

УДК 621.313

**И.П. ЗАБОЛТНЫЙ** (д-р техн.наук, проф.), **С.А. ГРИШАНОВ**

Донецкий национальный технический университет

ivp@elf.dgtu.donetsk.ua

**ВЛИЯНИЯ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРА НА ПАРАМЕТРЫ РЕЖИМА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ**

In the work adequacy of the display physical processes in known equivalent schemes replacement of the transformer for the modeling established and transient regimes of electrical network. Dependency changes resistances windings of the transformer from branch to the device changes coefficient transformer are proposed. The estimation influence of equivalent schemes on capacity losses in the elementary electric network taking into account the received dependences resistance of windings and without taking into account is executed. Equivalent circuits of the transformer for modeling of transient regimes which consider distinctions in sizes of a magnetic stream in the core are considered.

**Актуальность темы.** Развитие электроэнергетических систем (ЭЭС) и существенное изменений условий их функционирования, обусловленных внедрением энергетического рынка и дефицитом энергоресурсов, на современном этапе развития энергетики существенно усложняют технологические задачи эксплуатации электроэнергетических объектов. Одним из направлений обеспечения необходимого уровня надежности ЭЭС при переходе от директивных методов управления их режимами к экономическим является развитие технологий моделирования с целью оперативного анализа множества возможных динамических ситуаций.

При анализе функционирования и управления режимами ЭЭС возникает необходимость выполнения большого объема работ по расчетам режимов. Эффективность управления режимами, в значительной мере, зависит от учета особенностей протекания процесса при моделировании и последующем их учете в программируемых устройствах управления и защиты. Таким образом, задача повышения адекватности математических моделей трансформаторов для уточнения расчета потерь мощности и энергии в установившихся режимах и параметров переходных режимов электрической сети, для диагностирования трансформатора является актуальной. На изменение сопротивлений обмоток трансформатора при переключении ответвления в устройстве ПБВ, РНП указывается в ряде работ. Так, например, в работе [1] приведена методика проведения анализа влияния отмеченного фактора на режим трансформатора. Однако оценки влияния на параметры режима сети Г-образной, Т-образной схемы замещения с учетом нелинейности сопротивлений обмоток отсутствуют.

**Цель и основные задачи исследований.** Целью работы является развитие модели трансформатора для анализа режимов электрических сетей.

Достижение цели связано с решением следующих задач:

- получение аналитических выражений для учета зависимости сопротивлений обмоток трансформатора от положения устройства регулирования коэффициента трансформации;
- сопоставление потерь мощности в простейшей электрической сети при представлении трансформатора Г – образной и Т – образной схемами замещения с учетом и без учета нелинейностей сопротивлений обмоток;
- сопоставление схем замещения по возможности учета различия магнитного потока в стержнях и ядре в переходных процессах.

**Результаты исследований.** На рис. 1 приведена схема простейшей электрической сети, для которой выполнялся анализ установившегося режима при представлении нагрузки постоянной мощностью, комплексным сопротивлением, статическими характеристиками (зависимости потребляемой мощности от напряжения) при использовании Г-образной (рис.2, а) и Т-образной (рис.2, б) схем замещения.

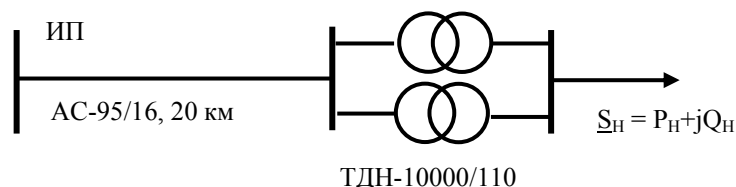


Рисунок 1 – Схема электрической сети

устройства изменения коэффициента трансформации трансформатора;

$R_L, X_L$  – сопротивления линии;  $B/2$  – емкостная проводимость линии;

$U_{ш}$  – напряжение на шунте намагничивания при использовании Т – образной схемы замещения;

$S_N = 14 + j8$  МВа.

