

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт химии и энергетики
(наименование института полностью)

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»
(наименование)

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника
(код и наименование направления подготовки)

Режимы работы электрических источников питания, подстанций, сетей и систем
(направленность (профиль))

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему Разработка решений по применению устройств регулирования напряжения в силовых трансформаторах

Студент

Е.С. Сеницын

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный
руководитель

к.т.н., доцент Ю.В. Черненко

(ученая степень, звание И.О. Фамилия)

Тольятти 2021

Содержание

Введение.....	3
1 Анализ устройств регулирования напряжения в силовых трансформаторах.....	5
1.1 Основные требования для работы РПН и ПБВ.....	5
1.2 Переключающее устройство RS9.....	13
1.3 Переключающее устройство MR.....	15
1.4 Переключающее устройство Huaming.....	20
1.5 Устройство РПН типа РНГА.....	24
1.6 Использование систем мониторинга СМТ-РПН, TDM для повышения надежности и контроля.....	30
2 Анализ методов диагностики и разработка мероприятий по повышению надежности устройств регулирования напряжения в силовых трансформаторах	35
2.1 Методы диагностирования РПН.....	36
2.2 Проверка режима работы РПН	43
2.3 Предложения по повышению надежности устройств регулирования напряжения	49
2.4 Приборы, применяющиеся в переключающих устройствах	50
3 Технико-экономический расчет выбора РПН для силовых трансформаторов .	65
3.1 Расчет и выбор РПН для трансформатора.....	66
Заключение	77
Список используемых источников.....	79

Введение

В настоящее время, довольно быстрыми темпами развиваются системы электроснабжения, электростанции и подстанции. Для преобразования напряжения и передачи электрической энергии используются трансформаторные подстанции.

Все оборудование, которое применяется на трансформаторной подстанции выбирается исходя из норм технологического проектирования проходя все необходимые проверки. Одним из главных элементов на преобразовательной подстанции является силовой трансформатор.

Для производства трансформатора необходимо выполнить технико-экономические расчеты (тепловой расчет, электромагнитный расчет и т.д.). После выполнения расчетов и создании предварительного габаритного чертежа, идет подбор комплектующих трансформатора, выбор строения бака, разработка чертежей расширителя, разработка активной части, отводов и обмоток трансформатора.

Также производятся и экономические расчеты при выборе комплектующих и материалов (так как многие материалы импортируются), обычно цена трансформатора не меньше чем 10000000 руб. без учета НДС, но при этом цена зависит и от мощности трансформатора, чем выше мощность, тем дороже трансформатор.

Целью магистерской диссертации является – повышение надежности систем регулирования напряжения в силовых трансформаторах.

Для реализации данной проблемы были рассмотрены виды переключающих устройств, их конструктивные особенности и дополнительные приборы которые используются при эксплуатации переключающих устройств в трансформаторах.

Задачами данной диссертации является:

1. Анализ устройств регулирования напряжения в силовых трансформаторах.

2. Анализ методов диагностики и разработка мероприятий по повышению надежности устройств регулирования напряжения в силовых трансформаторах.

3. Техничко-экономический расчет выбора РПН для силовых трансформаторов.

Для того, чтобы работа электропотребляющих объектов была надежной и безаварийной, нужно обеспечить минимально возможное отклонение фактической величины подводимого напряжения. А чтобы избежать данные отклонения необходимо регулировать напряжения на трансформаторе.

Силовые трансформаторы комплектуются устройствами РПН (регулирование напряжения под нагрузкой) и ПБВ (устройство переключения напряжения без возбуждения).

Актуальность данной темы обуславливается тем, что более 80% созданных трансформаторов комплектуются системами РПН. «Помимо этого, устройство РПН более надежно чем ПБВ, так как при регулировании напряжения не требуется отключать трансформатор от сети, тем самым, не отключая потребителя от сети» [3].

Устройства ПБВ (устройство переключения напряжения без возбуждения) являются более компактными и простыми в монтаже, но переключатель ПБВ, менее надежен, чем устройство регулировки напряжения под нагрузкой (РПН) в связи с тем, что ПБВ можно применять на сетях, где нет такого серьезного потребления электрической энергии.

В силовом трансформаторе можно реализовать автоматическое регулирование напряжения (АРН). Эта функция делается устройством РПН, управление которым происходит в автоматическом режиме специальными установками релейной защиты и автоматики.

1 Анализ устройств регулирования напряжения в силовых трансформаторах

1.1 Основные требования для работы РПН и ПБВ

Существуют несколько вариантов переключения ответвления напряжения. Один из вариантов – это переключение напряжения при помощи полного отключения трансформатора от сети (ПБВ). Так как, величина напряжения прямо пропорциональна количеству витков обмотки трансформатора, то изменяется и коэффициент трансформации и как следует напряжение на данной обмотке. Данное устройство является переключателем осуществляющее ступенчатое переключение между положениями обмоточных витков. Устройство ПБВ можно установить на обмотке низкого или обмотке высокого напряжения. Главным плюсом при монтаже устройства ПБВ на обмотке высокого напряжения является параметры тока и напряжения, ток на стороне высокого напряжения ВН меньше чем на стороне низкого напряжения.

Чтобы ПБВ переключить в последующее нужно ослабить фиксатор привода, и далее произвести поворот при помощи рукоятки привода, в нужное положение, после чего фиксатор необходимо вернуть в первое положение.

Устройства переключения ПБВ, в конструкциях которых предусмотрены электроприводы, переключаются дистанционно путем подачи управляемых импульсов. Помимо этого, управление такими переключателями можно производить управление и в ручном режиме. В случае надобности изменения напряжения на потребителях, стоит обратить внимание, что ПБВ может изменить величину напряжения в ограниченных пределах на обмотке, которая находится на стороне НН, а именно +/- 5%. Если наблюдается ситуация, где в сети появляются значительные отклонения напряжения, то регулирование напряжения происходит на питающих

подстанциях, или на более крупных объектах электроэнергии. «Главный недостаток ПБВ заключается в том, что, при переключении ответвлений и регулировании напряжения, надо полностью отключать трансформатор от сети» [19]. Именно поэтому трансформаторы с переключающим устройством ПБВ используются в сетях где нужна редкая регулировка напряжения, а именно во время сезонных пиковых нагрузок (зима, лето и т.д.), соблюдая при этом категорию надежности электрооборудования потребителя (она должна позволять осуществить такое переключение. Также потребитель должен иметь наличие двух независимых источников питания или резервного источника питания, который работает при помощи системы АВР, этим минусом пренебречь, так как в таком случае при осуществлении переключений ответвлений установки ПБВ лучше не на долго перевести нагрузку на второй источник питания.

Помимо этого, также минусом является окисление контактов на ответвлениях переключающего устройства ПБВ в ходе использования силового трансформатора. Так как контакты окисляются, то идет повышение сопротивления контактируемых поверхностей, а в дальнейшем итоге это приводит к нештатным ситуациям, в ходе которых может отработать релейная защита и газовая защита (если установлены реле Бухгольца). Чтобы предотвратить данную плохую ситуацию следует не меньше двух раз в год производить полное отключение трансформатора от сети и осуществить пару циклов переключения ответвления, для удаления пленки которая может образоваться при окислении контактов. Основными производителями ПБВ в мире являются Hyundai (Болгария, MR – Германия, Huaming – Китай).

«Кроме переключающих устройств ПБВ для регулирования напряжения применяются с помощью которых можно производить регулирования напряжения при работе трансформатора, РПН, с помощью данного устройства возможно регулировать напряжение под нагрузкой. С помощью установок РПН можно производить регулирование на вторичной обмотке в наиболее широких объемах» [5]. Для обеспечения наиболее

эффективной работы в установке РПН следует устанавливать токоограничивающие элементы (блок резисторов или блок реакторов).

При работе установки РПН в ней возникает электрическая дуга. Чтобы избежать загрязнения изолирующего масла, все оборудование РПН устанавливается в отдельный герметичный бак не контактирующий с маслом трансформатора в основном баке трансформатора. Все устройства, которые создают или уменьшают ток расположены в отдельном баке РПН, а именно это блок резисторов или реакторов, которые ограничивают токи. Данный метод рассматривает нагрузку контактов жесткой пружины, позволяющий контактам уменьшить время переключения ответвления на обмотках при помощи токоограничивающего элемента.

Возможность применения специальных регулировочных трансформаторов тока подключенных последовательно можно изменять коэффициент трансформации благодаря свойствам специальных трансформаторов (изменение уровня напряжения и фазы). Но их применение является малоиспользуемым так как, очень высокая стоимость устройства и осуществления монтажных работ.

При использовании РПН переходы между ответвлениями обмоток без прерывания тока возможны при использовании системы двух параллельных переключений (п1 и п2) которые в свою очередь должны быть замкнуты на токоограничивающий элемент подключенный на среднюю точку обмотки трансформатора. Реактор имеет форму трехфазной катушки индуктивности в которой применяется стальной сердечник с зазорами. Он устанавливается на верхней или нижней ярмовых балках.

Регулировочная обмотка, которая соединяется с переключающим устройством, будет вольтодобавочной к первой обмотке, а мощность данной обмотки будет равна диапазону регулирования. Это решение подразумевает увеличенные размеры трансформаторного оборудования, даже не смотря на низкие пределы регулирования, так как будет большой расход материалов при создании части активной трансформатора.

Устанавливают регулировочную обмотку в нижней части камеры, где расположена активная часть. Регулировочная обмотка состоит в узле дополнительного регулирования, в которые входят тахогенератор и силиконовый выпрямитель. Обычно регулировочная делится на два составных узла (тонкое и грубое регулирование) размещённый снаружи основной обмотки двумя концентриями. Изоляция основной части обмотки ВН от регулировочной аналогична изоляции между обмотками ВН и НН. Секция регулировочной обмотки замкнута на реактор Переключатель П, обесточен. Напряжение на регулировочной обмотке изменяется переключением ступеней переключателя под нагрузкой, из-за чего измеряется коэффициент трансформации между обмотками.

Для трансформаторов с ПБВ размещают пять отводов регулировки напряжения с переключением в пределах пяти процентов от номинального напряжения. Отводы находящиеся посередине равны номинальному напряжению.

При размещении регулировочной обмотки на главных стержнях сердечника следует учесть замечания при размещении первичной обмотки.

«РПН работают по принципу селекторного переключения, то есть избиратель и переключающее устройство работают как одно целое. Оборудование РПН устанавливается внутри бака трансформатора. Но возможно проведение монтажных работ на ярмовой балке или на крышке бака. РПН поставляется готовое к монтажу внутри бака, что облегчает процесс установки. Все комплектующие, связанные с работой РПН поставляются в самом корпусе переключающего устройства. Приходит в движение данный механизм при помощи моторного привода, установленным на стенке бака трансформатора, и соединяется при помощи валов, редукторов и кабелей» [12].

Регулирование происходит на стороне высокого напряжения в диапазоне $\pm 10\%$ от номинального напряжения. В конструкционную основу

РПН, входят сложные модели переключающих устройств марок (РНТА, RS и MR).

Конструктивно система управления РПН выполнена в форме единого блока:

1. Механизм переключения.
2. Переключатель положений отпаяк напряжения.
3. Предизбиратель.

Электродвигатель как исполнительный элемент, устанавливается непосредственно в механизм управления.

Механизм переключения реализует:

1. Переключение.
2. Электрический сигнал блокировки, если переключение устройства будет проходить через крайние положения.
3. Осуществление электрической блокировки электродвигателя при переключении вручную при помощи рукоятки моторного привода.
4. Осуществляется механическая блокировка, если переключать за крайние положения.

