

## **К ВОПРОСУ О ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

**Канд. техн. наук, доц. РАДКЕВИЧ В. Н., асп. ТРУШНИКОВ А. Л.**

*Белорусский национальный технический университет*

В системах электроснабжения промышленных предприятий используются силовые трансформаторы напряжением (6–10)/(0,4–0,69), 10/6 и (35–220)/(6–10) кВ. От их работы зависят эффективность функционирования производственных объектов различных отраслей народного хозяйства и величина потерь электроэнергии в сетях разных напряжений.

Наиболее распространенными являются трансформаторы с первичным напряжением 6–10 кВ, питающие разнообразные электроприемники на напряжении 0,4–6 кВ. Режимы работы указанных трансформаторов в значительной степени обусловлены технологическим процессом конкретного производства. В зависимости от объема производимой продукции нагрузки трансформаторов колеблются в широком диапазоне. При этом возможны как периоды холостого хода, так и перегрузки отдельных трансформаторов. Поэтому эти трансформаторы в первую очередь нуждаются в повышении эффективности их использования путем своевременного изменения числа работающих трансформаторов, так как трансформаторы главных понизительных подстанций (ГПП) и подстанций глубокого ввода с первичным напряжением 35 кВ и выше с целью снижения потерь электроэнергии во многих случаях отключать недопустимо по требованиям надежности электроснабжения потребителей [1].

Реализуемые в процессе построения систем электроснабжения принципы глубокого секционирования схем вплоть до цеховых распределительных пунктов, технологического резервирования ответственных производственных установок, выбора электрооборудования с определенным запасом по мощности и току, т. е. с неявным (скрытым) резервом, а также резервирования питания путем создания перемычек между подстанциями на напряжении до 1 кВ создают предпосылки для повышения эффективности использования установленной мощности трансформаторов с высшим напряжением 6–10 кВ. При этом действующие СН 174–75 [2] предусматривают применение в системах электроснабжения промышленных предприятий систем телеуправления и телесигнализации в объемах, определяемых соответствующим технико-экономическим обоснованием.

Надежная и длительная работа силовых трансформаторов возможна лишь при четком соблюдении всех требований, регламентированных действующей нормативно-технической документацией [3], и руководств по эксплуатации конкретных типов трансформаторов. Для этого необходимо соблюдать установленные температурные режимы и уровни напряжения, контролировать максимальные нагрузки в нормальных и послеаварийных режимах, отслеживать график нагрузки, в зависимости от которого определять и соблюдать оптимальное число работающих трансформаторов

в целях снижения потерь мощности и электроэнергии и т. д. При этом следует учитывать конкретные условия эксплуатации, так как внутрицеховые трансформаторные подстанции (ТП) максимально приближаются к технологическим электроприемникам и при открытой установке могут подвергаться неблагоприятному воздействию окружающей среды, обусловленному производственной деятельностью.

К сожалению, в реальных условиях функционирования электрического хозяйства промышленного предприятия, в состав которого входят и системы электроснабжения, всегда находятся частные, но в то же время весомые причины, связанные с работой технологического оборудования, препятствующие выполнению в полном объеме комплекса требований, обеспечивающих оптимальную эксплуатацию силовых трансформаторов. В отличие от электрических сетей энергосистем на промышленных предприятиях, особенно небольших, встречаются случаи безразличного отношения к эксплуатации трансформаторов при их нормальном функционировании по причинам недостаточного уровня квалификации обслуживающего персонала и отсутствия побудительных мотивов директивного или поощрительного характера, имеющих целью повышение эффективности использования электрооборудования. Отметим также, что некоторые требования правил технической эксплуатации силовых трансформаторов [3] неоднозначны и трудноосуществимы в полном объеме без мониторинга режимных параметров. Это в первую очередь относится к определению допустимых перегрузок трансформаторов и обеспечению их температурных режимов.

