

**УДК 621.311**

В.А. КОВАЛЕНКО, студент гр. ЭПб-141 (КузГТУ)  
А.С. СИЧЕВСКИЙ, студент гр. ЭПб-141 (КузГТУ)  
Научный руководитель Т.Л. ДОЛГОПОЛ, доцент (КузГТУ)  
г. Кемерово

## **ОЦЕНКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСФОРМАТОРОВ С СИММЕТРИРУЮЩИМ УСТРОЙСТВОМ**

В электрических сетях 0,4 кВ наибольшее распространение получили силовые трансформаторы со схемой соединения обмоток «звезда-звезда» (Y/Yn). Эти трансформаторы имеют относительно невысокую стоимость и экономичны в эксплуатации при симметричной нагрузке. Однако, как показывает практика, в сетях с большим количеством подключенных однофазных электроприемников появляется значительная несимметрия в их нагрузке. В результате этого, в обмотках трансформаторов и в линиях появляются дополнительные потери электрической энергии, связанные с наличием токов нулевой последовательности. Несимметричная нагрузка – одна из основных причин увеличения потерь электроэнергии в системах электроснабжения.

Для уменьшения потерь из-за несимметрии нагрузки фаз в системах электроснабжения потребителей с большой долей однофазных нагрузок целесообразнее использовать трансформаторы со схемой соединения обмоток «звезда-зигзаг» (Y/Zn) или трансформаторы со схемой Y/Yn с симметрирующим устройством (СУ).

Трансформаторы со схемой соединения обмотки низшего напряжения в зигзаг дороже, так как соединение в зигзаг требует большего на 15% числа витков обмотки по сравнению со «звездой».

Для оценки эффективности и целесообразности использования в системах электроснабжения с преобладающей долей однофазных нагрузок трансформаторов со схемой соединения Y/Zn и трансформаторов с симметрирующим устройством необходимо определить влияние несимметрии на увеличение потерь в трансформаторе.

Так как потери холостого хода в трансформаторах условно постоянны и определяются в основном потерями в магнитной системе, произведем сравнение трансформаторов по потерям короткого замыкания, зависящим от коэффициента загрузки.

На рис.1 приведены зависимости изменения потерь в обмотках трансформатора мощностью 100 кВА с традиционной схемой соединения обмоток от коэффициента загрузки при симметричной и несимметричной нагрузке.

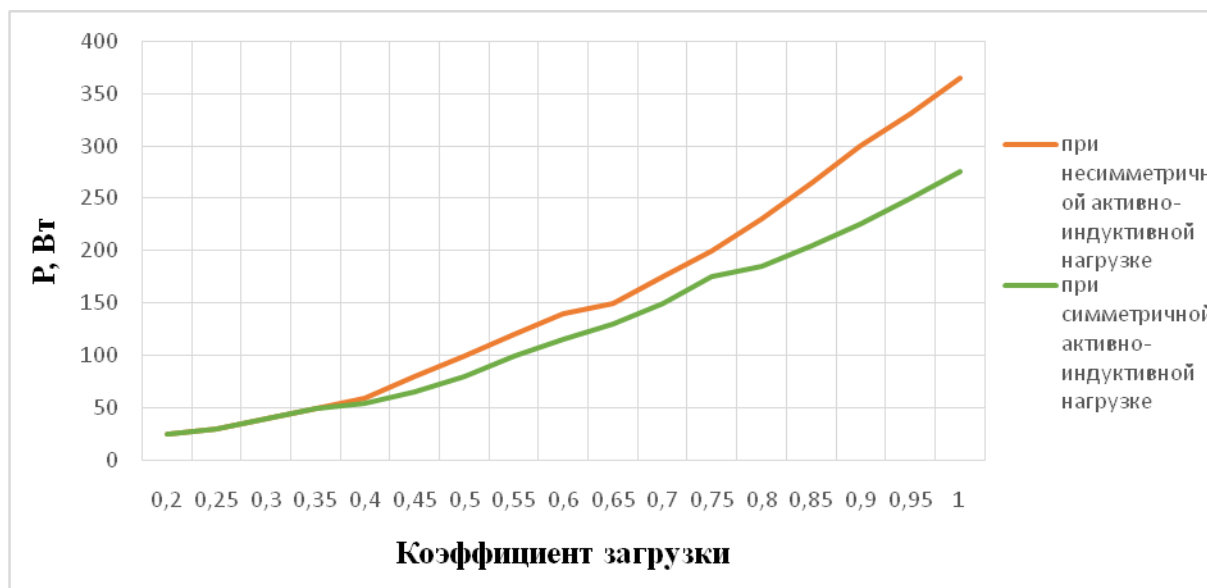


Рис.1. Зависимость потерь активной мощности в трансформаторе от коэффициента загрузки

Как следует из рис.1, при малых коэффициентах загрузки (до 0,4) несимметрия нагрузки (25%) не приводит к увеличению потерь в трансформаторе, т.к. трансформатор работает практически в режиме холостого хода и в нем преобладают магнитные потери. Но с увеличением нагрузки, дополнительные потери, обусловленные несимметрией нагрузки фаз, существенно увеличиваются и при номинальной загрузке трансформатора составляют почти 30% от потерь в симметричном режиме работы.

