

# ДИСКРЕТНОЕ И ЧАСТОТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОХЛАЖДЕНИЕМ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ И ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

Рассмотрены различные варианты снижения электропотребления собственных нужд подстанций распределительного комплекса за счет применения более рациональных алгоритмов управления системами охлаждения трансформаторного оборудования.

Предложены перспективные технические решения, позволяющие применить указанную технологию на большем количестве подстанций.

АВТОР:

Кривецкий И.В., к. т. н.,  
«Россети Научно-технический центр»

## Введение

Ввиду большой территориальной протяженности нашей страны, а также большого количества крупных удаленных потребителей электроэнергии задачи распределительного электроэнергетического комплекса по обеспечению надежности и бесперебойности электроснабжения становятся еще более сложными и актуальными.

Вместе с тем при таком большом количестве распределительных подстанций средней и высокой мощности на первый план выходят вопросы не только надежности, но и энергоэффективности системы в целом.

Одной из наиболее перспективных точек повышения энергоэффективности оборудования распределительного электросетевого комплекса

являются вопросы повышения энергоэффективности систем охлаждения трансформаторного оборудования. Причем в этом вопросе немаловажно уделять внимание не только вновь вводимому оборудованию, но и уже установленному.

Так, например, количество трансформаторов класса напряжения 110 кВ и выше в распределительном электросетевом комплексе составляет более чем 10 000 единиц. Не менее 70% из них имеют принудительную систему охлаждения типа ДЦ.

Среднегодовая нагрузка данных трансформаторов составляет порядка 40–60%, однако график нагрузки крайне неравномерный.

Вместе с тем, анализируя диаграмму расхода собственных нужд подстанций (рис.1.), видим, что основные статьи расходов составляют обогрев зданий и охлаждение трансформаторного оборудования [1].

## Характеристики текущих систем охлаждения

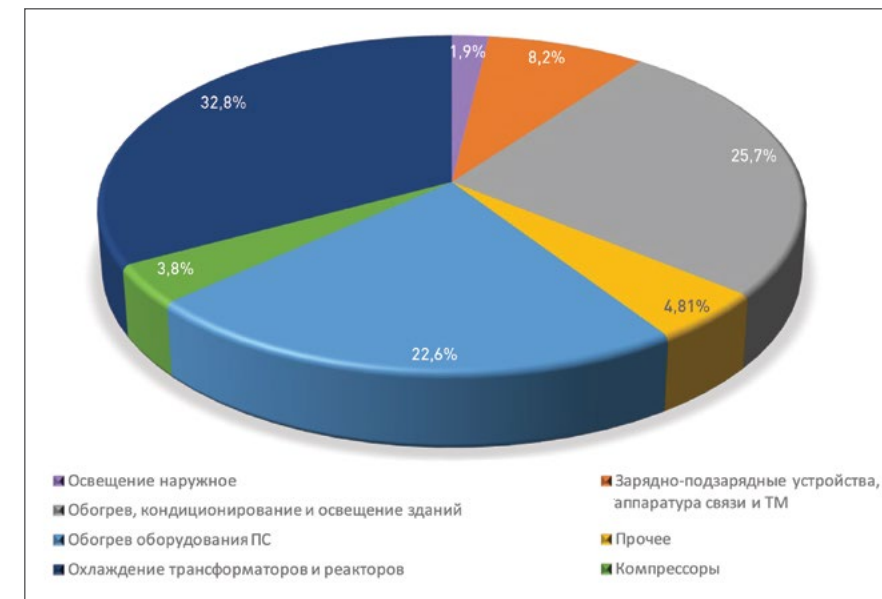
Около 70% трансформаторов класса напряжения 110 кВт и выше распределительного комплекса имеют систему охлаждения типа ДЦ (ДЦ-180 и ДЦ-160) с принудительной циркуляцией масла, в остальных случаях это тип Д — с естественной циркуляцией масла. Совокупная мощность двигателей таких систем составляет 2–4 кВт для системы Д и от 12 кВт — для ДЦ. Количество охладителей при этом составляет 3–5 для одного трансформатора.

Особо большим потенциалом в части экономии расхода электроэнергии обладают «возрастные» трансформаторы с системой ДЦ старого образца, представленной на рисунке 2.

Мощность одного вентилятора такой системы охлаждения составляет 2,2 кВт, маслонасоса — 3 кВт.