Пружинный механизм, устанавливается в переключатель ответвления, при исчезновении напряжения в цепи питания электродвигателя или в схеме управления при переключении, данная пружина осуществляет установку контактной системы в фиксированное положение. Сам же механизм управления изготовлен из цилиндра и встроенных в него неподвижных контактов. Барабан и группа контактов сконструированы в изоляционном цилиндре, благодаря этому решению, была обеспечена достаточная механическая прочность системы подвижных и неподвижных контактов, также уменьшено отклонение усилий контактных положений, чтобы повысить время эксплуатации переключающего устройства. «Изоляционный цилиндр контактного барабана представляет собой герметичную конструкцию, из-за чего смешивание трансформаторных масле переключающего устройства и основного бака не произойдет» [6].

В нижней части переключения расположен пред-избиратель, имеющий в своем составе подвижные и неподвижные контакты резерва и нейтрали. Неподвижные контакты имеют серебряные покрытия для обеспечения лучшей проводимости.

«В состав устройства РПН обычно комплектуется указателями положения:

1. Видимый через окошко на крышке переключающего устройства (для контроля).
2. Указатель положения устанавливаемый на кожух, для удобного монтажа и визуального контроля с земли (без использования лестниц).
3. Датчики положения РПН для дистанционного контроля» [9].

Также РПН следует комплектовать двумя контакторами и токоограничивающим элементом, с двумя регулировочными обмотками. Во время процесса регулировки происходит переключение одного ответвления контактов на последующее ответвление контактов, при этом происходит автоматическое короткое замыкание обмотки, с появлением дополнительной индуктивности, что и образует переключение без резких возрастаний тока.

Есть два вида токоограничивающих элементов, применяемых в РПН это использование резисторов или реакторов. На выводах таких трансформаторов получается отрегулированное напряжение. Во время переключения, переключающее устройство, вначале проходит через все ответвления избирателя, при фиксированном положении предизбирателя, следовательно, регулировочная обмотка оказывается обесточена и переключение осуществляется переключение на половину полного диапазона. Чтобы реализовать возможность переключения предизбирателя, без разрывания цепи, нужно добавить еще один неподвижный контакт в избирателе. Если подключать ступень грубого регулирования, то нужно подключить ее основной обмотке трансформатора. После переключения осуществления переключения предизбирателя, избиратель проходит все свои положения при согласном включении регулировочной обмотки или при

грубом регулировании. Также используются схемы с дополнительной (не коммутируемой) ступенью регулирования с реверсом или увеличенное число витков при применении ступени общего регулирования. Чтобы исключить свободные потенциалы для устранения (свободных потенциалов) иногда между регулировочной обмоткой и основной обмоткой ставят специальные резисторы. Помимо этих способов есть еще один, это последовательное подключение вольтодобавочных трансформаторов, но так как данный способ очень затратный в связи с покупкой оборудования и сложностью в монтаже он редко используется.

Для того чтобы выбрать наиболее выгодный РПН необходимо рассмотреть его конструкцию, цену и характеристики. Дальнейшее рассмотрение темы будет представлено в последующих главах. Как было описано выше, ПБВ это переключение ответвлений без возбуждения трансформатора, поэтому для осуществления регулировки напряжения следует полностью отключить трансформатор от сети. Для того чтобы осуществить большую безопасность для оперативного и ремонтного персонала, необходимо установить видимый разрыв цепи и предусмотреть устройства защитного заземления. В комплектации устройств РПН входит моторный привод, работающий при помощи электродвигателей. Переключение ответвлений РПН может производиться дистанционно при помощи шкафа управления, а также возможно при помощи релейных установок и автоматики. Помимо этого, рассматривается вариант управления переключений ответвлений регулирования с помощью ручного рычажного привода, если моторный привод имеет неполадки или на нем отсутствует питание. «Для того чтобы выбрать наиболее выгодный РПН необходимо рассмотреть его конструкцию, цену и характеристики. Дальнейшее рассмотрение темы будет представлено в последующих главах» [10].

Для начала рассмотрим требования к конструкциям, форма и размеры бака должны обеспечивать возможность установки РПН в сам бак трансформатора. Покрытия РПН должны наноситься по специальным

условиям, при помощи краскопультов. Данные покрытия должны защищать от коррозии и воздействий влаги и других факторов. «Также конструкция должна предусматривать беспроблемное транспортирование РПН в разобранном виде. Механизм управления должен быть сконструирован таким образом, чтобы, при прекращении переключения из-за падения напряжения, или воздействий токов коротких замыканий, была безаварийная работа» [26].

Если РПН работает в масле, при эксплуатации в температурных условиях ниже нуля, то обязательно должен иметь датчик температуры масла (термосопротивление), позволяющее поставить блокировку переключения если температура ниже -25°C . Если бак РПН сотворен герметично, то необходимо чтобы он мог выдержать испытания давлениями 4,5 кПа в течение двух часов или 3 кПа в течение суток. Если имеется бак с разрывом дуги в масле (дугогасительные контакты), то обязательно должна быть возможность снятия проб масла, замена и промывка бака. Помимо этого, если бак контактора сделан герметично, то он должен иметь возможность вакуумирования совместно с баком трансформатора, но данный параметр зависит от технологии монтажа.

В устройствах РПН, в обязательном порядке должны быть приборы защиты (струйное реле) которые срабатывают на сигнализацию, для предотвращения поломок.

В РПН должна быть возможность дистанционного управления и автоматического при помощи указателей положения и датчиков. По согласию между сторонами можно не комплектовать РПН датчиком положения. В составе моторного привода необходимо предусматривать должен иметь электрическую и механическую блокировки, которая должна работать перед блокировкой механизма переключения. Также защита должна быть предусмотрена для электродвигателя привода.

Для проведения наладочных работ должно быть предусмотрено ручное управление приводом с помощью рукоятки.

«По согласованию между потребителем и изготовителем может быть уменьшено количество видов управления. При этом автоматическое управление обязательно» [2].

1.2 Переключающее устройство RS9

Переключающие устройства марки RS9 предназначены для изменения коэффициента трансформации в силовых трансформаторах. Поскольку данные переключающие устройства имеют хорошую надежность они также могут применяться в печных установках и в электролизных трансформаторах и т.д. Переключающее устройство показано на рисунке 1.



Рисунок 1 – Переключающее устройство типа RS9

Переключающие устройства RS9 изготавливаются по двум типам исполнениям несущих монтажных фланцев для установки в бак трансформатора (круглый, и монтажный фланец колокольного типа). ПУ RS9 разработано на принципе отдельного коммутирования, то есть процесс, по

времени и месту от процесса переключения под нагрузкой. Желаемое положение выбирается избирателем без токового выбора. Каждая фаза имеет по два ряда неподвижных контактов. Нечетные ответвления подсоединяются к одному ряду. На каждом ряду неподвижных контактов работает только один подвижный контакт. Ответвления где расположены четные и нечетные контакты делают поочередные круговые движения, что, нечетные контакты свободны и могут бестоково выбрать положение регулирования, в то время как по четным контактам протекает ток. В момент если нечетные контакты являются проводящими ток, то выбор положения может быть осуществлен четными контактами, также бестоково. После того как заканчивается выбор ответвления, контактор перебрасывает нагрузку на следующую ступень регулирования. Контактор сконструирован таким образом, что ток нагрузки не прекращается во время переключения, также ответвления не между собой не подлежат шунтированию. Реализовать это возможно при использовании вспомогательных контактов, включающие на некоторое время активируют резисторы с небольшим сопротивлением. Если необходимо увеличить число положений применяется предизбиратель, который можно сконструировать как грубый предизбиратель или как реверсор. Если использовать предизбиратель как реверсор, то электродвижущая сила в избирателе суммируется с электродвижущей силой активной обмотки, а если переключать в обратную сторону, то данные ЭДС вычитаются. Если применять грубый предизбиратель используется степень грубого регулирования в регулировочной обмотке. При использовании грубого предизбирателя включается и отключается грубая ступень трансформаторной обмотки. Если использовать узкий диапазон регулирования переключающего устройства, и без предизбирателя, обычно он может быть применим для маломощных трансформаторов ТМН. Все остальные технические данные для них одинаковы.

Подвижный изоляционный вал РПН марки RS9 для передачи момента вращения от верхнего редуктора к контактору и избирателю конструктивно

расположен снаружи бака РПН, то есть в полости бака трансформатора. При необходимости обслужить данный вал ПУ, нужно производить разгерметизацию бака трансформатора и сливать масло с РПН, а далее через смотровые люки производить работы по ревизии внутри бака трансформатора. Далее рассмотрим где располагается аккумулятор энергии в RS 9.3, который находится под резисторами в нижней части контактной системы, из-за этого производить ревизию аккумулятора довольно проблематично. «В конструкции РПН типа RS 9.3 отсутствует слабая точка (предохранитель), поэтому в случае поломки или неисправности сломается сам механизм РПН, что приведет к существенным временным и большим финансовым потерям по восстановлению переключающего устройства» [7].

1.3 Переключающее устройство MR

В комплект поставки устройство поставляется во влагозащитной упаковке.

Устройства РПН могут также поставляться в виде комплекта устройств РПН с общим моторным приводом. Устройство изображено на рисунке 2.



Рисунок 2 – Переключающее устройство MR

Присоединение трубопроводов Q закрыто глухой крышкой. Присоединения трубопроводов R и Q можно менять местами. Присоединение трубопроводов S Трубное колено на присоединении трубопроводов S снабжено болтом для выпуска воздуха. К нему подсоединяется трубопровод, который проложен сбоку по стенке бака трансформатора и заканчивается сливным краном на высоте обслуживания.

Если устройство РПН оснащено сифонной трубкой, через присоединение трубопроводов S можно полностью слить масло из устройства РПН. Присоединение трубопроводов R Присоединение трубопроводов R предназначено для установки защитного реле, а также для подсоединения расширительного бака устройства РПН.

Далее рассмотрим принципы переключения.

«Принцип «контактор — избиратель». Переключающие устройства, которые работают по данной системе, включают в себя контактор и избиратель положения. Избиратель применяется для предварительного выбора необходимого положения, которое подключается через него к обесточенной стороне контактора. Д

Далее происходит поворот двигателя, (контактор переключается) и рабочий ток проходит через данное положение. Моменты переключения избирателя и контактора синхронизируются по времени» [4]. Схема переключения изображена на рисунке 3.

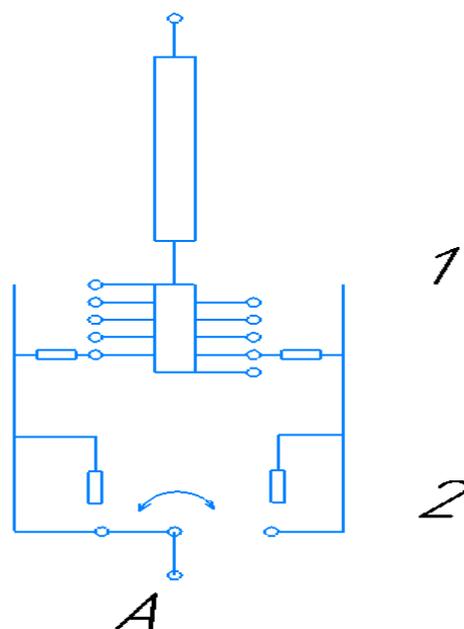


Рисунок 3 – Схема переключения по принципу «контактор – избиратель»

Принцип «избиратель под нагрузкой». Переключающее устройство работающие по данной схеме, объединяет в себе свойства контактора и избирателя. Переключение с одного положение на другое происходит за один цикл. Отличия обычного избирателя под нагрузкой от избирателя под нагрузкой с гашением электрической дуги в вакууме заключается в том, что контакты в обычном избирателе, через которые происходит выбор положения, также выполняют роль контактора переключающего устройства. Схема изображена на рисунке 4.