Безусловно, дополнительные потери от несимметрии нагрузки фаз будут зависеть от уровня несимметрии, определяемой величиной тока небаланса (табл.1).

Таблица 1

Результаты расчета потерь в трансформаторах

$S_H$ , кВА	$I_{нб}$	$P_k$ , Вт для трансформаторов со схемой соединения обмоток		
		Y/Y <sub>H</sub>	Y/Z <sub>H</sub>	Y/Y <sub>H</sub> с СУ
100	0	1970	2265	1970
100	0,1	1941	2127	1854
100	0,2	2125	2014	1770
100	0,25	2278	1967	1739
100	0,3	2492	1926	1716
100	0,4	3073	1863	1693
100	0,5	3857	1825	1702

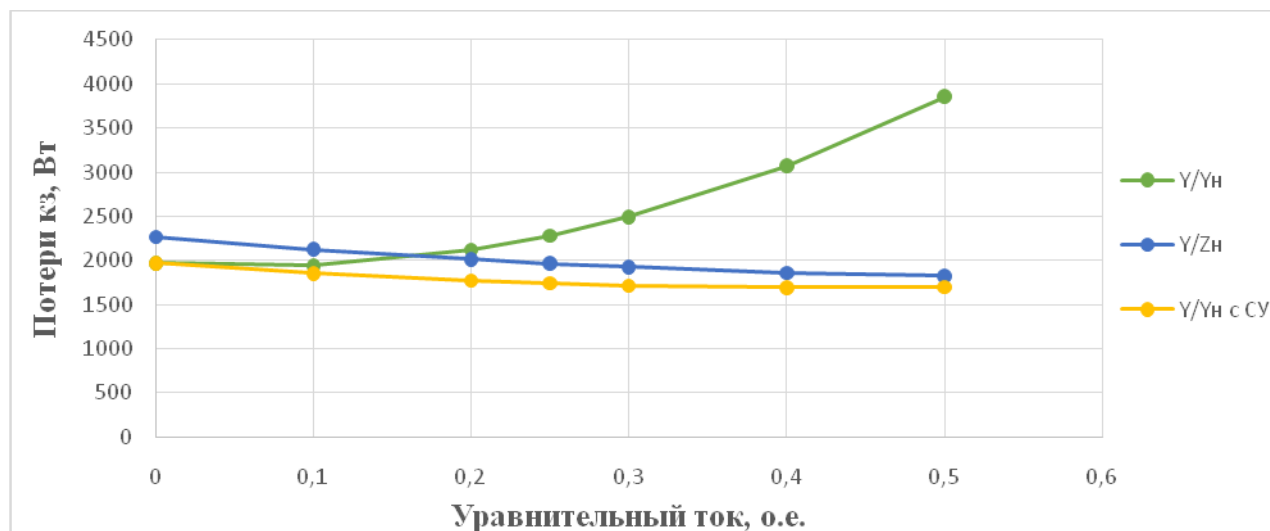


Рис.2. Зависимость потерь КЗ от величины уравнительного тока

Потери короткого замыкания в трансформаторах со схемой соединения  $Y/Z_n$  больше при симметричной нагрузке, чем у трансформатора с традиционной схемой, но с увеличением несимметрии использование таких трансформаторов приведет к существенному снижению дополнительных потерь. По эффективности трансформатор с симметрирующим устройством превосходит использование схемы «зигзаг» при любом уровне несимметрии.

Произведем оценку целесообразности использования трансформаторов различной с номинальной мощности с симметрирующими устройствами ( $I_{нб}=0,25$ ).

Таблица 2

Сравнение потерь в обмотках трансформаторов			
Мощность трансформатора, $S_n$ , кВА	Потери в трансформаторах, $P_k$ , Вт		
	Y/Y <sub>н</sub>	Y/Z <sub>н</sub>	Y/Y <sub>н</sub> с СУ
25	633	599	530
40	979	878	777
63	1450	1278	1130
100	2278	1967	1739
160	3272	2645	2339
250	4665	3694	3266

По данным табл.2 (рис.3) можно сделать вывод о том, что наиболее целесообразно использовать трансформаторы с симметрирующими устройствами с номинальной мощностью от 100 кВА и выше.

