

УДК 621.314.21

**ОПТИМАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ Понижающих СИЛОВЫХ
ТРАНСФОРМАТОРОВ**

*Чайковский В.П., к.т.н., доц., Насыпаная Е.П., асп., Мартынюк А.И., магистр.
Одесский национальный политехнический университет
65000 г.Одесса, пр.Шевченко,1
E-mail: viktor_petrushin@ukr.net*

Проаналізована робота трансформаторних підстанцій на півдні Одеської області, та виявлено, що вони працюють з різним часом номінального навантаження. Виконана оптимізація трансформаторів з урахуванням режимів роботи показала, що в них значно відрізняються діаметри стрижня та щільності струму. Визначено, що для трансформаторів із малим часом номінального навантаження значно зменшуються витрати матеріальних ресурсів.

Ключові слова: силові трансформатори, графіки навантажень, електромагнітні навантаження, співвідношення втрат холостого ходу і короткого замикання, час номінальних втрат, щільність струму, індукція, діаметр стрижня.

In clause work of transformer substations in the south of the Odessa area, and analysed, that they work with different time of a rated load. The executed optimization of transformers in view of operating modes has shown, that in them diameters core and density of a current differ. Thus, for transformers with small time of a rated load expenses of material resources considerably decrease.

Key words: power transformers, schedules of loadings, electromagnetic loadings, parity of losses of idling and short circuit, time of nominal losses, density of a current, induction, diameter core.

Введение. Решение экономической задачи снижения растущих затрат на трансформацию электроэнергии связано с решением вопросов экономической эксплуатационной загрузки силовых трансформаторов. К ним относятся технико-экономические вопросы выбора при проектировании трансформаторных подстанций трансформаторов определенной номинальной мощности и нагрузочной способности, надежной и экономической эксплуатации трансформаторов, а также конструирования и изготовления трансформаторов, способных безаварийно работать при предусмотренных максимальных перегрузках и условиях окружающей среды. Такую взаимосвязанную цепь вопросов, решение которых было бы выражено соответствующими нормативно-техническими документами, базирующимися на основополагающем государственном стандарте, все еще решить не удается [1].

Одним из наиболее действенных путей повышения эффективности использования силовых трансформаторов, реализуемых на стадии их проектирования, является полный учет эксплуатационных условий работы трансформаторов.

Распределительные трансформаторы, как правило, работают на последнем этапе преобразования электрической энергии. Они проектируются и рассчитываются на режим длительной, не меняющейся во времени нагрузки, которая обозначается на их щитке. При этом предусматривается определенный срок службы трансформатора, т.е. тот промежуток времени, в течение которого обеспечивается надежная работа при номинальной нагрузке.

Потребление электроэнергии не остается постоян-

ным, а изменяется в зависимости от характера производства, вида и типа электроприемников, времени года, часов суток. Следовательно, изменяется режим работы трансформаторов.

Изменение нагрузок характеризуется графиками, показывающими изменение потребляемой мощности в зависимости от времени суток. С помощью этих графиков можно анализировать работу электро-станций, подстанций, элементов сети или групп потребителей за определенное время, выбрать необходимый режим работы агрегатов, степень использования оборудования и возможность более целесообразного распределения нагрузок между источниками питания [2].

Цель работы. Проектные исследования при создании новых серий силовых трансформаторов для конкретных условий эксплуатации в энерго-системах.

Результаты исследований. Основными показателями экономичности силовых трансформаторов являются уровень и соотношение потерь холостого хода и короткого замыкания, оптимальные значения которых при проектировании трансформаторов следует находить, исходя из годового числа часов работы трансформаторов и графиков их нагрузок, определяющих время потерь в обмотках.

Учет характера потребителя при проектировании новых серий трансформаторов дает возможность определить оптимальные электромагнитные нагрузки трансформаторов для каждой группы потребителей (при различных условиях эксплуатации). Электромагнитные нагрузки

определяют, с одной стороны, степень использования электротехнических материалов, а с другой – уровень затрат на покрытие потерь в них. Это обуславливает актуальность определения оптимальных значений электромагнитных нагрузок.