На рис. 2 использованы обозначения:

$R_T^B, X_T^B$  – сопротивления обмотки высшего напряжения;

$R_T^H, X_T^H$  – сопротивления обмотки низшего напряжения;

$g_T, b_T$  – проводимости шунта намагничивания;

$n_T$  – номер ответвления

Известно, что при изменении ответвления устройства переключения трансформатора либо меняется число витков (ПБВ), либо усиливается или уменьшается магнитный поток (РПН), что приводит к изменению потерь активной мощности и напряжения в трансформаторах. Расчет параметров схемы замещения двухобмоточного трансформатора выполнялся по известным соотношениям:

$$X_T = \frac{U_{K \text{ п-отв}} \cdot U_{НОМ \text{ п-отв}}^2}{100 \cdot S_{НОМ}}; r_T = \frac{\Delta P_{K \text{ п-отв}} \cdot U_{НОМ \text{ п-отв}}^2}{S_{НОМ}^2},$$

где  $U_{K \text{ п-отв}}$  – напряжение короткого замыкания для п-ого ответвления устройства РПН;

$U_{НОМ \text{ п-отв}}$  – напряжение на стороне ВН трансформатора при п-ом ответвлении РПН;

$\Delta P_{K \text{ п-отв}}$  – активная мощность короткого замыкания для п-ого ответвления устройства РПН;

$S_{НОМ}$  – номинальная мощность трансформатора.

Значения напряжения и мощности короткого замыкания являются каталожными данными и приводятся для крайних ответвлений и нулевого [2]. Поэтому значения сопротивлений схемы замещения также можно определить для тех же ответвлений РПН.

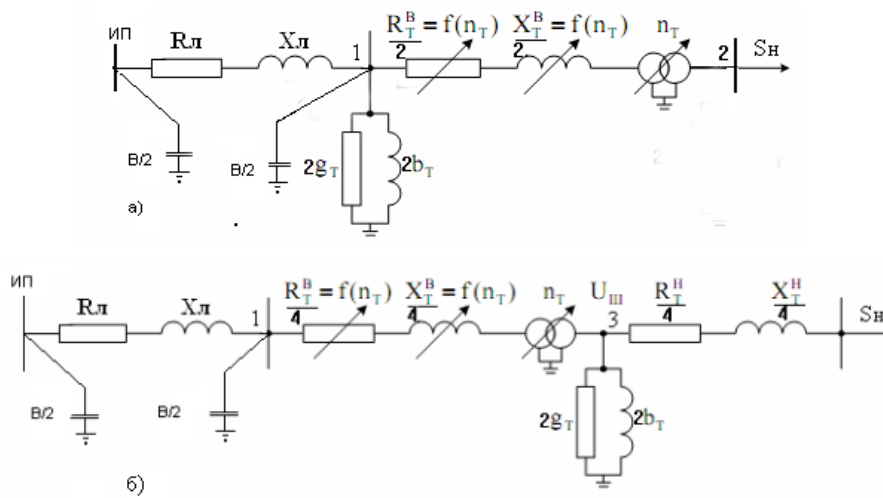


Рисунок 2 – Расчетная схема замещения сети (а – с Г-образной схемой замещения трансформатора; б – с Т-образной схемой замещения трансформатора)

Сопротивления  $R_T^B$  и  $X_T^B$  обмотки ВН трансформатора есть функции от коэффициента трансформации  $n_T$  и имеют, в общем случае, нелинейный характер

$$X_T(n_T) = a_1 \cdot n_T^2 + a_2 \cdot n_T + a_0, \quad R_T(n_T) = b_1 \cdot n_T^2 + b_2 \cdot n_T + b_0.$$

Коэффициенты уравнений определяются с помощью метода наименьших квадратов при использовании экспериментальных данных из опыта короткого замыкания трансформаторов при различных значениях коэффициента трансформации трансформатора.

Потери мощности в проводимостях шунта намагничивания определялись по выражениям:

$$\Delta P_X = U_{III}^2 \cdot g_T, \quad \Delta Q_X = U_{III}^2 \cdot \epsilon_T.$$

С помощью компьютерной программы были проведены многовариантные расчеты. Результаты сопоставления частично приведены на рис. 3-5. Из сопоставления следует, что:

- существенное влияние на потери мощности в трансформаторах и в целом в сети оказывает модель нагрузки (рис. 3);

- максимальное отличие в потерях активной мощности при использовании Г-образной и Т-образной схем замещения трансформатора составляет 1.8%, а зависимости потерь реактивной мощности практически совпадают;

- отличия между потерями мощности для минимального и максимального коэффициентов трансформации трансформатора по сравнению со значениями потерь при номинальном коэффициенте трансформации при учете нелинейности сопротивлений обмотки и при учете нагрузки постоянной мощностью более значительны. Для 18 ответвления отличия составляют 18 % по активной мощности и 22 % по реактивной мощности, а для нулевого 8 % и 10 % соответственно.

