УДК 621.311

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТЕЙ АКТИВНОГО И РЕАКТИВНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ЦЕХОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ОТ ИХ НОМИНАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ

Грачева Е.И., Давлетгареева Г.Р.
ФГБОУ ВПО «КГЭУ»

Представлено исследование активного и реактивного сопротивления трансформаторов для оценки потерь напряжения. На основании обобщенных параметров получены диапазоны изменения параметров трансформаторов при изменении Sном.т. и составлены уравнения аппроксимации зависимостей этих параметров от Sном.т.
Ключевые слова: *электроснабжение, потери напряжения, активное и реактивное сопротивление, трансформатор.*

Современные системы электроснабжения объектов характеризуются значительной протяженностью и многоступенчатой трансформацией напряжения. В каждой ветви системы электроснабжения (линии, трансформаторы) имеются потери напряжения, которые зависят от параметров схемы замещения и от ее нагрузки. В режимах наибольших нагрузок потери напряжения относительно большие, в режимах малых нагрузок потери напряжения соответственно уменьшаются.

Как известно, потери напряжения в трансформаторах зависят от номинального напряжения, нагрузки электрического сопротивления. Номинальное напряжение сети, как правило, выбирают на основании технико-экономических расчетов, учитывающих затраты на сооружение и эксплуатацию сети. Поэтому применение повышенных номинальных напряжений только из соображений уменьшения потерь напряжения в сети обычно не оправдывается. Таким образом, изменять значения потерь напряжения в сети практически возможно только путем изменения сопротивления сети или ее нагрузки. Нормально допустимое значение установившегося отклонения напряжения ΔU на выводах приемников электрической энергии должно быть равно ±5% от номинального напряжения $U_{ном}$ электрической сети.

Для оценки потерь напряжения и потерь мощности целесообразно исследование активного и реактивного сопротивления трансформаторов: $R_т$ и $X_т$. Наиболее распространены в цехах трансформаторы типа ТМ,

ТМЗ, ТСЗ, ТНЗ. По результатам исследований получены следующие зависимости: Rт=f (Sном.т., кВА), Xт=f (Sном.т., кВА), где 160≤Sном.т.≤2500.

Проиллюстрируем графиками зависимости активного сопротивления Rт от номинальной мощности Sном.т. трансформаторов (рис. 1, 3, 5, 7). Также построены графики зависимости реактивного сопротивления Xт от номинальной мощности Sном.т. трансформаторов (рис. 2, 4, 6, 8). Графики построены для трансформаторов марки ТМ, ТМЗ, ТСЗ, ТНЗ мощность от 160 кВА до 2500кВА.

Ниже в таблицах представлены паспортные данные сравниваемых трансформаторов.

Таблица 1. Паспортные данные трансформатора ТМ

Sном.т (ТМ)	Rт, Ом	Xт,Ом
160	3,73	9,41
250	2,13	6,12
400	1,24	3,86
630	0,69	3,07
1000	0,44	1,93
1600	0,25	1,21
2500	0,15	0,78