Оптимальное значение плотности тока можно определить на основе решения задачи безусловной оптимизации по критерию "приведенные затраты", учитывающему как стоимость электротехнических материалов и затрат на изготовление трансформатора, так и эксплуатационные расходы, одной из составляющих которых являются затраты на компенсацию потерь Z_k в активных элементах конструкции, а именно в обмотках [4]. Если для повышающих трансформаторов, имеющих среднюю номинальную нагрузку порядка 70% , экономичное значение плотности тока для обмоток из алюминиевого провода составляет $j_{ЭК} = 1,5 \frac{A}{мм^2}$, а из медного – $j_{ЭК} = 3 \frac{A}{мм^2}$, то при номинальной нагрузке трансформатора, составляющей 30...40% от времени его работы, что характерно для понижающих (распределительных) трансформаторов, экономичное значение плотности тока для алюминиевых обмоток составит $j_{ЭК} = 2 \frac{A}{мм^2}$, для медных – $j_{ЭК} = 4 \frac{A}{мм^2}$. Оптимальное значение плотности тока в обмотке обратно пропорционально стоимости компенсации потерь в обмотке в степени 0,5.

Оптимальное значение индукции в магнитной системе определяется в результате решения оптимизационной структурно-параметрической задачи [5].

Для современных анизотропных электротехнических сталей экономичное значение индукции составляет $B_{ЭК} = 1,67 Тл$. Оно соответствует значению индукции в ярме, т.к. это элемент магнитной системы, в котором значение индукции может быть определено без учета влияния других элементов конструкции. Экономичное значение индукции в стержне должно быть на 3...4% больше, чем в ярме, т.е. $1,04 \times 1,67 = 1,74 Тл$.

Таким образом, при выполнении проектных исследований значение индукции с учетом 10% перевозбуждения принималось равным 1,7 Тл.

Рассмотрим существующее положение с использованием трансформаторного парка в электрических сетях на примере юга Одесской области. В данном случае приходится иметь дело с массовым явлением и большими совокупностями предмета исследования, поэтому удобно использовать методы математической статистики. По результатам измерений нагрузок выбранных трансформаторов построены графики распределения этих трансформаторов по величине их загрузки (рис.).

Для более эффективного использования полученных графиков необходимо преобразовать реальный суточный график нагрузки в эквивалентный двуступенчатый график в соответствии с [3] со ступенями

нагрузки K_1 и K_2 , где K_2 – максимум нагрузки. Продолжительность максимума нагрузки в течение t часов в год (рис. 2).

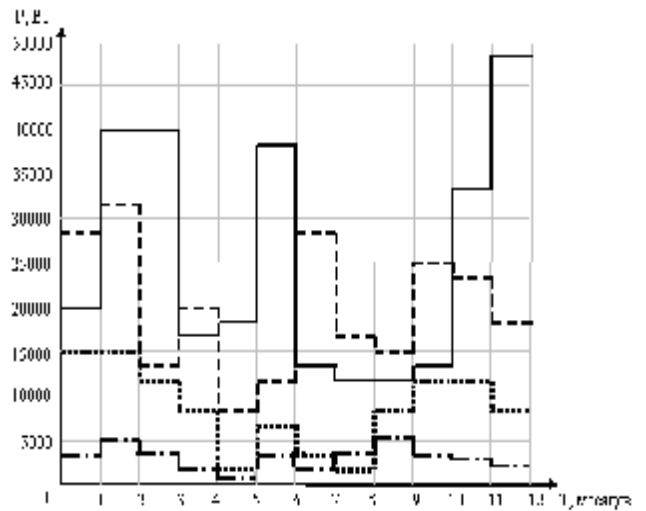


Рисунок 1 – Графики нагрузки трансформаторных подстанций

- Промышленные предприятия
- - - Предприятия пищевой промышленности
- . - Административные здания
- Торговые центры

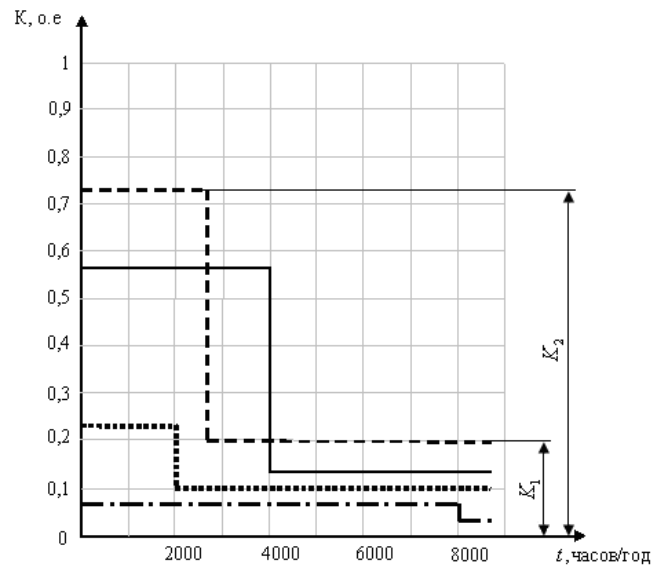


Рисунок 2 – Эквивалентные двухступенчатые графики нагрузки

Анализ типичных графиков нагрузки трансформаторов для различных потребителей позволяет систематизировать все распределительные трансформаторы по группам в зависимости от времени работы с номинальной нагрузкой. Условно можно выделить четыре группы трансформаторов, работающих с временем эквивалентных номинальных потерь, равным