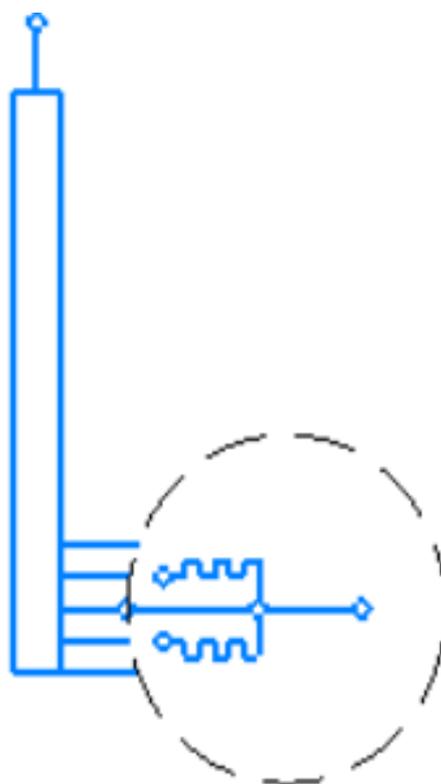
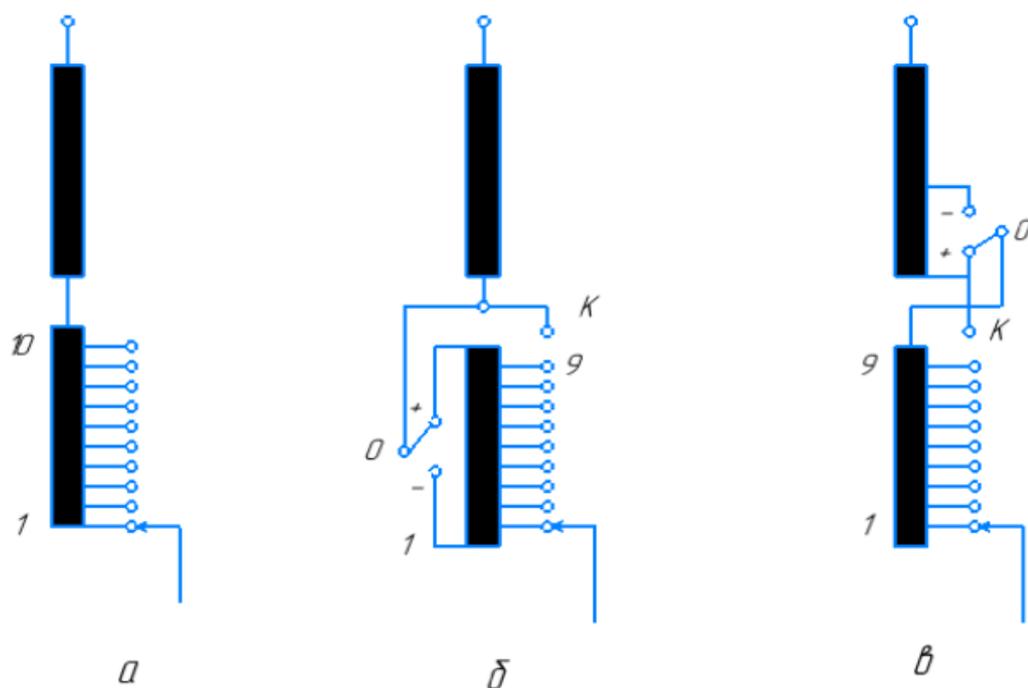


Рисунок 4 – Схема переключения по принципу «избиратель под нагрузкой»

В данных схемах соединений указываются маркировка присоединительных контактов избирателя и рабочих положений для конкретного переключающего устройства заказанного по опросному листу. Маркировка контактов, используемых в сборочных и габаритных чертежах переключающего устройства, всегда соответствуют с маркировкой указанным с внутренними стандартами компании MR.

Маркировка моторного привода переключающего устройства и сами контакты положений одинаковы. Принципиальные схемы изображены на рисунке 5.



а - без предизбирателя, б - с реверсом, в - с переключателем грубой ступени

Рисунок 5 – Принципиальные схемы устройства РПН типа MR

Рассмотрим принцип работы. Устройство РПН используется для регулирования коэффициента трансформации трансформаторов без полного отключения трансформатора от нагрузки.

Также данным способом можно скомпенсировать колебания напряжения, которые возникают в линиях электропередач. Для этого устройства РПН встраиваются в трансформаторы и подключаются к их активной части.

Моторный привод, получающий управляющий импульс (например, от регулятора напряжения), изменяет рабочее положение устройства РПН, в результате чего происходит необходимая корректировка коэффициента трансформации трансформатора.

«Приводной вал обеспечивает механическое соединение между приводом и устройством РПН или ПБВ. Изменение направления оси

вращения вала с вертикального на горизонтальное производится с помощью углового редуктора.

Исходя из этого, вертикальный приводной вал следует поставить между угловым редуктором и моторным приводом, а горизонтальный между самим переключающим устройством РПН и угловым редуктором. Далее проводится монтаж РПН в бак трансформатора» [8].

1.4 Переключающее устройство Huaming

Переключающее устройство РПН вида СМ конструктивно состоящее из механизма переключения в свою очередь состоящего из контактора и избирателя, моторного привода, используется в силовых маслонаполненных трансформаторах.

В масляный бак трансформатора устанавливается механизм переключения вместе с контактором, контактор выполнен также в отдельном герметичном баке, в то время как с регулировочной обмоткой трансформатора присоединяется избиратель, который полностью погружен в трансформаторное масло в баке переключающего устройства.

В трёхфазных переключающих устройствах РПН типа СМ чаще всего применяются схемы соединений ответвлений, звезда с нейтральной точкой, или использовать три однофазных переключающих устройства, одного тип исполнения и параметров, сделанных под любой тип соединения обмоток силового трансформатора, устройство РПН в сборке от марки Huaming изображено на рисунке 6.



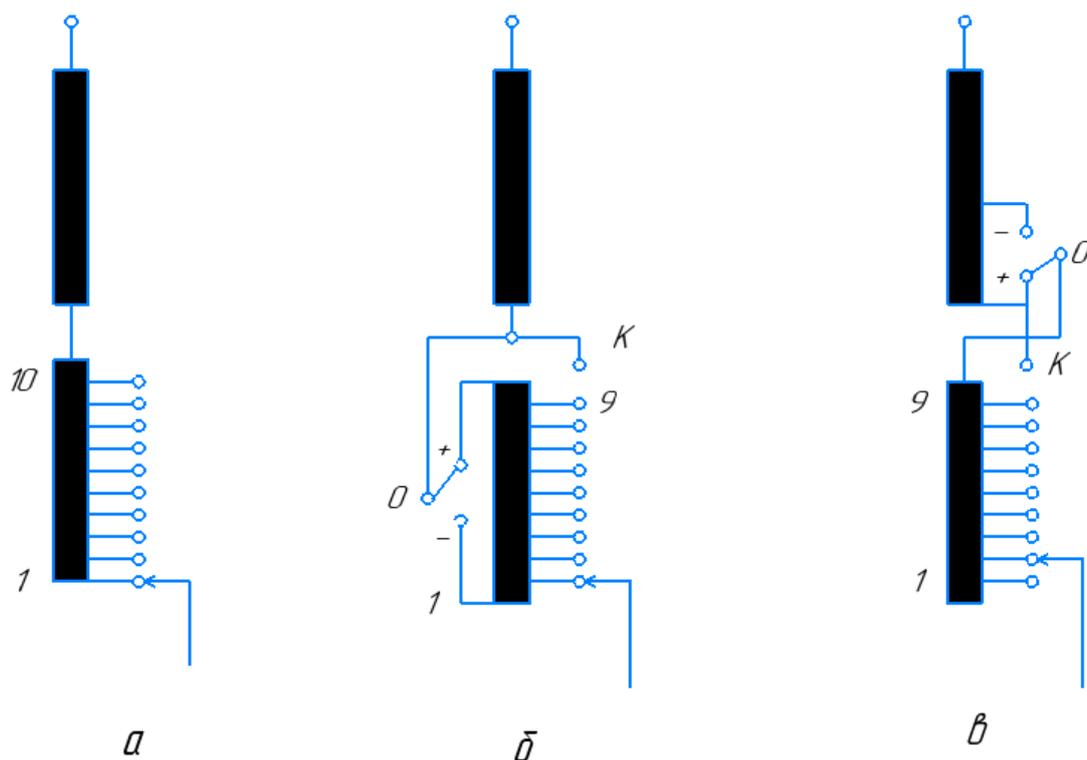
Рисунок 6 – Устройство РПН Huaming

Контактор подлежит замене через 800000 переключений.

С целью безопасности, на новом устройстве РПН рекомендуется провести первое обслуживание через два года после ввода в эксплуатацию или через 20000 переключений в зависимости от того, что наступит раньше [3].

Для повышения надёжности техническое обслуживание должно делаться один раз в пять лет (или один раз в семь лет, если устройство оборудовано масляным фильтром).

На рисунке 7 представлены принципиальные схемы переключающего устройства СМ.



а - без предизбирателя, б - с реверсом, в - с переключением грубой ступени

Рисунок 7 – Электрические схемы соединения контактов РПН

Для переключающих устройств с номинальным напряжением больше 245кВ (которые применяются в мощных трансформаторах) по истечению 2 лет или после 15000 переключений нужно проверять устройство. В дальнейшем проверки могут выполняться каждые 3 года.

Обслуживание контактора состоит из вытаскивания вынимаемой части контактора, чистки контактов и внутренней поверхности изоляционного цилиндра контактора, измерение износа дугогасительных контактов, проверка механизма накопления энергии.

Время проверок и обслуживания вынимаемой части контактора не должно превышать 10 часов, чтобы не сушить переключающее устройство. Для того чтобы вытащить вынимаемую часть контактора, необходимо отключить трансформатор от сети и заземлить выводы НН и ВН.

Вынимаемая часть контактора может быть вытащена в любом рабочем положении, но лучше вытаскивать ее в положении наладке.

Корпус избирателя сделан из стеклопластика, выполненного методом пултрузии, который намного ниже подвержен воздействиям влаги, которая содержится в основном в масле трансформатора во время эксплуатации, и именно из-за этого его изоляционные свойства не подвержены изменениям. Материал планок подвержен воздействиям влаги, находящейся в масле.

В течение времени может произвестись набухание или расслоение гетинакса, потере жесткости планок, изменению геометрии планок и изменению точек расположения неподвижных контактов относительно точки установки подвижных контактов. Перегрев контактов повлечет нагрев планок и к снижению конструктивной прочности, а также к перегреву масла трансформатора и к образованию локальной точки перегрева.

В современных устройствах РПН марки RS9 который производится в настоящее время, там в материале корпуса избирателя применяется гетинакс. Производитель включает в себя информацию о возможном расслоении гетинакса, а, следовательно, данный материал не самый надежный.

Аккумулятор энергии расположен над механизмом переключения контактора, именно поэтому производить ревизию переключающего устройства легче и проще. В конструкции кинематического механизма РПН НМ типа СМ имеется слабая точка которая играет роль предохранителя.

«В месте где тонкий вал, может сломаться при превышении усилия 750 Н^* при заклинивании механизма, тем самым предотвратит разрушение и выход из строя более дорогих и менее доступных к замене узлов РПН. Стоит отметить что данное усилие в 3 раза превышает номинальное усилие при нормальной работе вала» [9].