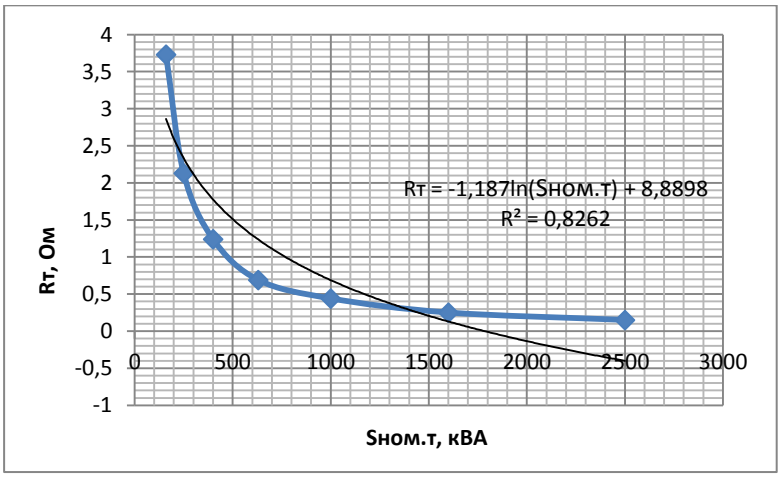


Рис.1. Зависимость Rт от Sном.т. для трансформатора ТМ

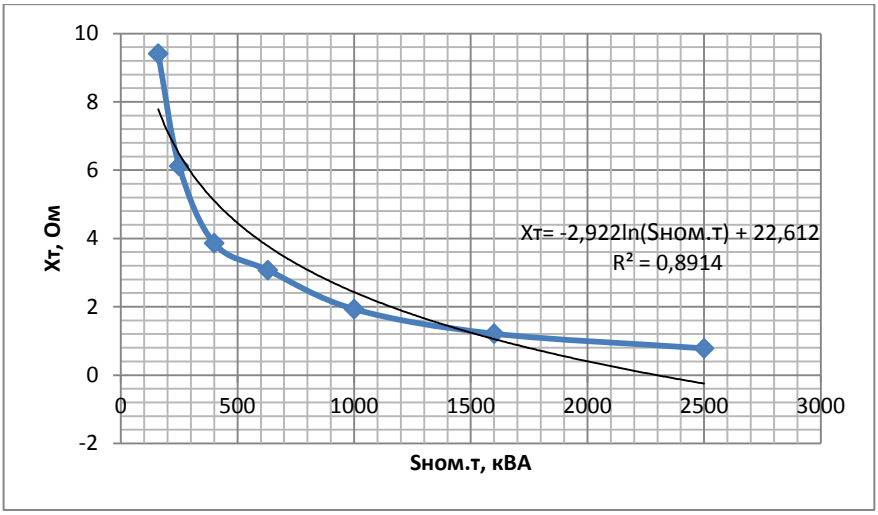


Рис.2. Зависимость Xт от Sном.т. для трансформатора ТМ

На рисунках 1 и 2 показаны графики изменения Rт и Xт от Sном.т, их аппроксимирующие функции Rт = -1,187ln(Sном.т) + 8,8898 и Xт = -2,922ln(Sном.т) + 22,612. Логарифмическая линия тренда с успехом применяется при моделировании характеристик, значения которых вначале быстро меняются, а затем постепенно стабилизируются. При подборе линии тренда автоматически рассчитываются значения величины R^2, которая характеризует достоверность аппроксимации: чем ближе значение R^2 к единице, тем надежнее линия тренда аппроксимирует исследуемый процесс. Коэффициент достоверности аппроксимации R^2 показывает степень соответствия трендовой модели исходным данным:

$$R^2 = \text{—},$$

где ^{2} – ^{2}

Y_j - это фактические значения, y_j – значения, вычисленные по уравнению аппроксимации, n - количество значений, по которым производится вычисление. В нашем случае $R^2 = 0,8262$ и $R^2 = 0,8914$.

На рис. 1 и рис. 2 видно, что модели с логарифмическим трендом, соответствует наибольшее значение достоверности аппроксимации.

Таблица 2. Паспортные данные трансформатора ТМ3

Sном.т (ТМ3)	Rт, Ом	Xт,Ом
160	-	-
250	2,13	6,12
400	1,24	4,79
630	0,69	3,65
1000	0,4	1,94
1600	0,23	1,22
2500	0,14	0,78