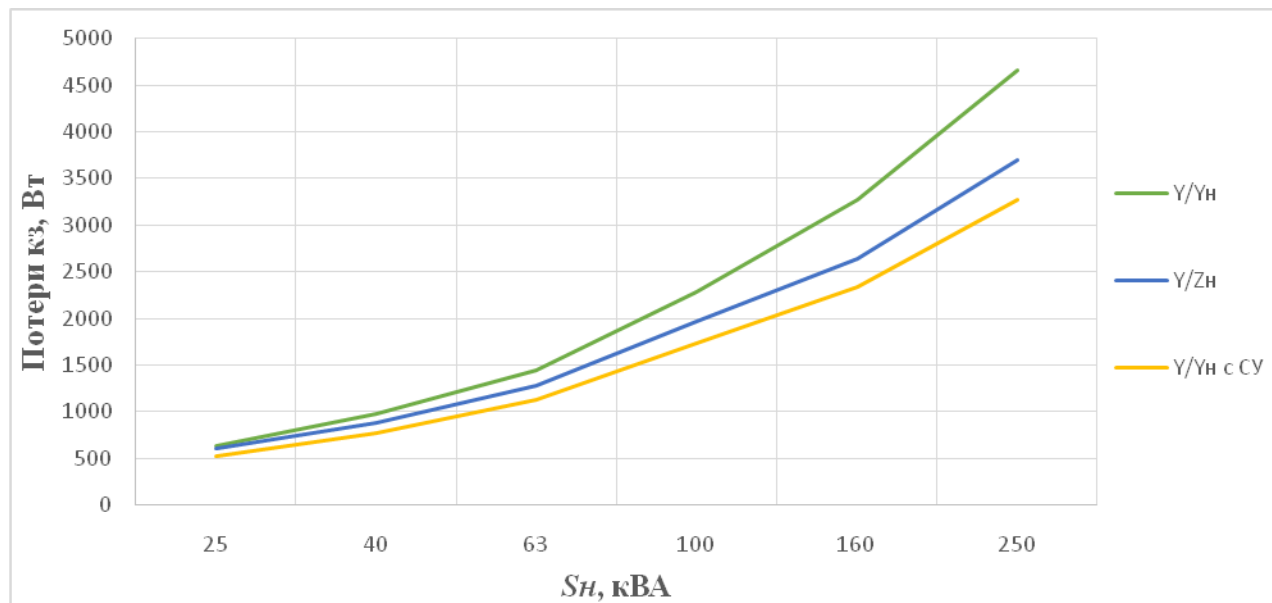


Рис.3. Зависимость потерь КЗ от номинальной мощности трансформатора при  $I_{нб} = 0,25$

Оценку эффективности трансформаторов с СУ с большей номинальной мощностью можно осуществлять по удельным потерям на единицу мощности.

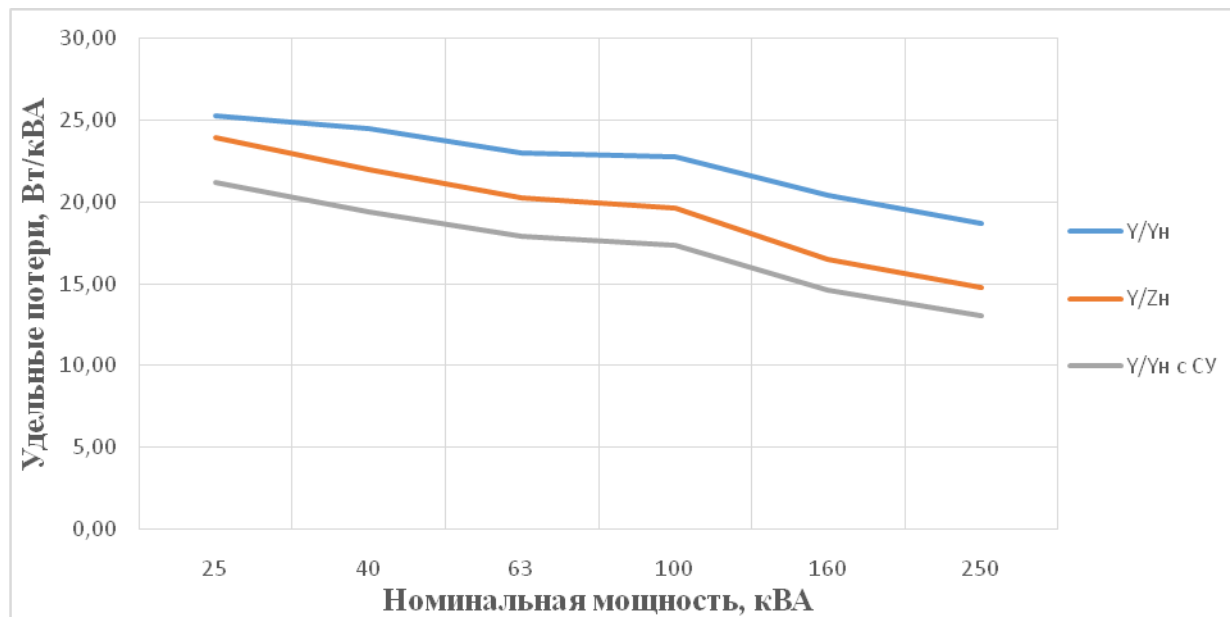


Рис.4. Зависимость удельных потерь от номинальной мощности

С увеличением номинальной мощности трансформатора происходит уменьшение удельных потерь, но соотношение этих потерь для рассматриваемых трансформаторов остается постоянным. Следовательно, это доказывает эффективность использования трансформаторов с СУ в сетях с несимметричной нагрузкой.