1.5 Устройство РПН типа РНТА

Устройство РПН типа РНТА устанавливают в нейтрали обмоток ВН. РНТА -У-35/200Р-16/20-93У1 предназначена для осуществления регулирования напряжения во время нагрузки, по ступеням, для силовых трансформаторов мощностями от 6 до 40 МВА.

Устройства РПН рассчитаны для работы в трансформаторном масле при температуре масла от 100°С до минус 25°С, а также до минус 60°С без производства переключения. Температура окружающего воздуха от 40°С до минус 60°С (климатическое исполнение У1 и ХЛ1). Устройство показано на рисунке 8.

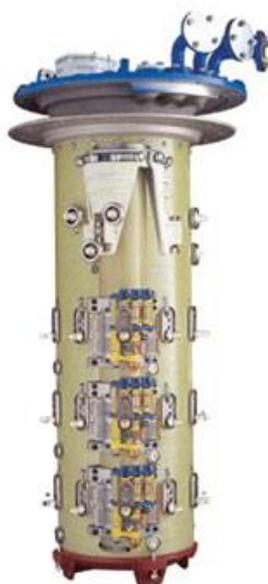


Рисунок 8 – Устройство РПН типа РНТА

Комплектно с устройствами РПН поставляются: - блок автоматического регулирования (регулятор напряжения), обеспечивающий выдачу команды на включение устройства РПН. Регулятор напряжения работает в автоматическом режиме при изменении напряжения на зажимах трансформатора; - защитное реле: выдает сигнал на отключение

трансформатора при неправильной работе контактора ПУ; - датчик-реле температуры прерывает цепь управления РПН при температуре масла ниже минус 25°C. Устройства допускают дистанционное управление и ручное управление от рукояти при наладке или испытании трансформатора.

Перед тем как начинать эксплуатировать переключающее устройство, необходимо провести его настройку и наладку. Благодаря правильной настройке и наладке переключающего устройства, устройство будет работать корректно с дальнейшим использованием, без нежелательных проблем и дефектов.

Помимо этого, пользователь может сделать проверку правильности работы тонкого переключения положений при помощи угловой диаграммы, которую можно снять примерно таким же методом, как и временную, пользуясь заводскими рекомендациями. «Фиксация угла поворота выполняется согласно колебанию стрелки измерительного прибора, а также в случае срабатывания отметчика, являющегося по сути стрелкой индикаторного прибора» [10]. Отсчёт углов осуществляется при помощи шкалы неподвижного лимба относительно стрелки, закрепленной на вале ротора.

Переключение устройства РПН с отпайки на отпайку происходит со скоростью перемещения контактов 0,5 м/с, при соблюдении определенной последовательности работы контактов, обеспечивающей непрерывность цепи нагрузки трансформатора в процессе переключения. Во время переключения устройства из «1» положения в «9» положение, переключаются только контакты находящиеся в переключателе нагрузки, по средствам перевода нагрузки с одного ответвления на другое. Во время переключения устройства из «9» положения в «10» положение уже идет замыкание контакта нейтрали. «10» положение является первым промежуточным положением переключающего устройства. Схема принципиальная изображена на рисунке 9.

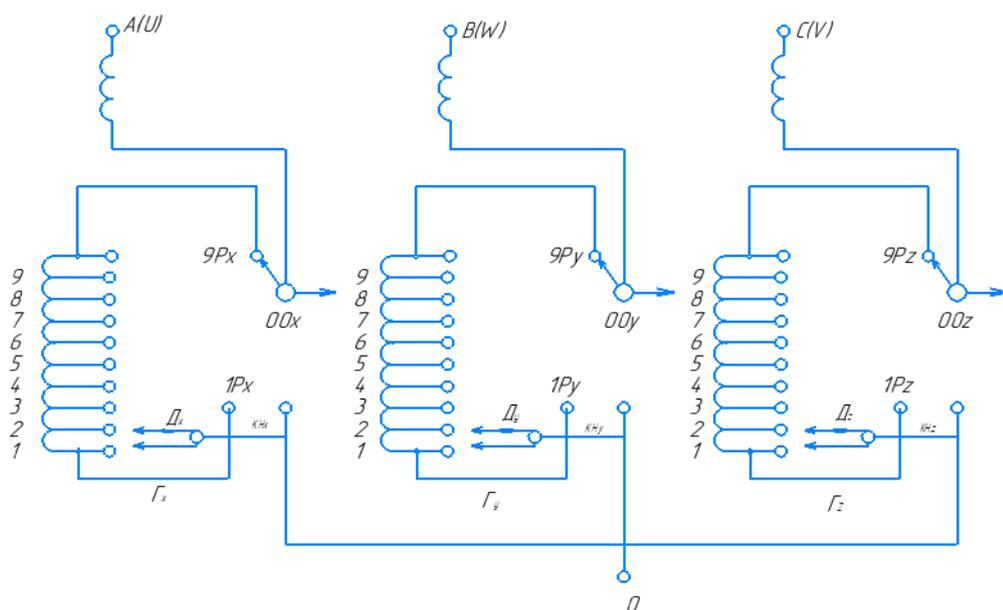


Рисунок 9 – Схема принципа действия РНТА

Для осуществления переключения устройства РПН на одну ступень при включении электродвигателя, движение передается через зубчатые цилиндрические пары (с общим передаточным отношением), муфту свободного хода, и нижний поводок, а далее на поводок с мальтийской передачей. Подвижные контакты переключателя нагрузки, непосредственно связанные с мальтийской шестерней, перемещаются с одного неподвижного контакта на другой и фиксируется шестерней мальтийской в новом положении. К шестерне мальтийской прикреплена шестерня зубчатая которая приводит в движение указатель положения переключателя нагрузки и предизбиратель.

Подвижная система переключателя нагрузки передает движение через муфту и цилиндрическую зубчатую передачу поводкам мальтийской передачи предизбирателя. Далее поводок поворачиваясь при каждом переключении устройства РПН на определенный угол, входит в зацепление с шестерней мальтийской при переключении устройства из положения «7» в

положение «8», а выходит из зацепления при переключении из положения «15» в положение «16».

Для возможности переключения устройства РПН вручную (при пусконаладочных работах) к шестерне может быть подсоединен ручной привод. Ручной привод, при установке в рабочее положение, воздействует (через систему рычагов) на выключатель путевой разрывающей при этом цепь питания электродвигателя.

Устройство РПН по своей конструкции является погружным, так как его основная функциональная сборочная единица – механизм переключения – встраивается в бак трансформатора. Вне бака находится несущий фланец и механизм управления, а также отдельно устанавливаемый на баке трансформатора ШУ. Механизм переключения состоит из переключателя нагрузки, кожуха, механизма управления и крышки. Сам же переключатель состоит из барабана контактного, группы контактов и крышки.

Барабан контактный состоит из изоляционного цилиндра, корпуса и фланца. На внутренней поверхности изоляционного цилиндра крепятся неподвижные контакты – медные пластины, имеющие наружные выводы, к которым подсоединяются отводы регулировочной обмотки трансформатора. Контакты расположены тремя группам, разделенными по высоте цилиндра. Каждая контактная группа состоит из девяти контактов, причем контакты 1-9 равномерно расположены по дуге и удалены друг от друга на изоляционное расстояние ступени, а расстояние между контактами 1 и 9 кратно изоляционному расстоянию ступени.

Места соединения изоляционного цилиндра с корпусом контактами уплотнены с помощью резиновых прокладок, обеспечивающих надежное отделение масла, находящегося в барабане контактном, загрязнённого продуктами горения дуги, от масла трансформатора. В корпусе имеются посадочные места для крепления группы контактной и крышки. На крышке расположены патрубки для подсоединения струйного реле и защитной мембраны, посадочное место для установки реле температуры, пробка для

выпуска воздуха, окно указателя положения. «Через крышку также выводится трубка для слива масла оканчиваются патрубком и приводной вал переключателя нагрузки. Группа контактная состоит из изоляционного цилиндра с закрепленными к нему подвижными контактами блока резисторов, фланцев, шестерни мальтийской, поводка и указателя положений» [10].

Подвижные контакты – это три группы роликовых контактов, расположенные по высоте цилиндра и развернутые друг относительно друга под углом 120 градусов. Каждая контактная группа состоит из двух контактов: главного и дугогасительного. Дугогасительный контакт расположен ниже главного контакта по высоте цилиндра и развернут по отношению к нему под углом 17 градусов.

Каждый подвижный контакт состоит из двух роликов, закрепленных с помощью оси к корпусу. Последний крепится к цилиндру болтами с помощью пластины. Контактное нажатие между роликами и токоведущими корпусом создается пружиной, а между роликами и неподвижным контактом – пружинами. С целью уменьшения абразивного износа контактной поверхности, между роликом и корпусом установлена шайба из кадмиевой меди. Внутри цилиндра размещается блок резисторов. Он представляет собой набор из трех резисторов каждый подключается на фазу. Резисторы собираются на шпильках, которые крепятся к фланцу. Токоограничивающий резистор каждой фазы состоит из проволоки с высоким омическим сопротивлением, намотанной на каркас, состоящий из двух фланцев со шпильками и с поперечными пазами для фиксации проволоки. Начало и конец резистора выведены из закреплённых на фланцах.

В соответствии со схемой регулирования главный подвижный контакт каждой фазы через токоведущий корпус соединен гибкой связью с входным концом токоограничивающего резистора и одновременно с токоведущей шиной. Электрическая связь между шинами осуществляется через фланец и

латунное кольцо. Дальнейший вывод нейтрали осуществляется с помощью двух контактов на фланец.

Подвижный дугогасительный контакт каждой фазы соединяется гибкой связью с выводами концов токоограничивающего резистора соответствующей фазы. Поворот цилиндра с подвижными контактами на угол, соответствующий перемещению с одного неподвижного контакта на другой, осуществляется шестерней мальтийской которая крепится через втулку с помощью шлицевого соединения. Шестерня мальтийская приводится в движение поводком, вал которого связан через муфту свободного хода с механизмом управления. На валу шестерни мальтийской свободно сидит пластина, являющаяся механическим упором, предотвращающим переключение устройства РПН за конечные положения. Конструкция подвижных и неподвижных контактов предизбирателя аналогично конструкции контактов переключателя нагрузки. Неподвижные посеребренные контакты закреплены на изоляционном цилиндре. В состав механизма переключения входят элементы силовой цепи, а также элементы управления и сигнализации, смонтированные на плите. В крышке имеется окно, в котором видна цифра указывающая номер положения РПН, а также установлена заводская табличка, содержащая технические характеристики устройства РПН. Среда механизма управления воздушная. Места соединения механизма с кожухом и крышкой уплотнены прокладками для исключения возможности попадания влаги и пыли в полость механизма управления.

Силовая цепь механизма управления состоит из электродвигателя передачи зубчатой, поводка взвода пружин и муфты свободного хода. Поводок, муфта и блок-шестерня, жестко установлены на однооборотных валах. «Пружины шарнирно закреплены с одной стороны на поводке, а с другой на стойку, жестко прилепленных к плите. На блок-шестерне установлен палец для поворота мальтийской шестерни за одно переключение устройства РПН на угол 72» [12].

Цепь управления и сигнализации состоит из зубчатой передачи, состоящей из шестерни, цевочной передачи, датчика положения, путевых выключателей, рычагов управления, путевого выключателя, поводка, а также панели с быстросъемным разъемом. Далее рассмотрим решение по применению РПН, в качестве надежности и диагностики.