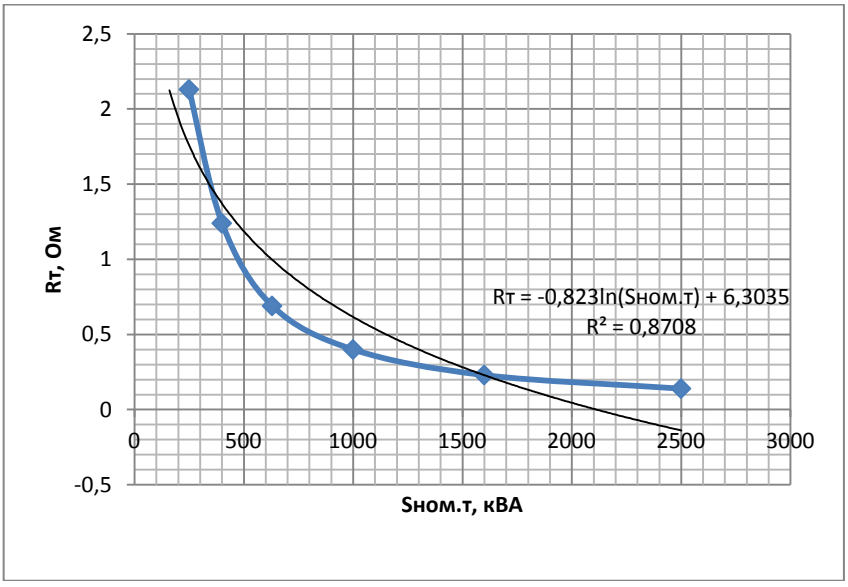


Рис.3. Зависимость Rт от Sном.т. для трансформатора ТМ3

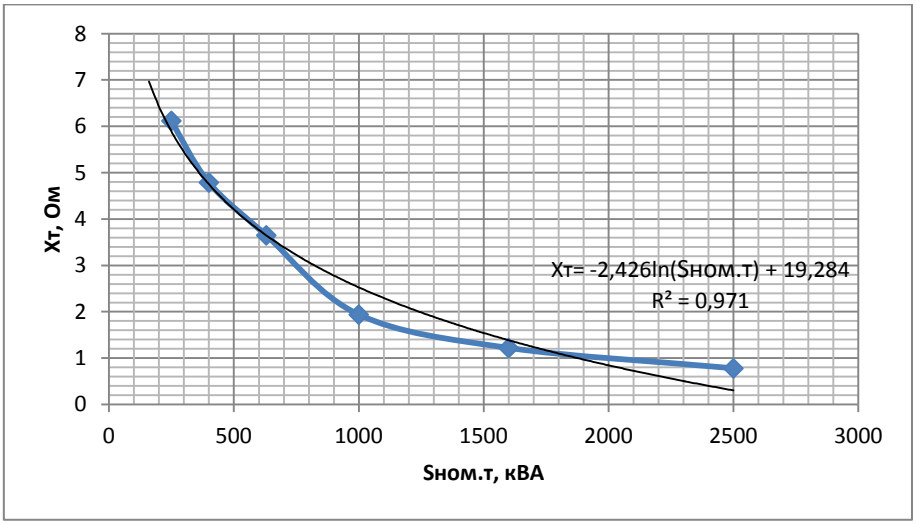


Рис.4. Зависимость Хт от Sном.т. для трансформатора ТМЗ

На рисунках 3 и 4 показаны графики изменения Rт и Хт от Sном.т, их аппроксимирующие функции Rт = -0,823ln(Sном.т) + 6,3035 и Хт = -2,426ln(Sном.т) + 19,284. Достоверность аппроксимации в этом случае R^2 = 0,8708 и R^2 = 0,971. На рис. 3 и рис. 4 видно, что модели с логарифмическим трендом, соответствует наибольшее значение достоверности аппроксимации.

Таблица 3. Паспортные данные трансформатора ТСЗ

Sном.т (ТСЗ)	Rт, Ом	Хт,Ом
160	10,55	32,72
250	6,08	21,14
400	3,38	13,33
630	1,84	8,53
1000	1,2	7,91
1600	0,63	3,38
2500	0,33	2,38