Трансформаторные подстанции промышленных объектов, как правило, эксплуатируются без постоянного обслуживающего персонала. Поэтому при отсутствии устройств дистанционного контроля замеры нагрузок и температуры производятся эпизодически и со значительными погрешностями. Это не позволяет отслеживать процесс теплового и вибрационного износа изоляции, а также осуществлять оптимальную эксплуатацию силовых трансформаторов. Организацию постоянного контроля за работой трансформаторных подстанций предприятия можно осуществлять двумя путями: расширением функциональных обязанностей персонала энергетических служб, что может потребовать привлечения дополнительных работников, или внедрением автоматизированной системы управления работой трансформаторных подстанций. На наш взгляд, предпочтителен второй путь. Необходимо отметить, что относительно компактное расположение цеховых трансформаторных подстанций и стабильность схем распределения электроэнергии на промышленных предприятиях по сравнению с электрическими сетями 6–10 кВ энергосистемы являются благоприятными факторами для внедрения в системах электроснабжения телемеханических автоматизированных систем с функциями измерения, управления и сигнализации. Также в случае внедрения автоматизированной системы исключается или сводится к минимуму человеческий фактор.

Идея автоматизации управления работой трансформаторов в зависимости от нагрузки присоединенных потребителей не нова, но отнюдь не тривиальна, так как на промышленных предприятиях она практически не реализована в полном объеме с учетом комплекса требований нормативно-

технической документации. Имеющиеся теоретические разработки по данному вопросу в основном касаются параллельной работы трансформаторов на подстанциях, в то время как на промышленных объектах, как правило, предусматривается их раздельная работа на общую нагрузку. Например, в [4] предлагается производить автоматическое режимное отключение трансформаторов с первичным напряжением 110 кВ во время провалов электрической нагрузки. В качестве параметров, определяющих необходимость включения или отключения трансформаторов, используются нагрузка трансформатора и текущая дата. Поскольку во время каждого вечернего провала нагрузки невозможно отключать трансформаторы по причине ограниченного коммутационного ресурса выключателей, предлагается отключать их при значительных снижениях нагрузки в выходные дни. Такой подход применим для трансформаторов класса напряжения 110–330 кВ. Для трансформаторов 6–10/0,4 кВ систем электроснабжения промышленных предприятий характерны более изменчивый график нагрузки, зависящий от количества производимой продукции, и более сложные схемы распределения электроэнергии на вторичном напряжении. Поэтому необходимо контролировать значительное число эксплуатационных параметров и иметь гибкий алгоритм управления работой по некоторому выбранному критерию оптимальности.

Следует отметить, что нельзя рассматривать оптимизацию работы силовых трансформаторов обособленно от остальных элементов систем электроснабжения (СЭС). Это связано с тем, что при любых изменениях режима работы трансформатора изменяются нагрузки и сопряженных с ним других элементов СЭС, например питающих трансформаторы кабельных линий напряжением 6–10 кВ.

Для оптимизации режимов работы силовых трансформаторов промышленных подстанций необходимы теоретический аппарат оптимизации и программно-аппаратный управляющий комплекс (ПАУК). Теоретический аппарат оптимизации – это прежде всего некий критерий оптимальности, формализованный с помощью математической модели оборудования, эксплуатацию которого предполагается оптимизировать. С этой целью составляется алгоритм, описывающий реализацию оптимальной эксплуатации, в который вводятся дополнительные условия, как правило, ограничивающие. На основе данного алгоритма разрабатывается программа, применение которой позволит повысить эффективность использования силовых трансформаторов в СЭС промышленных предприятий.

Применительно к силовым трансформаторам промышленных объектов в качестве критерия оптимальности можно принять минимум потерь электроэнергии за рассматриваемый период эксплуатации, так как стоимость потерь электроэнергии входит в энергетическую составляющую себестоимости продукции. В этом случае целевая функция будет иметь вид

$$\min \sum_{i \in n_t} \Delta W_i, \quad (1)$$

где  $\Delta W_i$  – потери электроэнергии в  $i$ -м трансформаторе;  $n_t$  – количество трансформаторов в системе электроснабжения предприятия (на трансформаторной подстанции).

При этом должны соблюдаться следующие ограничения [5]:

$$S_i \leq S_{\text{доп}i}; I_i \leq I_{\text{доп}i}; \Theta_{Mi} \leq \Theta_{\text{доп}i}, i = 1, n_T, \quad (2)$$

где  $S_i$  и  $S_{\text{доп}i}$  – полная расчетная и допустимая мощности нагрузки  $i$ -го трансформатора;  $I_i$  и  $I_{\text{доп}i}$  – расчетный и допустимый токи нагрузки в цепях первичного и вторичного напряжений  $i$ -го трансформатора;  $\Theta_{Mi}$  и  $\Theta_{\text{доп}i}$  – ожидаемая и допустимая температуры жидкого диэлектрика (обмоток)  $i$ -го трансформатора.