1.6 Использование систем мониторинга СМТ-РПН, TDM для повышения надежности и контроля

Поскольку основные поломки происходят именно в переключающих устройствах, необходимо использовать системы мониторинга РПН, помогающие предостеречь РПН от поломок и вовремя отреагировать на дефекты. Речь идет о системах мониторинга РПН. Мы рассмотрим 2 варианта система (СМТ-РПН и TDM). Применение системы мониторинга TDM реализует в себе:

1. Информация о текущем положении переключения.
2. Измерение температуры контактора и масла.
3. Момент переключения на следующее положение.

Во время переключения ответвления, система мониторинга начинает списывать данные по каналам напряжения, тока и вибрации. Регистрация данных заканчивается по истечению времени переключения. Далее по полученным данным, математическим путем вычисляется сигнал по мощности. После чего идет обработка данных, которые сохраняются в памяти системы:

1. Время переключения.
2. Среднеквадратичное значение напряжения, тока и вибрационного ускорения.
3. Средняя активная мощность.
4. Коэффициенты вибрации РПН.

Процесс измерения акустических сигналов запускается после переключения положения в РПН, или в зависимости от настройки системы,

так как мониторинг может проводиться по расписанию и времени. «Если в полученной выборке данных, попадает недостаточное число периодов, то модуль обрабатывает данные и проводит следующее измерение, чтобы набрать необходимое количество данных в память» [21].

Более целесообразно использовать систему мониторинга СМТ-РПН от АС-ТРАНСФО.

При начале работы необходимо соблюдать меры безопасности и нормативные документы. Если устройство находится под напряжением, то работы проводить не допускается. В плане конструкции СМТ-РПН представляет собой навесной шкаф, сделанный из листовой, стали с покрытием или из нержавеющей стали.

Система мониторинга работает при температуре от минус 60 до плюс 45 и при влажности воздуха до 100% и атмосферном давлении до 100 кПа. СМТ-РПН потребляет малую мощность, поэтому тепловые воздействия происходят за счет конвекции. Для поддержания температурных режимов установлены термостаты. Подключение и монтаж кабелей осуществляется через дно шкафа, на котором установлены кабельные вводы. «Для питания и сигнальных цепей установлены специальные вводы с разным диаметром под металлокабели и кабель» [14].

Благодаря системам мониторинга можно осуществить:

1. Непрерывный контроль технических характеристик РПН (механического и коммутационного ресурса контактора РПН.
2. Контроль ресурса замены масла, механического момента на валу привода РПН, времени и максимального момента на валу РПН при последнем переключении и т.п.) в процессе эксплуатации с записью в энергонезависимую память.
3. Возможность блокировки моторного привода при превышении граничных значений контролируемых параметров.
4. Защита от повреждения устройства РПН и трансформатора.

5. Контроль времени очередного технического обслуживания (для своевременного планирования).

6. Сигнализация о приближении срока очередного ТО – после каждого переключения система мониторинга сохраняет в энергонезависимую память данные о переключении (время, начальное/конечное положение, все значения параметров, моменты на валу привода по зонам переключения и т.д.)

7. Формирование релейной предупредительной сигнализации о состоянии РПН.

8. Передача данных в смежные системы или сеть заказчика по стандартным цифровым протоколам.

9. Световая индикация текущего состояния РПН.

Единственная проблема — это стоимость данных систем, довольно дорогие, но при их применении снижаются риски поломки РПН, (которые могут принести более финансовые потери).

Система мониторинга РПН в стандартной комплектации имеет цифровой интерфейс Ethernet TX/FX (протокол Modbus). По требованию заказчика возможна реализация любых других интерфейсов (RS485, RS232 и т.д.) и протоколов передачи данных (МЭК60870-5-104, МЭК 61850 и т.д.). В стандартном исполнении система имеет шесть выходных релейных сигналов, предназначенных для сигнализации состояния, как самого устройства РПН, так и системы мониторинга, блокировки работы привода, а также размножения сигналов для контроля в других системах.

Информация из системы мониторинга РПН может передаваться на ПЭВМ оператора, в СМиД, системы АСУ ТП. Предусмотрено формирование аналитических отчетов для специалистов эксплуатирующих организаций.

Система мониторинга РПН построена на базе промышленного микропроцессорного контроллера с энергонезависимой памятью, в которой хранятся программное обеспечение и настройки, не требующие повторной загрузки после снятия питания со шкафа мониторинга РПН.

Вся выпускаемая продукция проходит процедуры контроля качества в процессе изготовления, 100% наладку и испытания после изготовления, что сокращает сроки внедрения продукции на объектах Заказчика. Отдел сервиса и технической поддержки ЗАО «Интера» оперативно осуществляет гарантийную поддержку поставленной продукции в режиме on-line консультаций и с выездом на объект в случае необходимости. Осуществляется послегарантийное сопровождение продукции: регулярное техническое обслуживание, переобучение персонала и продление гарантийного срока эксплуатации.

Выводы по разделу 1

1. В ходе рассмотрений требований и обоснования применения РПН, установлено что переключающие устройства под нагрузкой могут проводить переключение положений регулирования автоматически при помощи регулятора напряжения или дистанционно при помощи шкафа управления или моторного привода. Так как нагрузки потребителей постоянно растут и изменяются, то необходимо регулировать напряжение.

Применение ПБВ возможно только при отключенном трансформаторе, что может привести к некоторым проблем производства и потребителей. «Применение РПН позволяет регулировать напряжение и нагрузку без отключения от сетей.

Переключение РПН предусмотрено с помощью кнопок в шкафу управления (местное управление) или автоматически. Время переключения положений РПН проходит в течение 5-10 секунд» [24].

2. В ходе рассмотрения типов переключающих устройств РПН от разных производителей, были установлены плюсы и минусы от того или иного производителя. РПН от марки MR (Maschinenfabrik Reinhausen) отличаются высоким качеством комплектующих, исполнений и конструкцией.

Кроме того, оно обладает рядом преимуществ:

2.1. Не требует технического обслуживания до 300.000 переключений.

2.2. Замена камер осуществляется по истечению 600000 переключений

2.3. Имеется взрывозащитное исполнение

2.4. Контактёр подлежит замене при миллионе переключений.

Но в плане финансов – это самый дорогой переключатель, но обслуживание и ревизия не представляют проблем, так как не нужно разгерметизировать трансформатор.

В данных переключателях, используется двойной контактор «вакуум/масло». Это является также шагом к увеличению надёжности и уменьшению расхода материалов.

Резервные масляные дугогасительные контакты могут произвести до 2000 переключений, после окончания срока службы вакуумной камеры, что позволяет подготовиться к ремонту без вывода трансформатора из работы.

3. Для того чтобы поднять надёжность и повысить вероятность отказов РПН, необходимо использовать системы мониторинга и контроля. Были рассмотрены две системы мониторинга, их работа и преимущества.

В целях большего обеспечения надёжности необходимо использовать систему мониторинга СМТ-РПН. «Так как при использовании данной системы, можно предотвратить возможные поломки и дефекты в работе механизма управления, контактора, избирателя и т.д. Кроме того данная система запоминает все состояния трансформатора и РПН, в режиме реального времени, что даёт ей преимущество перед мелкими диагностиками» [6].

2 Анализ методов диагностики и разработка мероприятий по повышению надежности устройств регулирования напряжения в силовых трансформаторах

По статистике около 40% поломок или аварий силовых трансформаторов происходит в связи повреждений РПН. Поскольку в большинстве трансформаторах было реализованы возможно регулирования напряжения под нагрузкой, подстанции и эксплуатирующие организации не столь часто прибегали к данным устройствам и обычно применяли в штатных и оперативных режимах [7]-[10]. Чтобы выполнить переключения во время пиковых нагрузок, (обычно это конец сезона) трансформаторы выводили из работы энергосистем, после чего при помощи РПН или ПБВ выполняли переключения, но так как при выводе трансформаторов из работы, потребитель может остаться без электроэнергии от этой идеи отказались. Помимо этого, так как переключающие устройства не самые надежные, и имеют ряд недостатков, и невозможностью провести диагностику, так как нет необходимых установок, а также довольно сложными измерениями параметров, были приняты решения использовать РПН на базе переключающих устройств, представляющих собой цилиндрический бак с системой неподвижных контактов, избирателя положения, и системы подвижных контактов.

С появлением новых требований к показателям качества электричества, а именно по требованиям к преобразованному напряжению, подстанции и организации стали значительно больше использовать РПН. Благодаря этому появился спрос и предложения на соответствующие товары и установки (системы диагностики, указатели положения, регуляторы напряжения и т.д.) приборы для контроля РПН.

Проведение ремонта на трансформаторном оборудовании, без надлежащего осмотра и проверки состояний переключающих устройств, а также без использования программ и руководств по эксплуатации, может

привести к большим финансовым потерям и снижению надежности трансформатора в целом. Пример может послужить ранее широко применяемы и производимые РПН типа RS-3 и RS-4 болгарского производства компании Hyundai, так как основные причины – это конструктивные поломки и повреждения (например, отслоение гетинакса, из которого сделаны стойки избирателя). По типу неполадок обычно чаще всего выходит из строя контактор, и механизм переключения, реже всего избиратель положения и предизбиратель.

Очень часто наблюдаются дефекты контактора, окисление контактов, откручивание крепёжных изделий и что приводит к значительному подгоранию контактов и раз регулировке элементов кинематики; имеет место выход из строя токоограничивающих резисторов [11]. Кроме перечисленных наиболее частых повреждений в устройствах РПН типов RS-3 и RS-4 встречаются и другие недостатки: не герметичность между баком трансформатора и баком контактора (при установке монтажных фланцев непосредственно в бак РПН, возможны зазоры), задержка переключения из-за появления старения металла, появления ржавчины на тарельчатой переключающей пружины, повреждение защитной мембраны, повреждения изоляционного вала избирателя, раз регулировка кинематики контактора. «Далее рассмотрим виды диагностики и их методы контроля переключающих устройств» [13].

2.1 Методы диагностирования РПН

1) Визуальный осмотр – самый простой метод диагностики, достаточно простой в использовании, нужен довольно опытный глаз, для оценки повреждения. Но данный метод имеет такие недостатки как, увы проверить можно более доступные для осмотра узлы переключающего устройства и моторного привода. Обычно время осмотров определяется по количеству, переключения которое выполнило РПН, или по проведении плановой ревизии согласно руководствам по эксплуатации. Поскольку не все части

можно осмотреть, такие как состояния контактов избирателя, (для этого необходимо выполнить полный демонтаж РПН, слить масло, и зачистить систему контактов, что довольно трудоемкий процесс) данный метод нельзя применять при полной диагностики РПН.

2) Метод анализирования газосодержания – поскольку газоанализаторы и хроматографы в целом чувствительны к повреждениям в работе контактора и его перегреву, данный метод довольно таки распространен в применении. Данный метод очень распространен для определения электрической дуги при работе РПН. Наиболее распространенными газами для измерения являются водород, метан, этан, угарный газ, углекислый газ, метан [1].

Для измерения суммы газов и концентрации газа в целом применяются газоанализаторы (Hydran, Hydrocal, ИнтеГаз и т.д.). Данные анализаторы устанавливаются на бак трансформатора или на выносные стойки, после чего идет подключение в шкаф управления. Определение неполадок в переключающем устройстве, согласно «МЭК 60599 выполняется по измерению величин отношения этана к водороду: если в основном баке концентрация газов преобладает более чем в 2-3 раза то, масло возможно загрязнено отходами работы контактора РПН. Затем идет сравнение концентрации газов в основном баке и в баке РПН» [1]. Концентрация содержания этана зависит от числа переключения РПН, так как данный газ попадает в основной бак трансформатора. Одной из главных процедур при приемке, при ремонте или ревизии РПН является снятие круговой диаграммы. Осциллографирование процесса переключения дает возможность узнать есть ли затягивание срабатывания переключения на ступени, совпадение по фазам, и кратность срабатывания контактора.