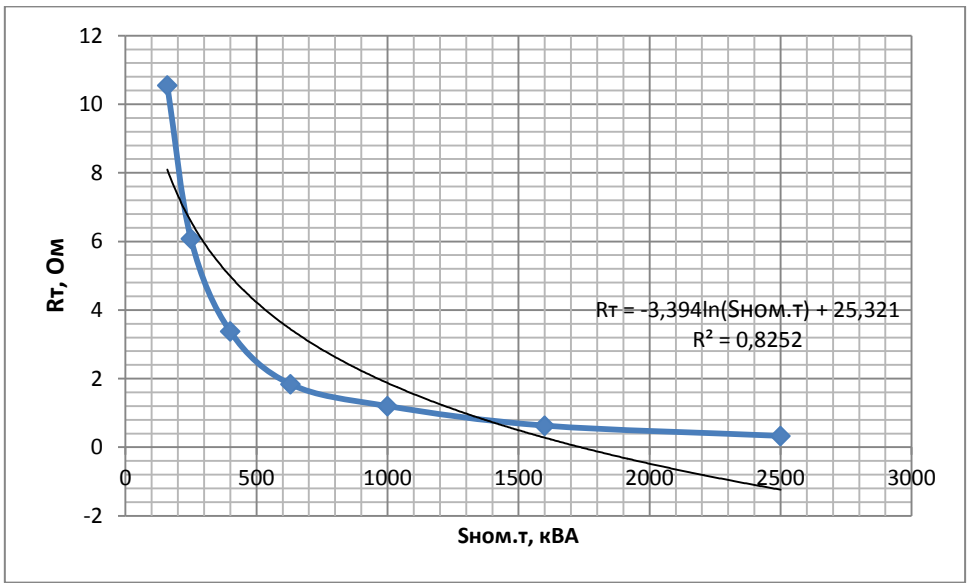


Рис.5. Зависимость Rт от Sном.т. для трансформатора ТС3

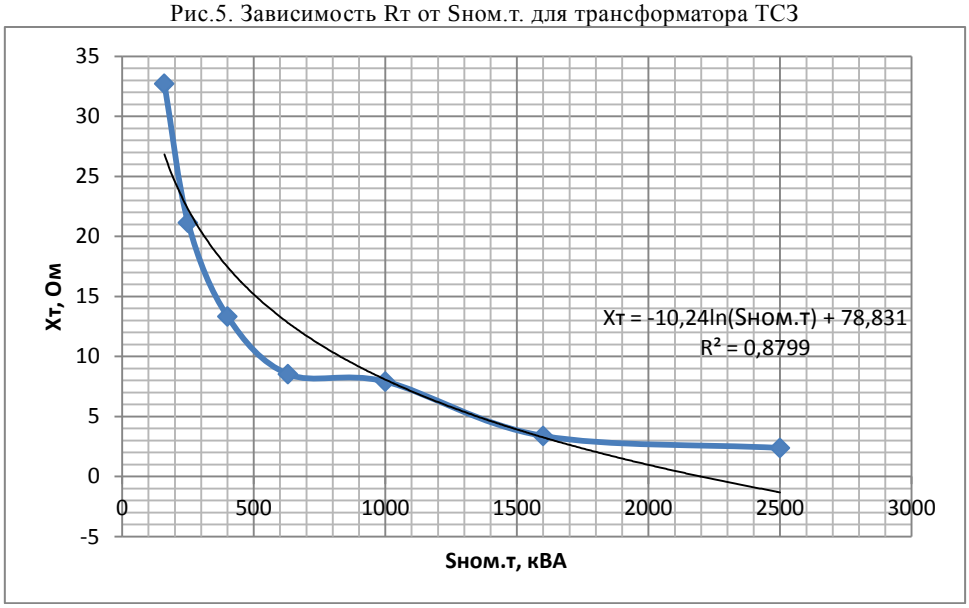


Рис.6. Зависимость Xт от Sном.т. для трансформатора ТС3

На рисунках 5 и 6 показаны графики изменения Rт и Xт от Sном.т, их аппроксимирующие функции Rт = -3,394ln(Sном.т) + 25,321 и Xт = -10,24ln(Sном.т) + 78,831. Достоверность аппроксимации в этом случае R^2 = 0,8252 и R^2 = 0,8799. На рис. 5 и рис. 6 видно, что модели с логарифмическим трендом, соответствует наибольшее значение достоверности аппроксимации.

Таблица 4. Паспортные данные трансформатора ТНЗ

Sном.т (ТНЗ)	Rт, Ом	Xт,Ом
160	–	–
250	–	–
400	–	–
630	0,69	3,07
1000	0,4	1,94
1600	0,23	1,22
2500	0,14	0,78

