до 0,54 (трансформаторы ТМ-6300-63000/110). Коэффициент  $k_{нр}$  понижается с повышением мощности и класса напряжения трансформаторов. Например,  $k_{нр}$  трансформатора ТМ-25/10 равен 0,84, а ТМ-630/10 — 0,6;  $k_{нр}$  трансформатора ТМ-100/35 равен 0,63, а ТМ-630/35 — 0,55 и т.д. В результате чего  $M(k_{нр})$  изменяется от 0,74 до 0,24 (см. таблицу 1).

На рис. 1 представлены зависимости удельных активных потерь мощности от

**Таблица 1**  
Значения минимальных удельных потерь мощности и оптимальных коэффициентов нагрузок трансформаторов в функции их класса напряжения

Типы трансформаторов	Минимальные удельные потери мощности при оптимальной нагрузке трансформаторов		Размах значений коэффициентов нагрузок трансформаторов, соответствующих минимальным удельным потерям мощности		Математические ожидания оптимальных коэффициентов нагрузок по минимальным удельным потерям мощности	
	активные потери, кВт/кВ·А	реактивные потери, квар/кВ·А	активная мощность	реактивная мощность	активные потери	реактивные потери
Двухобмоточные ТМ -25-630/10	0,017	0,068	0,43-0,47	0,60-0,84	0,45	0,74
Двухобмоточные ТМ-100-630/35	0,019	0,082	0,49-0,51	0,55-0,63	0,5	0,59
Двухобмоточные ТМН -1000-16000/35	0,009	0,053	0,45-0,51	0,31-0,48	0,47	0,39
Двухобмоточные ТМН -2500-40000/110	0,010	0,079	0,51-0,55	0,27-0,37	0,53	0,3
Трехобмоточные ТМТН и ТДТН - 6300-63000/110/35/10	0,009	0,086	0,52-0,55	0,22-0,27	0,54	0,24

\* Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей и Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - 392 с. с ил.

нагрузок трансформаторов ТМ-100/10, ТМ-100/35, ТМН-2500/35, ТМН-2500/110 и ТДТН-1000/110/35. Из него видно, что при увеличении коэффициентов нагрузок удельные потери мощности уменьшаются, достигая минимальных значений, а затем снова увеличиваются.

Анализ показывает, что трансформа-

торы напряжением 10/0,4 и 35/0,4 кВ, 35/10 и 110/10 кВ имеют весьма близкие характеристики по удельным активным потерям мощности. Если принять минимальные удельные активные и реактивные потери мощности в трансформаторах напряжением 10/0,4 кВ за 100%, то в трансформаторах 35/0,4 кВ

они составляют, соответственно, 111,8% и 120,6%. Активные и реактивные минимальные удельные потери мощности трансформаторов 110/10 кВ больше соответствующих потерь трансформаторов напряжением 35/10 кВ на 11,1% и 49,0%.

В настоящее время электроснабжение промышленных предприятий осуществляется в основном на напряжении 10/0,4 кВ. Причем количество трансформаторов 10/0,4 кВ может достигать до нескольких десятков на одном предприятии. Путем изменения нагрузок или перестановкой трансформаторов можно получить значительную экономию электроэнергии.

Например, на ТП 10/0,4 кВ №1 предприятия работает трансформатор ТМ-630/10, а на ТП 10/0,4 №2 — трансформатор ТМ-250/10 с коэффициентами нагрузки 0,22 и 1,0 соответственно. Удельные потери активной мощности в трансформаторах составляют 0,013 кВт/кВ·А и 0,019 кВт/кВ·А, а удельные потери реактивной мощности — 0,102 и 0,065 квар/кВ·А соответственно. По таблице 1 определяем, что коэффициенты нагрузки, соответствующие минимальным удельным потерям активной мощности для данного класса трансформаторов, находятся в пределах 0,43-0,47. При перестановке трансформаторов с одной ТП 10/0,4 на другую получаем следующие коэффициенты нагрузки: для трансформатора ТМ-630/10 — 0,40, а для трансформатора ТМ-250/10 — 0,55. В таблице 2 представлены удельные потери активной и реактивной мощности в трансформаторах при соответствующих коэффициентах нагрузки. Из нее же видно, что после перестановки трансформаторов удельные потери активной мощности снизятся на 0,007 кВт/кВ·А, а удельные потери реактивной мощности — на 0,035 квар/кВ·А. Таким образом, перестанавливая трансформаторы с одной ТП 10/0,4 на другую, получаем экономию активной мощности 1,97 кВт. При равномерном графике нагрузок предприятия экономия электроэнергии составит 17251,01 кВт·ч/год. Потери реактивной мощности снизятся на 3,99 квар, что также приведет к снижению потерь в сетях предприятия.