3) Метод измерения вибрации – поскольку трансформатор обычно работает в вибрационных условиях, эти вибрации можно использовать как основу для метода виброизмерений. Данный метод может помочь найти повреждения и неполадки не выводя трансформатор из работы в ремонт, по данному методу можно обнаружить дефекты, связанные с ослаблением

крепёжных соединений металлоконструкций, что позволяет исправить и предотвратить недостатки до аварии. Основными минусами метода является требования к знаниям и ответственности персонала, знание обширной базы по РПН в целом, и о конкретном типе переключающего устройства. Самым простым методом измерения вибрации является СКЗ по поверхности стенок и крышки бака. «После проведения данных испытаний создается графики вибрации по всему баку трансформатора, по которым определяют наиболее подверженные к поломкам узлы» [8].

Наиболее частыми причинами возникновения вибраций в трансформаторах являются:

1. Вибрации системы магнитной в сердечнике трансформатора, или вибрации в обмотке.
2. Вибрации при работе системы охлаждения трансформатора (маслонасосы и вентиляторы).
3. Одинаковые частоты колебаний вынуждающих сил и колебаний поверхности.

Сложность диагностирования трансформатора зависит от двух составляющих. Первая причина – невозможность точного определения источников вибраций трансформатора. Второе, нет нормативной базы знаний о баках трансформатора, поэтому трудно сказать является ли данная вибрация повреждением или это обычная работа трансформатора. В заключение по такому методу диагностирования можно отметить, что данные измерения нужно осуществлять для обнаружения зон повышенной вибрации с поверхности стенок или крышки бака трансформатора. Полное техническое состояние трансформатора по уровням вибрации на поверхностях крышки и стенок, дать довольно проблематично, так как нет гарантий по точности измерений. «Вибрационные процессы в магнитопроводе в интересующей нас зоне кривой намагничивания, можно считать однозначно связанными с величиной магнитного потока намагничивающей обмотки. Данное заключение применимо только к режиму

холостого хода. С ростом тока намагничивания будет увеличиваться магнитный поток, будут возрастать потери в стали сердечника, увеличиваться общие вибрации магнитопровода, и, следовательно, поверхности бака трансформатора» [11]. Вибрации в магнитопроводе, если он распрессован, делятся на две постоянные. «Первая постоянная – это вибрационные процессы связанные с увеличением величины магнитного поля трансформатора. Этот параметр всегда действует даже если детали были сконструированы качественно и без брака. Если необходимо измерить вибрацию по поверхностным деталям, нужно проводить данные измерения в два этапа. Трансформатор необходимо перевести в режим холостого хода, в то время как по обмотке протекают токи намагничивания. Для создания таких режимов, изменения тока намагничивания, необходимо изменять напряжение на обмотке, а именно использовать переключающее устройство. При проведении таких исследований необходимо контролировать не только уровень вибрации, но и потребляемую трансформатором из сети мощность. Основное внимание следует уделять активной составляющей мощности потерь холостого хода, так как она расходуется на покрытие потерь в материалах магнитопровода» [17].

4) Метод температурных измерений - температура различных частей трансформатора чаще всего является первым признаком увеличенного сопротивления контактов. Данные измерения выполняются при штатной работе трансформатора. Основным минусом является невозможность определить состояние контактов, на которых нет нагрузки. Для контроля температуры обычно применяется термосопротивления Pt100. Платиновое термосопротивление Pt100 является достаточно распространенным элементом, так как у него очень хорошее соотношение качества и цены. Его можно использовать как отдельный прибор для измерения. Но чаще всего данный прибор устанавливается для контроля температуры РПН, данный прибор устанавливается на монтажном фланце переключающего устройства. Главное при этом – правильно учесть присоединительные размеры датчика,

чтобы избежать зазоров и не герметичности. «В этом случае удастся обеспечить наилучшее условие для того, чтобы анализировать температуру среды. В основе лежат элементы из платины, у которых сопротивление при 0 градусов равно 100 Ом. Стоит отметить, что у платины имеется положительный коэффициент. А это означает, что сопротивление растет при увеличении температуры. У некоторых приборов в одном корпусе может быть заключено сразу три термоэлемента. В зависимости от разновидности измерительной цепи, используется определенный способ подключения – двух, трех, четырехпроводной. От того, где и для чего используется устройство, вы можете подобрать наиболее приемлемую характеристику» [25].

5) Метод измерения электрического сопротивления контактов. По данному методу диагностируют состояние контактов избирателей, предизбирателей и контактора. Измерение должны происходить для всех ступеней регулирования РПН. Измерения выполняются без демонтажа РПН так и в штатном режиме. Обычно для данного метода применяют омметра, благодаря которому измеряют сопротивление каждого контакта (подвижного или неподвижного), в случае отклонений контакты необходимо прочистить от окисления и т.д.

Измерение сопротивления токоограничивающего резистора производить при сборке резистора и группы контактной методом одинарного моста. «Далее после сборки группы проводят измерения между корпусами главного и дугогасительного контактов каждой фазы. Измеренное значение не должно противоречить паспортным данным» [29].

Чтобы измерить сопротивление токоведущего контура на всех положениях необходимо перед данной процедурой провести не менее двух циклов переключений. Измерение производится при токе не менее 50А, не более номинального, также контакты должны быть смазаны маслом или погружены в него.

б) Снятие круговой диаграммы – круговая диаграмма характеризует контакты избирателя и предизбирателя их положение и состояние. Измерение нужно выполнить исходя из всех положений контактора и предизбирателя.

Снятие угловой диаграммы следует проводить для каждой фазы при переключении устройства РПН из 1-го в 10-ое положение и обратно вручную с помощью технологического привода ручного [28]. Отсчет углов нужно производить по шкале указателя механизме управления. «Установка начального положения (обычно это 0 градусов) производится совмещением рисок, имеющих на валу и крышке, угловая диаграмма должна соответствовать диаграмме, которую можно снять по схеме на рисунке 10 и указанной в руководстве по эксплуатации на переключающее устройство» [22].

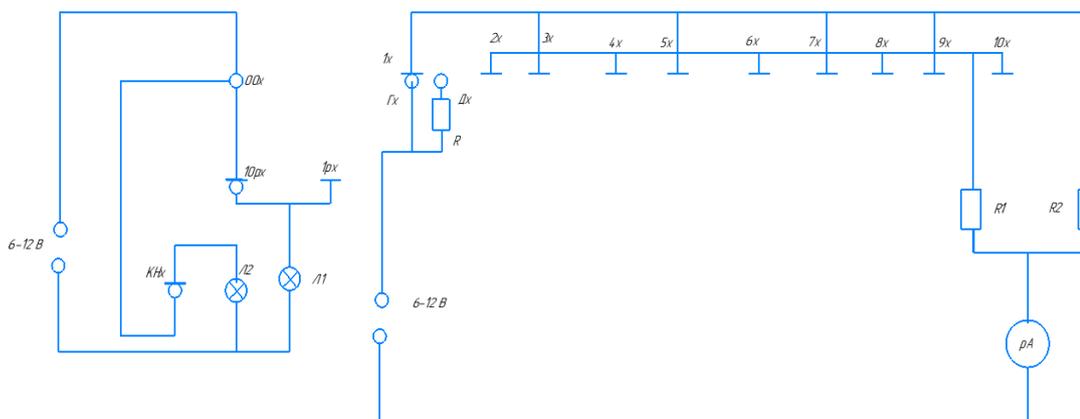


Рисунок 10 – Электрическая схема снятия круговой диаграммы

Неполадки в контактной системе избирателя могут возникать от неправильной регулировки контактов (неправильная установка РПН, сдвиг угла, положение углового редуктора). Без разборного контроля иногда не позволяет проверить правильность работы избирателя и предизбирателя. Требуется вскрытие крышки РПН трансформатора.

7) «Временная диаграмма переключателя нагрузки.

По полученным осциллограммам проверяют:

1. Отсутствие разрывов электрической цепи.
2. Продолжительность работы дугогасительных контактов в положении «мост».
3. Продолжительность переключения между моментами размыкания и замыкания вспомогательных и дугогасительных контактов различных плеч.
4. Отсутствие недопустимых вибраций подвижных дугогасительных контактов контактора, в момент, когда происходит гашение электрической дуги» [27].

Снятие круговой диаграммы следует производить на всех положениях переключателя. Круговая диаграмма не должна отличаться от снятой на заводе-изготовителе. Проверку срабатывания переключающего устройства и давления контактов следует производить согласно заводским инструкциям. Схема снятия временной диаграммы приведена на рисунке 11.

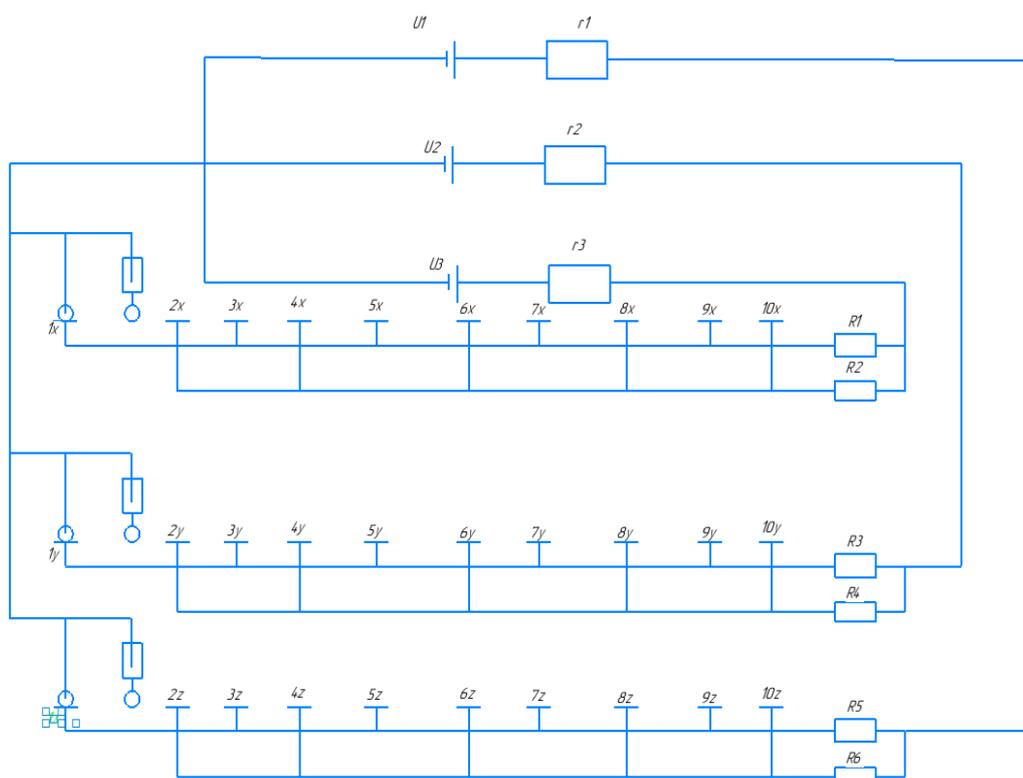


Рисунок 11 – Схема снятия временной диаграммы

Проверка зависимого момента действия контактов переключателя нагрузки от времени переключения осуществляется путем снятия временной диаграммы после проведения испытаний трансформатора. Снятие данной диаграммы следует проводить методом осциллографирования на всех фиксированных положениях устройства РПН в обоих направлениях при температуре масла от плюс 10 до плюс 40 градусов по Цельсию. Вибрация контактов при переключении на одно положение не должна превышать 2 мс на каждом из участков фаз. Но допускаются разрывы контактов при переключении длительностью не более 0,5 мс. Неоднородность замыкания и размыкания контактов разных фаз не контролируется.