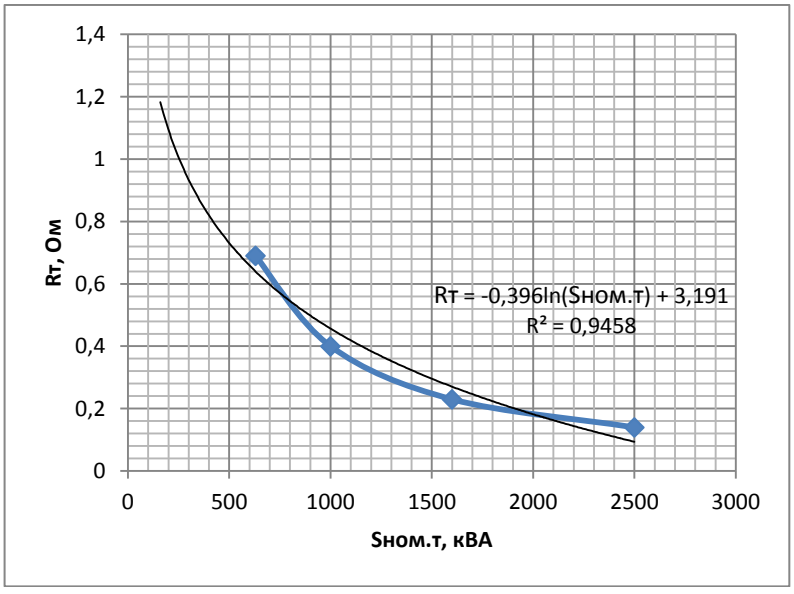


Рис.7. Зависимость Rт от Sном.т. для трансформатора ТНЗ

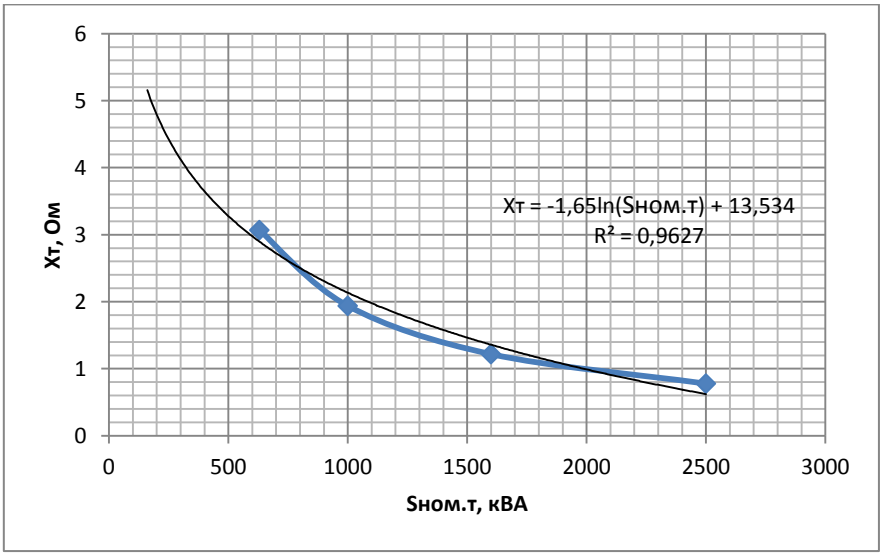


Рис.8. Зависимость Xт от Sном.т. для трансформатора ТНЗ

На рисунках 7 и 8 показаны графики изменения Rт и Xт от Sном.т, их аппроксимирующие функции Rт = -0,396ln(Sном.т) + 3,191 и Xт = -1,65ln(Sном.т) + 13,534. Достоверность аппроксимации в этом случае R^2 = 0,9458 и R^2 = 0,9627. На рис. 7 и рис. 8 видно, что модели с логарифмическим трендом, соответствует наибольшее значение достоверности аппроксимации.

Основные технические характеристики трансформаторов напряжением 6-10/0,4 кВ

Построим на одном рисунке зависимости Rт, Ом = f (Sном.т., кВА) и на другом Xт, Ом = f (Sном.т., кВА), где 160≤Sном.т.≤2500 для трансформаторов марки 1 – ТСЗ, 2 – ТМ, 3 – ТМЗ, 4 – ТНЗ (рис. 9 и 10).

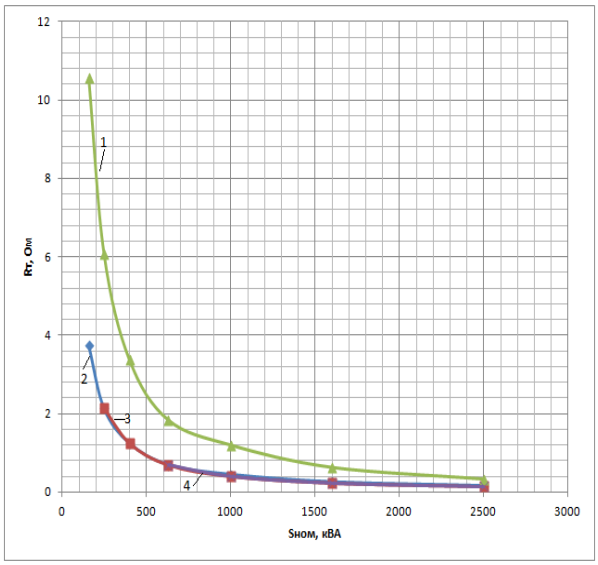


Рис. 9. Зависимость Rт, Ом = f (Sном.т., кВА)