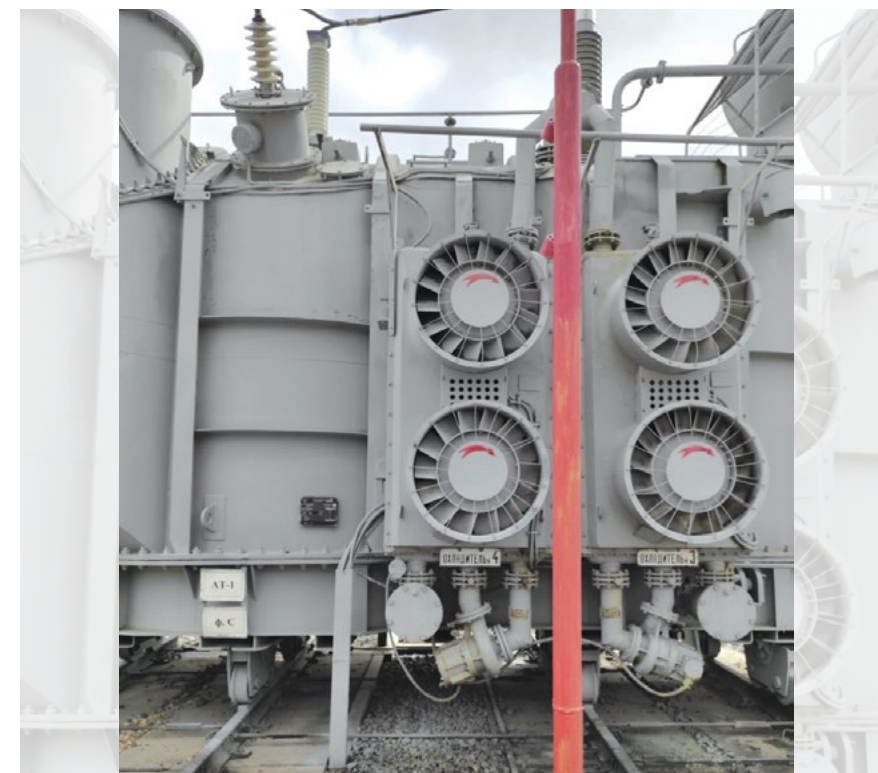
СТРУКТУРА РАСХОДА СОБСТВЕННЫХ НУЖД ПОДСТАНЦИЙ

Рис. 1



КЛАССИЧЕСКИЙ ВАРИАНТ ИСПОЛНЕНИЯ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТИПА ДЦ