$t_i = 2000 ; 2650 ; 4000 ; 8000$, и соответствующим соотношением годовых нагрузочных потерь ($P_{г.н.п.}$) к потерям холостого хода ($P_{х.х}$), равным

$$P_{х.х} = (0,25; 0,33; 0,5; 1,0) \cdot P_{г.н.п.}$$

Для определения оптимальной конструкции трансформатора с учетом рассмотренных выше методик определения экономичных значений индукции и плотности тока, были проведены исследования на базе трансформатора ТД-40000/110 с медными обмотками. При этом варьировались значения диаметра стержня и время номинальных потерь трансформатора. Полученные результаты представлены в таблице.

Таблица 1 – Характеристики трансформаторов ТД-40000/110 при разном времени номинальной нагрузки

$t_{н,ч}$	$З_{к, о.е.}$	$С_{а, грн}$	$D, мм$	$j, А/мм^2$	$q_{о, Вт/м^2}$	$\frac{P_{к.з.}}{P_{х.х}}, о.е.$
2000	0,25	314,9	570	4,2	2000	6,0
2650	0,33	336,6	590	3,5	1000	4,0
4000	0,5	378,6	610	3	780	3,0
8000	1,0	422	615	2,5	550	1,5

Проведенные проектные исследования позволяют прогнозировать изменение величины диаметра стержня в зависимости от времени номинальных потерь в трансформаторах в пределах 7%, а плотности тока в пределах 40%.

Выводы.

1. Представленные в работе графики нагрузок трансформаторов можно условно привести к двухступенчатому виду, что позволило принять для исследований номинальные ступени нагрузок, которые составляют $\frac{1}{3}, \frac{1}{2}$ или $\frac{2}{3}$ времени номинальных потерь от времени включения.

2. Высокое значение оптимальной плотности тока в трансформаторах с малым временем номинальных потерь обуславливает необходимость применения изоляции с высоким классом нагревостойкости.

3. Увеличение плотности тока в обмотках при малом времени номинальных потерь приводит к переходу на низшую ступень по диаметру стержня, что повлечет уменьшение затрат материалов на изготовление обмотки, и как следствие, уменьшение затрат на обмотку. Это приведет к ресурсо- и энергосбережению.

4. Увеличение тепловой нагрузки, связанное с уменьшением времени работы обмоток, как показывают исследования, приведет к незначительному усилению системы охлаждения.

5. При различных графиках нагрузки оптимальные значения соотношений потерь короткого замыкания и холостого хода значительно изменяются, что не учитывается действующими стандартами. Поэтому соответствующие нормы должны быть отражены в действующих стандартах.

6. Полученные результаты значительно облегчают анализ использования трансформаторов в сетях и подготовку соответствующих мер по их замене, т.к. рациональное использование трансформатора заключается в его экономичной и надежной работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Биндлер И.И., Пекелис В.Г., Смирнов А.И. Повышение эффективности использования силовых трансформаторов I габарита //Электротехника. – 1988. – № 2 – С. 6 – 8.
2. Борю Ю.И. Статистические характеристики обобщенной нагрузки силовых трансформаторов // Электротехника. – 1983. – № 4 – С. 6 – 9.
3. Силовые трансформаторы: Спр. книга/ Под ред. С.Д. Лизунова, А.К. Лоханина. – М.: Энергоиздат, 2004. – 616 с.
4. Чайковский В.П., Матухно В.А., Насыпаная Е.П. Оптимальное значение плотности тока в обмотках трансформаторов 1-го и 2-го габаритов //Збірник наукових праць. – Миколаїв: НУК, 2004. – № 3. – С.142-148
5. Чайковский В.П., Матухно В.А., Насыпаная Е.П. Экономическое значение индукции в магнитопроводе распределительных трансформаторов //Електромашинобуд. та електрообладн. – 2004. – Вип. 62. – С. 122 – 124.

Стаття надійшла 25.12.2008 р.
Рекомендовано до друку к.т.н., доц.
Некрасовим А.В.