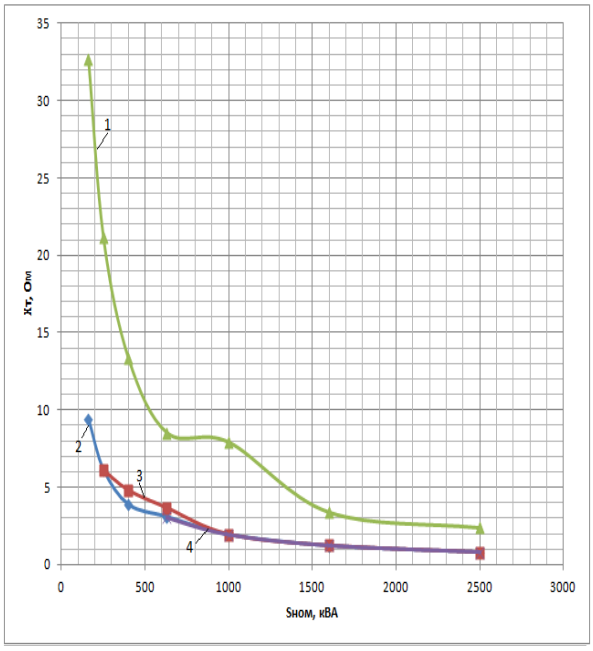


Рис.10. Зависимость Xт, Ом = f (Sном.т., кВА)

Графики показывают, что наиболее энергоэффективными являются трансформаторы типа ТМЗ и ТНЗ, которые имеют наименьшие значения активного и реактивного сопротивлений, что подтверждает полученный результат.

В таблице 5 рассмотрены диапазоны изменения параметров трансформаторов при изменении Sном.т. и составлены уравнения аппроксимации зависимостей этих параметров от Sном.т. (сопротивления приведены к U=10кВ).

Таблица 5. Диапазоны изменения параметров трансформаторов

Параметр	Диапазон	Уравнение при 25< Sном.т.<2500
ΔPк, кВт	0,6÷26	ΔPк = 0,0103 Sном.т + 0,9459 R^2 = 0,9961
ΔPх, кВт	0,13÷4,6	ΔPх = 0,0018 Sном.т + 0,2585 R^2 = 0,9859
ΔQк, кВар	1,125÷137,5	ΔQк = 0,0556 Sном.т - 1,3088 R^2 = 0,9993
ΔQх, кВар	0,8÷25	ΔQх = 0,0102 Sном.т + 2,4756 R^2 = 0,9383
Zт, Ом	0,8÷64,8	Zт = -11,46ln(Sном.т) + 79,247 R^2 = 0,738
Xт, Ом	0,78÷54,8	Xт = -9,833ln(Sном.т) + 68,347 R^2 = 0,7555
Rт, Ом	0,15÷34,6	Rт = -5,909ln(Sном.т) + 40,09 R^2 = 0,6863
$\varepsilon_т=X_т/R_т$	$\varepsilon_т$=1,58÷5,2	$\varepsilon_т$ = 0,8468ln(Sном.т) - 1,518 R^2 = 0,9488

Источники

1. Федоров А.А., Каменева В.В. Основы электроснабжения промышленных предприятий. М.: Энергоатомиздат. 1984
2. Лизунов С.Д., Лоханин А.К. и др. Силовые трансформаторы (справочная книга). М.:Энергоиздат. 2004.
3. Григорьев В.И., Киреева Э.А. и др. Справочная книга электрика. М.: Колос. 2004.
4. Шевченко В.В., Грачева Е.И. Определение потерь электроэнергии в цеховых сетях напряжением до 1000В // Промышленная энергетика. 2002. №1. С. 42-43.

5. Правила устройства электроустановок: Все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7. 8-й выпуск. Новосибирск: Сиб. унив. изд-во, 2007. 854 с.

RESEARCH OF THE DEPENDENCES OF ACTIVE AND REACTIVE RESISTANCE OF THE GUILD OF TRANSFORMERS FROM THEIR RATED POWER

Gracheva E.I., Davletgareeva G.R.

Research is presented of pure and reactive resistance transformers for estimating voltage loss. The variation ranges of transformer parameters when changing the rated power S and the equations of approximation of the dependency of these parameters from rated power S, based on generalized parameters, have been obtained.

Keywords: *power supply, voltage loss, active resistance, reactive resistance, transformer.*

Дата поступления 14.07.2015.