Повысить эффективность работы электрооборудования при снижении общей нагрузки можно путем отключения части малозагруженных трансформаторов с переводом питания их потребителей на соседние трансформаторы. Программа оптимизации в таком случае использует данные о нагрузках трансформаторов и выдает сигналы на их отключение. По мере роста нагрузки алгоритм выдает команду на включение необходимого количества отключенных трансформаторов. Ограничивающими условиями в данном случае являются:

- надежность электроснабжения потребителей, присоединенных к рассматриваемой трансформаторной подстанции;
- математическое ожидание электрической нагрузки других, связанных с силовым трансформатором, элементов СЭС и их пропускная способность;
- предварительная загрузка трансформаторов;
- предшествующее значение суммарного износа трансформаторов [5];
- степень износа и допустимое число коммутационных циклов высоковольтных выключателей.

При учете перечисленных условий обеспечиваются оптимальная работа силовых трансформаторов по критерию минимума потерь активной мощности и электроэнергии и равномерный расход ресурса силовых трансформаторов, питающих кабелей и других элементов. В простейшем случае указанным способом можно локально оптимизировать работу двухтрансформаторной подстанции.

Для программы оптимизации требуются исходные данные, часть из которых является условно-постоянными (паспортные данные: номинальная мощность, потери холостого хода и короткого замыкания и т. д.), а часть – условно-переменными (текущий коэффициент загрузки, текущее значение относительного износа витковой изоляции, температура масла в верхних слоях и т. д.). Перечисленные величины характеризуют силовой трансформатор и его работу. Помимо этого, в алгоритме оптимизации следует учесть и параметры сопряженных с ним других элементов СЭС, на которые степень загрузки влияет в большей степени.

Выходными данными являются информация о достижении контролируемыми параметрами некоторых критических значений, после чего принимается решение и подается сигнал на отключение или включение конкретных трансформаторов.

Упрощенная схема функционирования системы управления трансформаторами приведена на рис. 1. Конкретная реализация приведенной схемы существенно зависит от применяемого ПАУК, имеющего в своем составе

как средства программирования в соответствии с заданным алгоритмом, так и технические средства для получения исходных данных, исполнения программы и выработки сигналов управляющих воздействий.