8) Прогонка механизмов устройства РПН

Для прогонки РПН устройство должно быть на четвертом положении, контакты замкнуты на 4-ом положении (замкнутое состояние контактов определяется проверкой наличия электрической цепи между контактами и нейтралью), в окне указателя положений находится положение «4» (среднее). Далее нужно подать питание 220 В при подключении двигателей при схеме треугольник. Также необходимо проверить правильность фазировки электродвигателя, для чего провести переключение с помощью выключателей местного управления на одно положение в сторону n-положения. Пройти весь диапазон регулирования в пошаговом режиме с помощью кнопок регулирования в пошаговом. «Произвести 4000 переключений устройства РПН без электрической нагрузки при температуре от плюс 10 до 40 градусов. После прогонки произвести испытания трансформатора» [25].

2.2 Проверка режима работы РПН

Далее более подробно рассмотрим проверку работы РПН на примере РНТА.

Для начала необходимо снять диаграмму путевых выключателей. Снятие диаграммы работы путевых выключателей по схеме, на соответствие с заводскими диаграммами. Проверка проводится переключением РПН от рукоятки с первого до третьего положения и обратно, также возможно начать проверку с 18 положения в 22, и обратно. Моменты замыкания или размыкания определяются благодаря сигнальным лампам, включенных последовательно с контактами путевых выключателей, и отсчитываются по технологическому лимбу, шкала которого прикрепляется к однооборотному валу, а стрелка к корпусу механизма переключения.

Далее идет проверка работы электрической схемы соединений РПН. Для этого нужно произвести необходимые подключения, согласно схеме, представленном на рисунке 12.

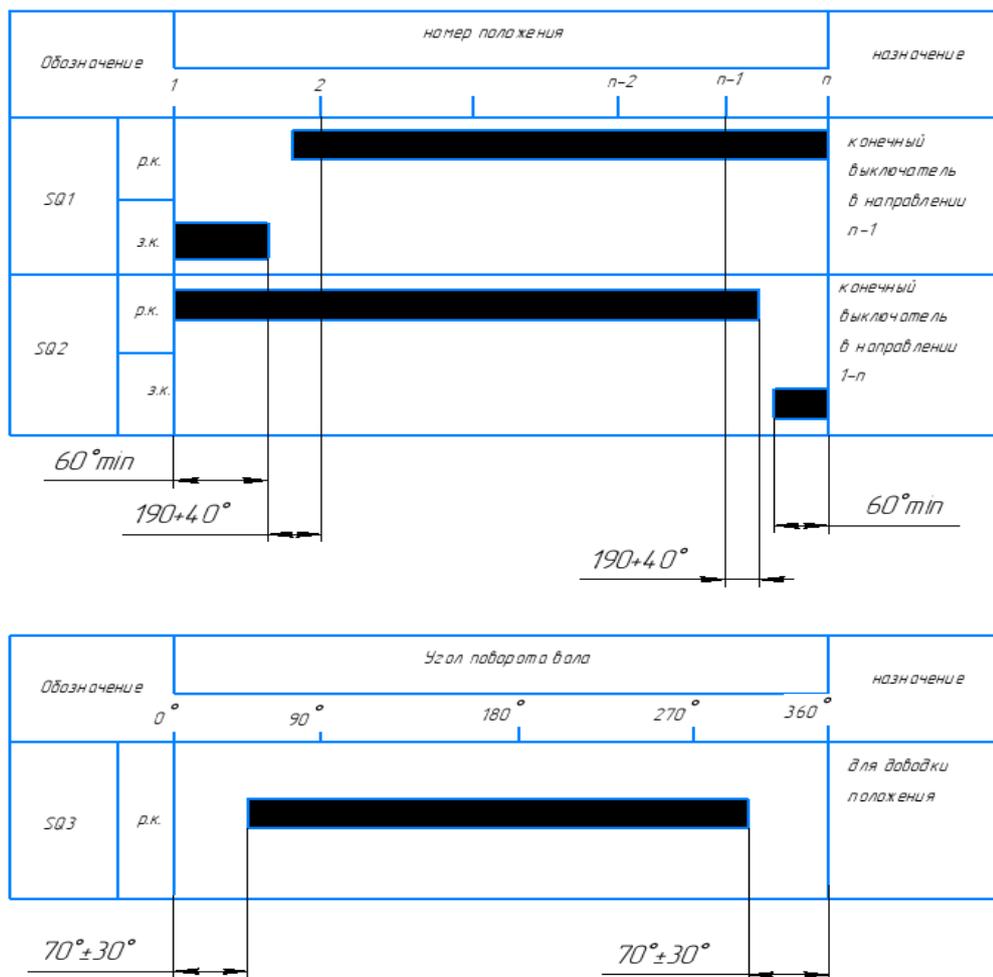


Рисунок 12 – Диаграмма работы путевых выключателей

Для этого необходимо подать питание от сети 380В с нейтралью, предварительно установив перемычки на блоке зажимов ХТ6 между клеммами 6,7,8 согласно рисунку 7 при включенных автоматах QF1 и QF2. При подаче напряжения, должна загореться лампа HL1 команды управления подавать на зажимы 31 и 33. Произвести переключение от одного конечного положения до другого при напряжении питания 0,85; 1,0; 1,1. При переключениях должна загораться лампа HL2. При нажатии на дверной выключатель SA1, должна отключаться «отключаться» лампа HL1.

Далее подать питание от сети 220В предварительно установив перемычки на блоке зажимов ХТ6 между клеммами 1 и 2, 3 и 4, 5 и 6. На блоке зажимов ХТ3 между клеммами 3 и 4, при включенных автоматах QF1,

QF2. После чего стоит также провести переключение положений при напряжении питания 220В. Переключения должны охватывать весь диапазон фиксированных положений устройства в двух направлениях. Частота включения должна быть такой чтобы время переключения положения было не более 3 с.

При прогонке переключения должны проходить без отказов в работе, без дребезжания пускателей и т.д. При этом переключение из 10 положения в 14 должно происходить безостановочно. Если выключены автоматы QF1 и QF2 нужно убедиться в отсутствии «горения» испытательной лампы поочередно подключив последовательно лампу и подав питание 12-24В на зажимы 10 и 12; 13 и 15 блока зажимов ХТ2 и «горении» испытательной лампы подключив последовательно лампу и подав напряжения питания 12-24В на зажимах 11-12; 14 и 15 блока зажимов ХТ2.

«При включенных автоматах QF1 и QF2 убедитесь в «не горении» испытательной лампы поочередно подключив питание 12-24В на зажимы 11 и 12; 14 и 15 блока зажимов ХТ2. Схема работы электродвигателя приведена на рисунке 13» [16].

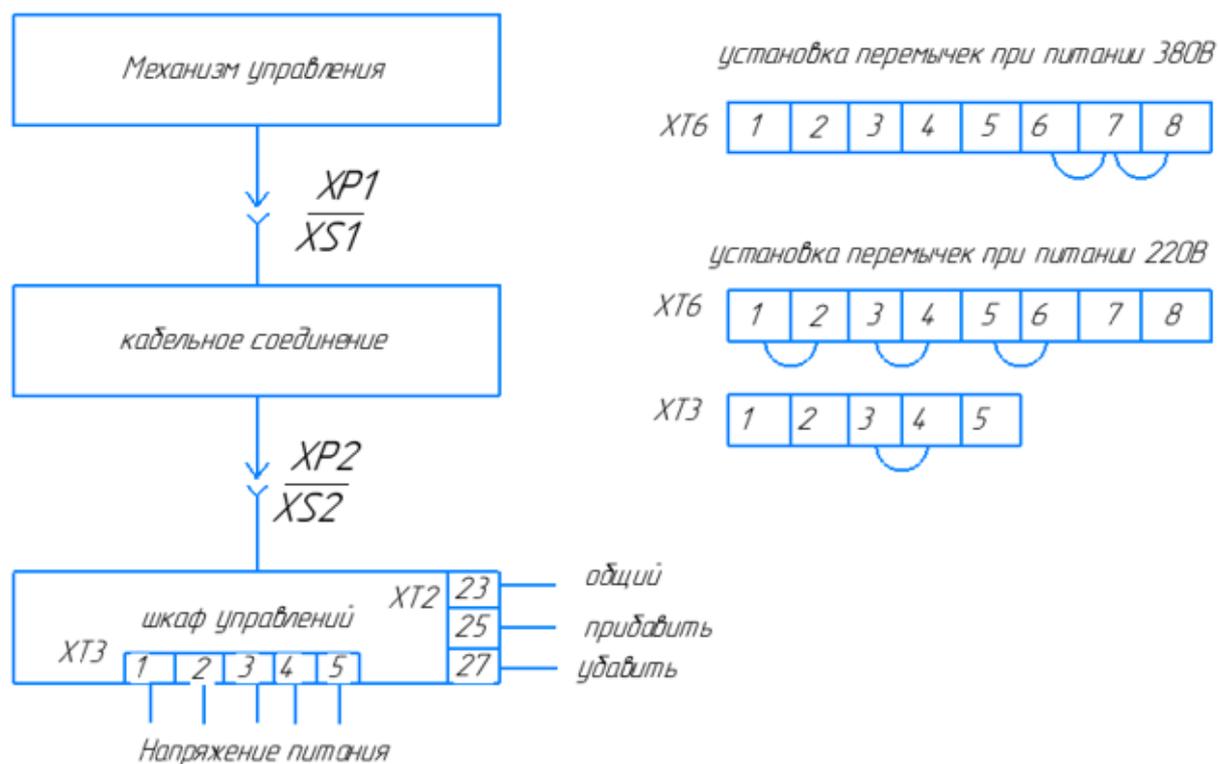


Рисунок 13 – Схема работы электродвигателя

Проверка работы счетчика переключений РС.

Проверку производить при работе устройства от электродвигателя не менее, чем при одном цикле переключений. Счётчик переключений РС должен фиксировать каждое переключение, независимо от направления переключения. Далее осуществляем путевыми переключениями привода за крайние положение.

Проверка блокировки переключения за крайние положения, осуществляемой путевыми выключателями SQ1 и SQ2, выполняется при работе устройства от электродвигателя. Конечный выключатель SQ1 должен срабатывать при переключении со 2 положения в 1. SQ2 при переключении из 21 в 22 положения. В первом и последних положениях РПН необходимо подать команду на зажим при движении в сторону 22 положения, на зажим – при движении в сторону первого положения, следует переключить

положения. При этом если подать управляющую команду на блокировка должна отработать и электродвигатель не запуститься. После окончания проверки испытаний переключки между зажимами 3-4 и 5-6. При испытаниях не должно быть признаков недопустимой перегрузки электродвигателя, время срабатывания не более 30 с. Испытание проводить для выключателя на номинальный ток теплового расцепителя 1А для сети 380 В и 1,73 А для 220 В.

Далее проверяем работу РПН при подаче длительного сигнала управления. Такая проверка производится при работе РПН от электродвигателя на всех фиксированных положениях в двух направлениях переключения. При длительном сигнале команды управления устройство РПН должно переключиться на одно положение. Для выполнения следующего переключения необходимо прервать сигнал команды управления и затем повторно его подать. Далее идет проверка регулятора напряжения и указателя положения на работоспособность, для этого необходимо произвести установку приборов согласно эксплуатационной документации и сделать пробное переключение положения.