Рис. 2

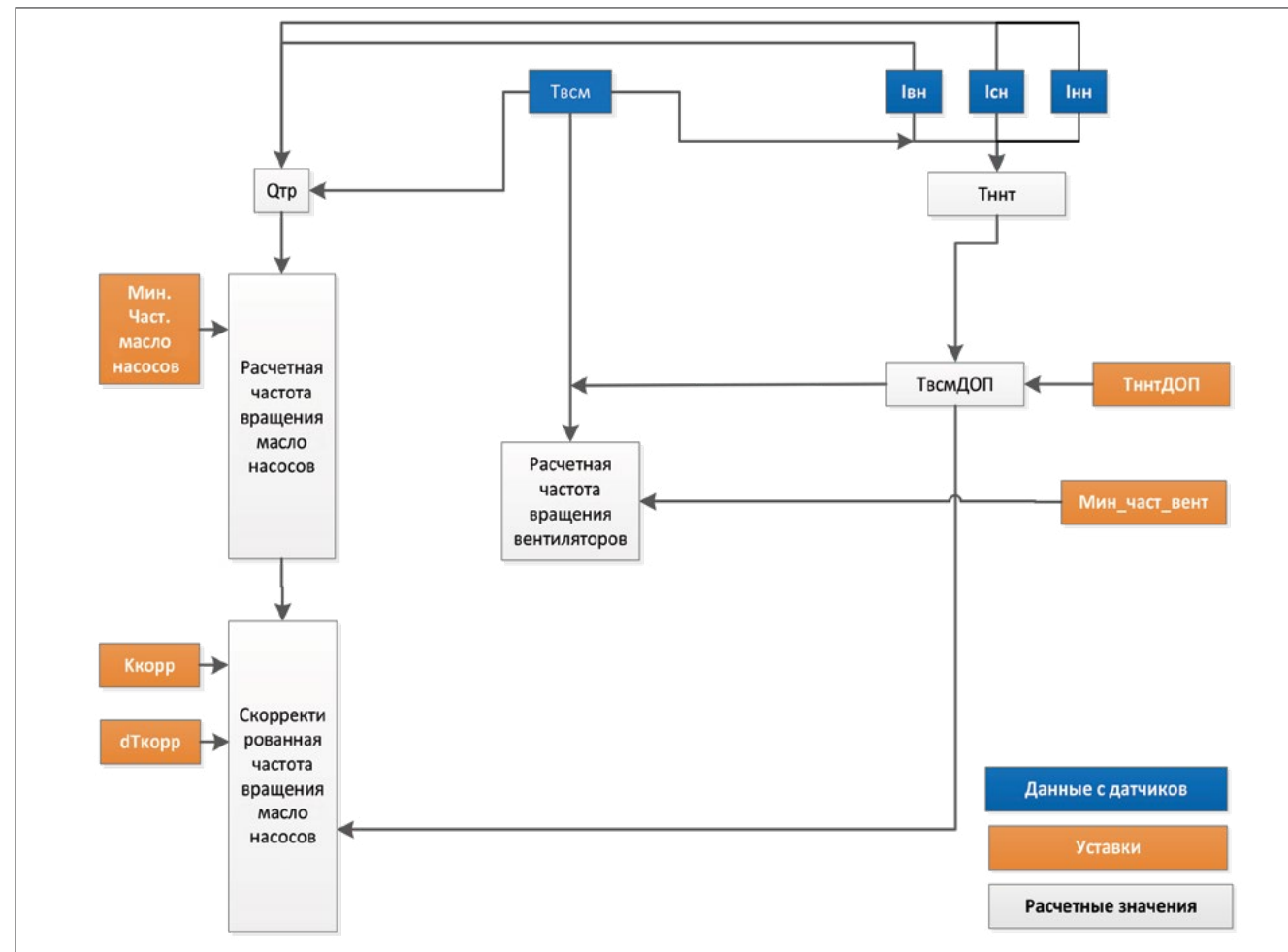


Ключевые слова:  
#снижение потребления электрической энергии; #охлаждение трансформаторов; #частотное регулирование; #распределительный сетевой комплекс.



## АЛГОРИТМ РАБОТЫ НОВОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Рис. 3



Типовой шкаф автоматического охлаждения трансформатора (ШАОТ) имеет, как правило, не более 2–3 ступеней регулирования охлаждением. Как минимум один охладитель находится в работе постоянно, вне зависимости от режима работы трансформатора.

Исходя из всего вышеперечисленного, можно сделать вывод о том, что количество электроэнергии, затрачиваемое на охлаждение трансформаторов, имеет большой потенциал для снижения за счет внедрения современных систем управления двигателями вентиляторов и маслонасосов.

### Энергоэффективные системы охлаждения

#### Частотное регулирование

При анализе и выработке подходов к повышению эффективности систем охлаждения трансформаторного оборудования было установлено, что для радикального повышения энергоэффективности совершенно нет необходимости заменять уже установленное оборудование на новое, например, менять трубчатые охладители типа ДЦ-180 на пластинчатые охладители современного типа.

Было рассчитано, что несколько охладителей, работающих на понижен-

ной частоте вращения двигателей, отнимают такое же количество тепла, как один охладитель, работающий на полную мощность, но потребляют при этом меньшее количество электроэнергии.

Исходя из этого эффекта, была разработана система управления охладителями с применением частотно-регулируемых приводов как на вентиляторах СО, так и на маслонасосах.

Для определения необходимой частоты вращения двигателей вентиляторов и маслонасосов СО был разработан алгоритм, основанный на данных о текущей загрузке трансформатора, тем-

пературе верхних слоев масла, а также температуре окружающей среды.

На рисунке 3 представлен данный алгоритм с обратной связью.

Основными исходными данными для алгоритма является информация о температуре верхних слоев масла трансформатора ТВСМ и его нагрузке. Исходя из этих данных, алгоритм рассчитывает фактическую температуру наиболее нагретой точки обмотки (ТННТ) трансформатора и сравнивает ее с допустимой (ТннтДОП) (устанавливается вручную в качестве уставки), на основании данного сравнения автоматически определяется оптимальная частота вращения вентиляторов и маслонасосов. Для вентиляторов минимальная частота вращения может равняться 0 Гц, для маслонасосов установлена минимальная частота вращения — 22 Гц для обеспечения непрерывной циркуляции масла в баке трансформатора [2].

Для размещения большого количества частотных преобразователей и органов управления ими в непосредственной близости от объекта внедрения был разработан и реализован контейнерный вариант исполнения системы управления с возможностью поддержания внутреннего микроклимата.

Контейнерный вариант исполнения представлен на рисунке 4.

Анализ опыта внедрения частотного регулирования на ПС 750 кВ «Опытная» показал снижение энергопотребления на все собственные нужды ПС на 55,67% за календарный год, что в абсолютном значении составило 1027,93 тыс. кВт·ч/год.

Средний эффект от внедрения данной технологии на ряде объектов ПАО «Россети» составил 65–80% от потребления собственных нужд ПС, затрачиваемых на охлаждение

### КОНТЕЙНЕРНЫЙ ВАРИАНТ УСТАНОВКИ С ПОДДЕРЖАНИЕМ ВНУТРЕННЕГО МИКРОКЛИМАТА

Рис. 4



трансформаторов до установки системы.