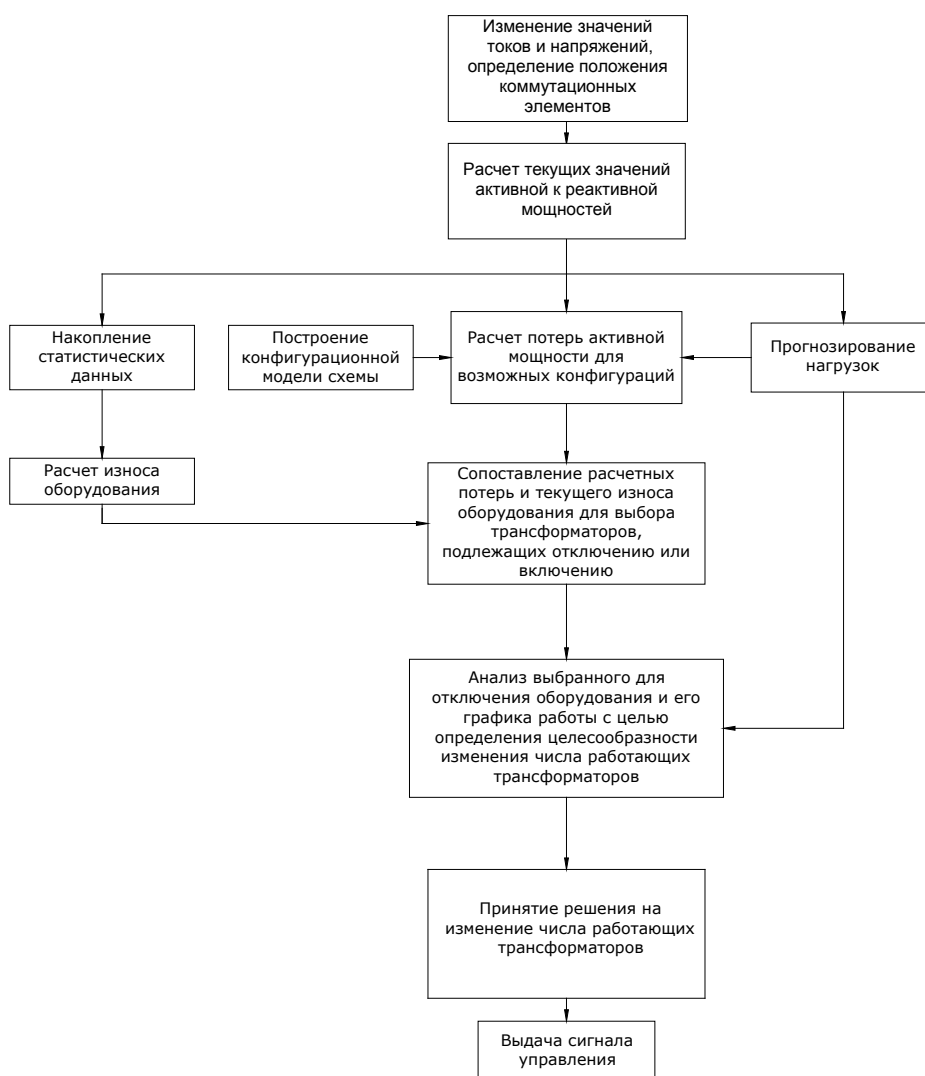


Рис. 1. Упрощенная схема функционирования автоматизированной системы управления работой трансформаторов

## ВЫВОДЫ

1. Силовые трансформаторы промышленных объектов нуждаются в повышении эффективности их использования с учетом конкретных условий эксплуатации и окружающей среды. Выполнение в полном объеме требований нормативно-технической документации и инструкций по эксплуатации, регламентирующих применение силовых трансформаторов на промышленных предприятиях, возможно лишь при внедрении автоматизированной системы управления трансформаторными подстанциями.

2. При числе трансформаторов более одного и возможности перевода нагрузки с одного трансформатора на другие можно оптимизировать их эксплуатацию путем изменения числа работающих трансформаторов или

перераспределения между ними нагрузок согласно выбранному критерию оптимальности. Для этой цели может быть использована система автоматического или автоматизированного управления трансформаторными подстанциями, получающая на свой вход данные измерений и формирующая управляющие воздействия на высоковольтные выключатели, таким образом изменяя количество работающих трансформаторов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. П р а в и л а устройства электроустановок / Минэнерго СССР. – 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – С. 14–16.
2. И н с т р у к ц и я по проектированию электроснабжения промышленных предприятий СН174–75: утв. Государственным комитетом Совета Министров СССР по делам строительства от 29.08.75. – М.: Стройиздат, 1976. – 56 с.
3. П р а в и л а технической эксплуатации электроустановок потребителей и правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 352 с.
4. П е к е л и с, В. Автоматическое режимное отключение трансформаторов 110 кВ во время провалов нагрузки / В. Пекелис, Е. Боровский // Энергетика и ТЭК. – 2006. – № 6. – С. 14–15.
5. Т р а н с ф о р м а т о р ы силовые масляные общего назначения. Допустимые нагрузки: ГОСТ 14209–85. – Введ. 01.07.85. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 30 с.

Представлена кафедрой  
электроснабжения

Поступила 6.06.2007

УДК 62–83:621.876

### **К ВОПРОСУ ИССЛЕДОВАНИЯ ЧАСТОТНЫХ СВОЙСТВ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРИ ПРЯМОМ УПРАВЛЕНИИ МОМЕНТОМ С ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ В ЛИФТОВЫХ УСТАНОВКАХ**

**Канд. техн. наук, доц. КОВАЛЬ А. С., асп. ШВАЯКОВ А. В.**

*Белорусско-Российский университет*

В настоящее время в редукторных лифтовых установках со скоростью движения до 2 м/с применяются системы управления электроприводом переменного тока с векторным управлением [1, 2]. Разновидностью таких систем являются приводы с прямым управлением моментом, которые обладают быстрым динамическим откликом по моменту [9–12, 14, 15, 18], что делает их перспективными для применения в лифтовых установках.

Сами лифтовые установки представляют собой сложные электромеханические системы, динамика которых определяется процессами в электрических и механических парциальных подсистемах. Эти подсистемы образуют собственно электропривод и элементы механической связи двигателя с кабиной лифта. Степень взаимодействия этих подсистем зависит от мно-