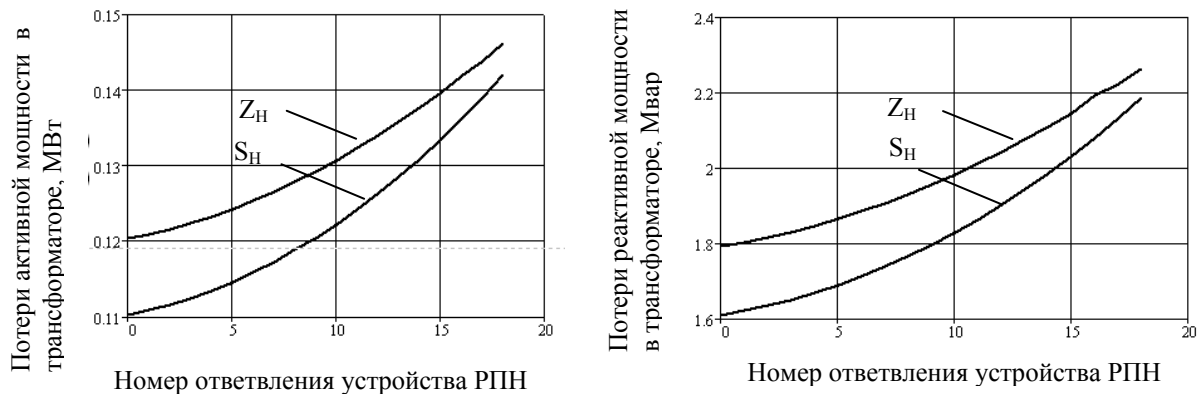


Рисунок 3 – Потери активной и реактивной мощности в трансформаторах при учете нагрузки сопротивлением и постоянной мощностью и при учете изменения сопротивлений

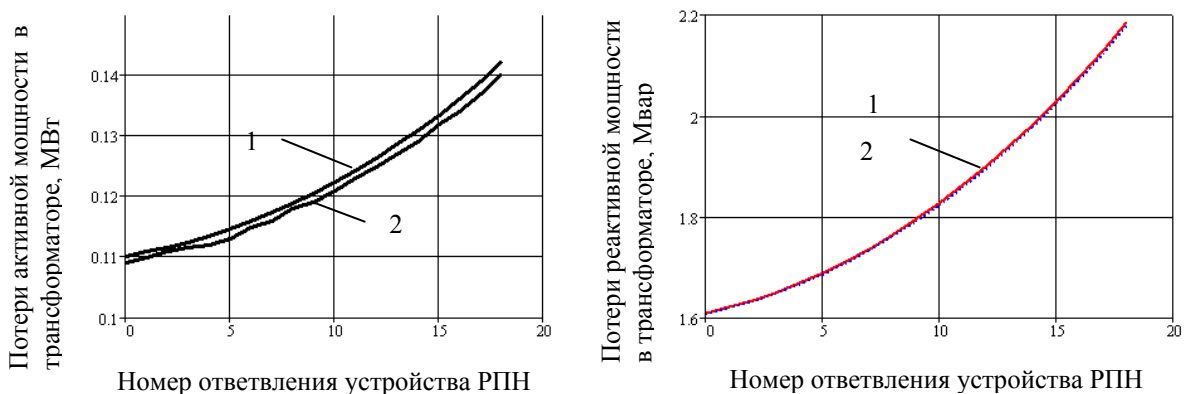


Рисунок 4 – Потери активной и реактивной мощности в трансформаторах при учете нагрузки постоянной мощностью и при учете изменения сопротивлений обмотки (1 – Г-образная, 2 – Т-образная схемы замещения трансформатора)

Классическая схема замещения трансформатора, используемая для анализа переходных процессов, построена на концепции одинаковой величины магнитного потока в стержне и боковом ярме, что приводит к противоположным выводам при анализе влияния насыщения при коротких замыканиях при номинальном напряжении [3]:

- магнитный поток сердечника при КЗ почти в два раза меньше чем в нормальном режиме и сердечник не насыщен;

- в установившемся режиме КЗ магнитный поток превышает поток в режиме холостого хода примерно на 12%, что приводит к насыщению сердечника.

В [3] предложены схемы замещения трансформатора, так называемые 2Т-образные, в которых более полно учитываются особенности физических процессов, протекающих в магнитопроводе и обмотках. В этой же работе, на основании исследования 2Т-образных схем замещения, показано, что существует различие в величинах магнитных потоков в стержне и боковом ярме и что при КЗ размагничивается только боковое ярмо, тогда как стержень и окно намагничиваются.

Для анализа переходных процессов в [3] предложена упрощенная 2Т-схема (рис. 5), которая получена в предположении, что магнитная проницаемость стержня трансформатора много больше проницаемости воздуха.