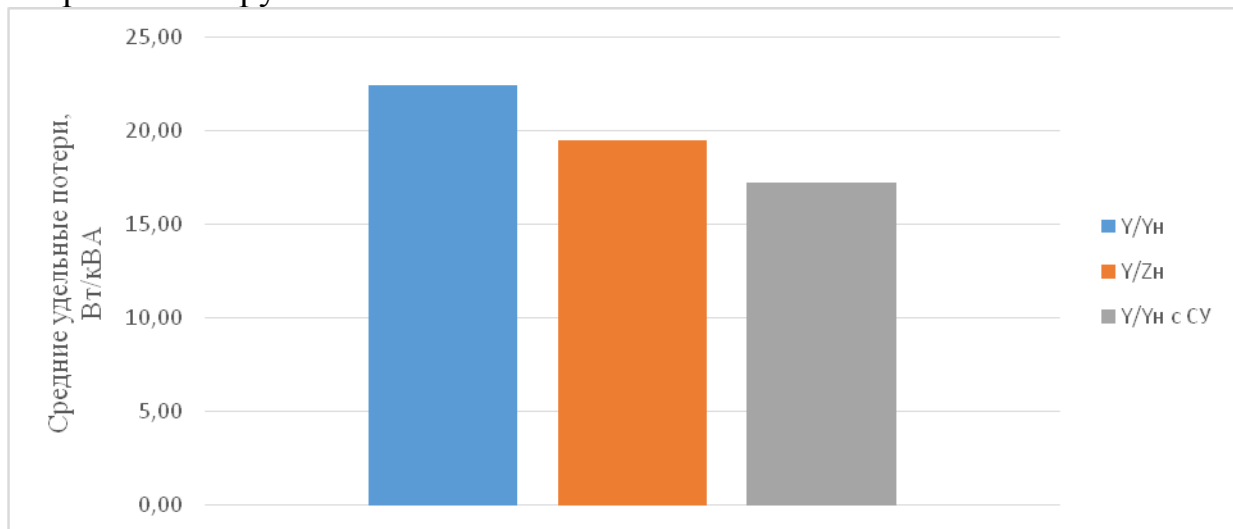


Рис.5. Соотношение средних удельных потерь от схемы соединения обмоток

Произведем расчет срока окупаемости трансформатора с СУ на примере трансформаторов ТМГ-250/10/0,4 У1 У/У<sub>н</sub>-0 стоимостью 161 660 рублей и ТМГСУ-250/10/0,4 У1 У/У<sub>н</sub>-0 стоимостью 191 160 рублей при необходимости замены эксплуатируемого трансформатора.

Экономия электроэнергии за год при использовании ТМГСУ составит:

$$\Delta W = \Delta P_T \cdot t = 12430,44 \text{ кВт} \cdot \text{ч}, \quad (1)$$

где  $\Delta P_T$  – разность потерь в трансформаторах, Вт;  $t$  – число часов, ч.

Тариф на электроэнергию, расходуемой на собственные нужды сетевых компаний, составляет 1,81 руб/кВт·ч. Годовая экономия в денежном эквиваленте составит:

$$\Delta \mathcal{E} = \Delta W \cdot T_{\mathcal{E}} = 22499,1 \text{ руб.}, \quad (2)$$

где  $T_{\mathcal{E}}$  – тариф на электрическую энергию, руб./кВт·ч.

Срок окупаемости ТМГСУ по сравнению с ТМГ:

$$DP = \frac{Inv}{\Delta \mathcal{E}} = \frac{29500}{31076,1} = 0,94 \text{ года}, \quad (3)$$

где  $Inv$  – разница объемов инвестиций на приобретение ТМГСУ и ТМГ.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что несмотря на более высокую стоимость трансформаторов ТМГСУ эффективность их использования в сетях с несимметричной нагрузкой экономически оправдана.

#### Список литературы:

1. Физическая модель: Распределительный трансформатор – несимметричная нагрузка. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.online-electric.ru/articles.php?id=76>.

2. Симметрирующее устройство для трансформаторов. Средство стабилизации напряжения и снижения потерь в сетях 0,4 кВ. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.news.elteh.ru/arh/2005/31/14.php>.