К плюсам данной системы можно отнести: минимальное потребление электроэнергии, продление срока службы электродвигателей за счет плавного пуска и работы на сниженной частоте, гибкая настройка режима работы охлаждения.

Кроме того, каждый контейнер оснащен экраном визуализации, который отображает все основные параметры работы трансформатора: температуру ВСМ, наиболее нагретой точки, нагрузку, частоты работы двигателей вентиляторов и маслонасосов, что значительно повышает наблюдаемость трансформатора.

Основные минусы системы — сложная, габаритная конструкция повышенной стоимости, дополнительный расход электроэнергии на поддержание микроклимата.

#### Дискретное регулирование

При подготовке плановых технико-экономических показателей для опреде-

ления объектов внедрения технологии частотного регулирования скорости вращения двигателей СО трансформаторного оборудования было установлено, что плановая окупаемость системы осуществляется при ее внедрении на достаточно мощных трансформаторах или трансформаторных группах с количеством охладителей от четырех штук для одного изделия.

Для оснащения современными энергоэффективными системами трансформаторов с меньшей мощностью и меньшим количеством охладителей была разработана дискретная система управления двигателями СО.

Основные базовые принципы управления остаются такими же, как и в случае частотного регулирования, но в случае дискретного регулирования маслонасосы и вентиляторы вводятся в работу сразу на номинальную частоту вращения.

Эффект от внедрения достигается за счет того, что выбирается оптимальное количество работающих маслонасосов и вентиляторов.

## ПРИМЕР ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ДИСКРЕТНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НА ПС 750 КВ «ВЛАДИМИРСКАЯ»



Рис. 5

Так, например, в стандартном заводском алгоритме управления при вводе в работу охладителя оба его вентилятора вводятся в работу сразу. В случае дискретного регулирования вводится в работу сначала один вентилятор из двух. При этом учитывается то, что при работе одного вентилятора охладитель способен отводить до 70% от своей номинальной тепловой мощности.

Пример реализации дискретного регулирования представлен на рисунке 5.

При таком варианте системы охлаждения она получается достаточно компактной и не требует дополнительных систем климатического регулирования.

Эффект от внедрения системы дискретного регулирования может достигать 40–65%.

К плюсам данной системы относятся: «шкафное» исполнение, простота

конструкции, сниженная стоимость, по сравнению с частотным регулированием.

К минусам — отсутствие возможности точной настройки системы управления.

### ■ Перспективные разработки

В настоящее время специалистами АО «НТЦ ФСК ЕЭС» заканчивается разработка «комбинированной» системы управления, сочетающей в себе как систему управления с частотными приводами, так и дискретное управление.

Изюминкой данной системы является то, что дискретно регулируются только вентиляторы, а маслonaсосы снабжены частотными преобразователями.

Такое решение позволяет сохранить компактное исполнение системы управления, оставляя ее в «шкафном» варианте, при этом стоимость увеличивается незначительно.

### ■ Выводы

Применение современных систем управления охлаждением трансформаторов позволяет снизить потребление собственных нужд подстанций распределительного комплекса, затрачиваемых на охлаждение трансформаторов, на 40–70%, в зависимости от выбранной конструкции системы управления, нагрузки трансформатора и количества охладителей.

Применение таких систем, основанных на современной элементной базе и снабженных дополнительными датчиками, позволяет значительно повысить наблюдаемость оборудования и, в перспективе, увеличить ресурс его работы.

Широкая линейка разработанных современных систем управления охлаждением трансформаторов позволяет оснастить ими как мощные образцы (класса напряжения 330–750 кВ), так и трансформаторы средней мощности с небольшим количеством охладителей (класса напряжения 1100–220 кВ). Все решения являются отработанными и типовыми.

### ЛИТЕРАТУРА:

1. Энергетическая эффективность ПАО «ФСК ЕЭС» в цифрах [Текст] / А.Е. Муров, А.В. Мольский, Т.В. Рябин. М.: Издательский дом МЭИ, 2018. 184 с.
2. Кривецкий И.В. Повышение энергоэффективности систем охлаждения трансформаторов распределительного комплекса. Дискретное и частотное управление охлаждением силовых трансформаторов / Развитие и повышение надежности распределительных электрических сетей: материалы VIII науч.-тех. конф. 2023. URL: <https://event.eepir.ru/assets/files/prez-2023/s2/16.00-kriveckij-i.v.-ntc-upravlenie-ohlazhdeniem-transformatorov.pdf> (дата обращения: 05.07.2023).

Для цитирования: Кривецкий И.В. Дискретное и частотное управление охлаждением силовых трансформаторов и повышение энергетической эффективности систем охлаждения трансформаторов распределительного комплекса // Энергия единой сети. 2023. № 5–6 (71). С.54–58.