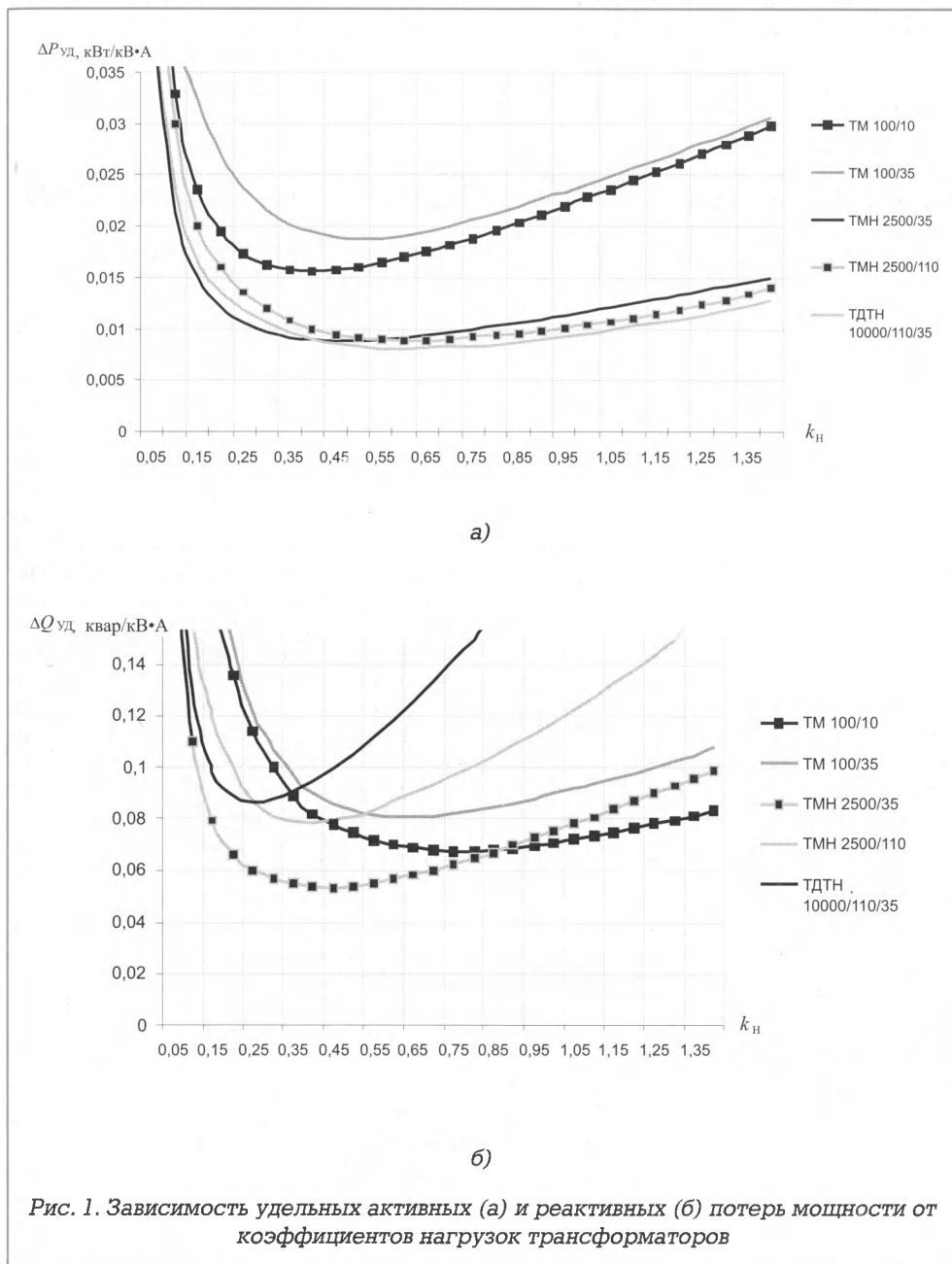


Рис. 1. Зависимость удельных активных (а) и реактивных (б) потерь мощности от коэффициентов нагрузок трансформаторов

Таблица 2

Трансформатор	До перестановки			После перестановки		
	удельные потери		коэффициент нагрузки, $k_n$	удельные потери		коэффициент нагрузки, $k_n$
	$\Delta P_{уд}$ , кВт/кВ·А	$\Delta Q_{уд}$ , квар/кВ·А		$\Delta P_{уд}$ , кВт/кВ·А	$\Delta Q_{уд}$ , квар/кВ·А	
ТМ-630/10	0,013	0,102	0,22	0,010	0,072	0,4
ТМ-250/10	0,019	0,065	1,0	0,015	0,060	0,55