По результатам анализа в [3] сделаны выводы:

- стержень трансформатора в установившемся режиме КЗ перенасыщается по сравнению с его насыщением при работе в режиме холостого хода;

- ударный ток включения трансформатора существенно превышает ток, рассчитываемый по классической схеме. На основании проведенного анализа можно сделать вывод, что при диагностировании трансформатора, при настройке устройств РЗА целесообразно использовать упрощенную 2Т-образную схему замещения трансформатора, которая является более адекватной по сравнению с классической схемой замещения для моделирования переходных процессов в сетях с трансформаторами.

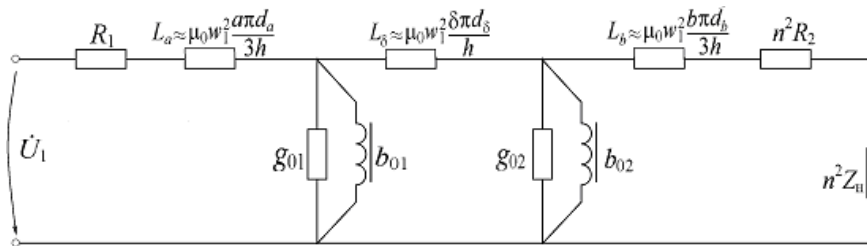


Рисунок 5 – Упрощенная 2Т-образная схема трансформатора

На основании проведенного анализа можно сделать следующие **выводы**:

- расчет установившегося режима электрической сети и при учете нелинейности сопротивлений обмотки от коэффициента трансформации целесообразно выполнять, используя более простую Г-образную схему замещения;
- при разработке мероприятий по повышению экономичности установившихся режимов электрической сети необходимо использовать Г-образную схему замещения с учетом нелинейности сопротивлений обмотки трансформатора от коэффициента трансформации;
- для моделирования переходных режимов целесообразно использовать упрощенную 2Т-образную схему замещения, которая более адекватно описывает физические явления в трансформаторе по сравнению с классической схемой замещения.

### Список литературы

1. Кононов Ю.Г., Межев М.В., Новиков М.С. Исследование зависимости активного сопротивления обмотки высшего напряжения трансформатора ТМ-25/10 от положения регулировочных ответвлений переключателя без возбуждения // Материалы XXXV научно-технической конференции по результатам работы профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов СевКавГТУ за 2005 год. Ставрополь: СевКавГТУ, 2006. Том первый. Естественные и точные науки. Технические и прикладные науки. 163 с.
2. ГОСТ 12965-74. Трансформаторы силовые масляного общего назначения классов напряжения 110 и 150 кВ.
3. Кияткина М.Р. Новые схемные модели трансформаторов для расчета переходных процессов.// Сборник докладов 3-й международной научно-практической конференции «Энергосистема: управление, конкуренция, образование». Екатеринбург. 2008.

Надійшла до редколегії 19.05.2009

Рецензент: Г.Г.Рогозін

**И.П. ЗАБОЛОТНЫЙ, С.А.ГРИШАНОВ**

Донецкий национальный технический университет

**І.П. ЗАБОЛОТНИЙ, С.О.ГРИШАНОВ**

Донецький національний технічний університет

**Влияния схемы замещения трансформатора на параметры режима электрической сети.** В работе анализируется адекватность отображения физических процессов в используемых для моделирования установившихся и переходных режимов электрической сети схемах замещения трансформатора. Предложены зависимости для учета изменения сопротивлений обмоток трансформатора от положения ответвления в устройстве изменения коэффициента трансформатора. Выполнена оценка влияния Г-образной и Т-образной схем замещения с учетом полученных зависимостей сопротивлений обмоток и без учета на потери мощности в простейшей электрической сети. Рассмотрены схемы замещения трансформатора для моделирования переходных режимов, учитывающие различия в величинах магнитного потока в стержне и боковом ярме.

**Схема замещения трансформатора, переходный режим, моделирование, магнитный поток.**

**Вплив схеми заміщення трансформатора на параметри режиму електричної мережі.** У роботі аналізується адекватність відображення фізичних процесів в схемах заміщення трансформатора які використовуються для моделювання стійких та перехідних режимів електричної мережі. В роботі запропоновані залежності для обліку зміни опорів обмоток трансформатора від положення відгалуження в пристрої зміни коефіцієнта трансформатора. Виконана оцінка впливу Г-подібної і Т-подібної схем заміщення з урахуванням отриманих залежностей опорів обмоток і без обліку втрат потужності в найпростішій електричній мережі. Розглянуті схеми заміщення трансформатора для моделювання перехідних режимів, що враховують відмінності у величинах магнітного потоку в стержні та боковому ярмі.

**Схема заміщення трансформатора, перехідні режими, моделювання, магнітний потік**