Последними проверками работоспособности является проверки устройства при ручном переключении и проверка при местном управлении. При проверке ручного переключения необходимо демонтировать крышку механизма управления, после чего установить рукоятку привода, должна загореться специальная лампа. При осуществлении переключения не должно быть заеданий. Далее осуществить проверку переключений положений при ручной наладке и сравнить ее с автоматической, они должны совпадать. После чего осуществить проверку моторного привода на работоспособность, проверить термостат, гидростат и розетки, установленные в нем.

Для того чтобы правильно снять круговую диаграмму, необходимо по очереди осуществить переключения сначала в прямом направлении положений, затем в противоположном. РПН устанавливается в одно из средних положений. «Чтобы исключить люфт, механизм переключения

следует установить механизм управления приводом в положение переключения ступеней регулирования. В данном положении фиксируется стрелка по шкале лимба, которое используется как начальная точка для угла поворота вала механизма управления» [13].

2.3 Предложения по повышению надежности устройств регулирования напряжения

Поскольку основные поломки происходят в контактах, необходимо проверять их, как и до ввода в эксплуатацию трансформатора, так и во время эксплуатации. Довольно часто достоверная информация по измеряемому сопротивлению, не известна, решением для повышения надежности будет оценка критериев исправности контактов для проверки. Также нужно учитывать сопротивление проводов и кабелей, входящие в измерительную цепь, которая соединяет контактор трансформаторной обмотке и избиратель. Также размеры и длины проводов и кабелей различные [28]. Следовательно, по данной причине производить сравнение сопротивление между фазами проблематично и неправильно. Но как следует из практики, одновременно отказать сразу два подвижных контакта (четный и нечетный), не самое частое явление, для того чтобы предотвратить данную поломку, необходимо отдельно сравнивать сопротивление четных и нечетных контактов переключающего устройства.

Обычно измеряют сопротивление токоведущего контура предизбирателя на 10 и 13 положениях переключающего устройства, между выводами основной обмотки и первым десятым неподвижным контактом реверса предизбирателя (норма сопротивления не более 1000 мкОм).

Также используют измерение сопротивления токоведущего контура предизбирателя на 13 и 12 положениях переключающего устройства между вводом нейтрали (при переключении в противоположную сторону). Норма сопротивления при таком измерении не более 2000 мкОм.

Помимо этого, нужно произвести измерение сопротивления на всех фазах переключающего устройства на 10 и 13 положениях (норма сопротивления также не должна превышать значения 2000 мкОм).

Данный способ замера сопротивления является способ амперметр-вольтметр, но так как данный метод трудоемкий и дорогой чаще всего используют омметр. Проверка контактов обеспечивает более детальной информацией о самом РПН, а также уменьшает вероятность отказов трансформаторов. Преимуществами является точная информация о сопротивлении контактов, что дает возможность оценить работоспособность РПН. Минусами данного решения во время эксплуатации является отключение трансформатора, от сети, но следует производить данные замеры по истечению заявленного срока переключения, также нужно будет проводить ревизию переключающего устройства. После того как будут проделаны данные действия, надежность РПН повысится и уменьшится вероятность отказов.

2.4 Приборы, применяющиеся в переключающих устройствах

Регулятор напряжения.

В каждом переключающем устройстве устанавливается регулятор напряжения на РНТА и RS устанавливается Сириус 2-РН, который используется для автоматического регулирования коэффициента трансформатора, при управлении моторным приводом переключающего устройства. Сигналы с вторичных обмоток измерений первичных трансформаторов тока и напряжения. Данный прибор является автономным и участие оперативного персонала не требуется для эксплуатации прибора. Для того чтобы прибор эксплуатировался корректно, необходимо задать программу и режим работы регулятора, используя руководства по эксплуатации и считывать данные с других устройств контроля. Чтобы правильно настроить прибор, необходимо использовать один из двух

методов, при помощи персонального компьютера дистанционно по протоколам связи, или непосредственно на месте, при помощи панели управления в моторном приводе. В устройстве применяется модульная микропроцессорная техника, что дает дополнительную надежность, так как не используются плавкие вставки, также она более быстро действенная, точная в плане измерений, нежели прошлые аналоги, применяемые в переключающих устройствах. Алгоритмы используемые в регуляторе напряжения соответствуют современным требованиям к системам релейной защиты, что дает ему возможность совместимости с аппаратурой, применяемой в современных переключающих устройствах [26].

На переключающих устройствах марки MR устанавливается регулятор напряжения TAPCON. Данный регулятор используется для поддержки постоянного выходного напряжения трансформатора с устройством РПН. Для этого регулятор напряжения TAPCON сравнивает фактическое напряжение с заданными значениями ($U_{\text{факт.}}$) и ($U_{\text{задан.}}$). Отклонение напряжения dU это приращение и разница между $U_{\text{факт.}}$ и $U_{\text{задан.}}$. Характеристики регулятора можно подстроить к параметрам сетевого напряжения, что дает баланс регулирования при минимальном числе переключений положений регулирования РПН. Регулятор напряжения обычно работает в следующих режимах. Если устройство используется в автоматическом режиме напряжение регулируется автоматически в соответствии с установленными настройками, изменить которые нельзя при эксплуатации и переключении переключающего устройства, также не следует проводить управление со стороны высшего порядка не следует. В этом режиме активное управление со стороны системы более высокого порядка не осуществляется. Если эксплуатировать в ручном режиме, автоматическое регулировка не применяется. «Моторным приводом можно управлять через панель управления регулятора напряжения. Настройки регулятора напряжения можно изменять. В режиме местного активное управление со стороны системы более высокого порядка не осуществляется.

В дистанционном режиме можно подавать команды с внешнего уровня управления. Регулятор изображен на рисунке 14» [12].

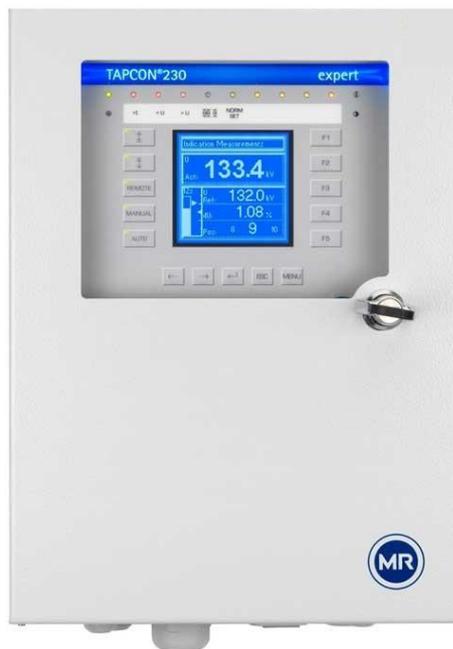


Рисунок 14 – Регулятор напряжения TAPCON

Датчик положения ДП-2 и ДП-3.

Датчик положения предназначен для определения положения РПН. По конструкции он представляет собой цилиндр из металла с фасками для монтажа. Монтируется данный датчик вместо сельсин датчика и представляет собой датчик угла поворота привода на основе резисторов.

Поставка датчика осуществляется в специальной транспортной упаковке, маркированной по стандартам и содержащую манипуляционные знаки.

Датчик положения ДП-3 используется для определения текущего положения регулирования под нагрузкой. «Устанавливается данный датчик взамен сельсин датчика и представляет собой электронный датчик фиксирующий угол поворота моторного привода входящие в него схемы преобразования сигнала. Также датчик положения имеет специальные

интерфейсы, на которые выводится сигнала об положении моторного привода» [2].

Встроенный интерфейс RS-485 служит для осуществления передачи информации о текущем положении РПН в систему АСУТП при помощи дополнительных преобразователей. Также присутствует аналоговый интерфейс с параметрами сигнала 4-20 мА, который применяется для передачи информации о регулировании отвлечения в указатель положения. Второй аналоговый интерфейс использует сигнал 0-5 В или 0 -24 В и передает информацию непосредственно в АСУТП [13].

Если применять данный датчик, он может заменить прошлые резистивные датчики, что делает его универсальным и применимым ко всем типам переключающих устройств. Комплектация данного датчика определяется при его заказе и согласовании с поставщиком.

Упаковка прибора осуществляется по категории КУ-1 согласно госту, транспортировка на небольшие расстояния или поставка маленьких партий датчиков по согласованию с потребителем допускается без специальной упаковки и ящиков. Датчик показан на рисунке 15.



Рисунок 15 – Датчик положения РПН

Моторный привод РПН.

Моторный привод используется для приведения в действие подключенное переключающее устройство, и для правильного осуществления переключения положений на всем диапазоне регулирования.

Основными частями моторного привода являются

1. Корпус шкафа управления.
2. Электродвигатель.
3. Электрические цепи сигнализации.
4. Система обогрева и освещения шкафа.

Любой моторный привод переключающего устройства имеет все важные сигнальные устройства и датчики, устройства защиты (предохранители), а также устройства конечных механических и электрических блокировок и блокировку работы электродвигателя при переходе на ручное переключение при помощи рукоятки моторного привода. Помимо этого, дополнительно устанавливается режимы управления – последовательное переключении мертвых положений и переключение на одну ступень.

Помимо этого, в моторном приводе предусматривается отключение питающего напряжения, при неправильной последовательности фаз если вал осуществляет переключение в неправильное положение. Устанавливается привод РПН вертикально на стенку бака, где его удобно эксплуатировать и обслуживать [24].

Управление обычно предусматривает наличие дистанционного переключения (через диспетчерский пункт), или через кнопки управления (местное управление). Если переключение началось и напряжения пропало, то при повторной подаче питания привод завершает переключение автоматически. Общий вид моторного привода показан на рисунке 16.



Рисунок 16 – Общий вид моторного привода

Струйное реле.

Струйные реле используются для того чтобы защитить контакторы переключающих устройств от повреждений и деформации, так как в конструкции таких реле нет поплавков, они срабатывают на скорость потока масла [22]. Для трансформаторов мощностью до 40 МВА используют уставку 0,65 м/с, для трансформаторов мощностью более 40 МВА используют уставку 1 м/с. «В таких реле используют повышенной электротехнической прочности герконы, размещенные в корпусе реле, совместно с контактной платой. Обычно данные контакты изготавливают неподвижными, которые полностью изолированы от трансформаторного масла, а также сопровождаются дополнительной защитой от атмосферных и механических воздействий. Помимо этого, реле делают таким образом, что при необходимой ревизии и ремонте, не вскрывать РПН и не отключать трансформатор от сети» [4].

Габаритные размеры данных реле универсальны, подходящие для всех стандартных патрубков РПН. Меняются материал реле, покрытие и

установочные размеры для подключения кабелей, будь то бронированные или под металлокабели.

Так как контактор РПН расположен в отдельном баке, при переключении происходит возгорание дуги в масле, которое начинает разлагаться и выделяет газ для работы реле. Помимо этого, бак РПН соединяется с расширителем через патрубки, в данные патрубки и устанавливается струйное реле, которое срабатывает на скорость потока масла. Поскольку данное реле не срабатывает на газ, имеет специальную заслонку и два отключающих контакта [15]. В момент срабатывания струйного реле, замыкаются контакты, и в смотровом окне появится специальный сигнал. После срабатывания струйное реле остается в сработавшем положении и должно возвращаться в исходное положение нажатием кнопки на реле. Реле снабжено также кнопкой опробования, нажав на которую можно отключить трансформатор. Струйное реле показано на рисунке 17.



Рисунок 17 – Струйное реле

Указатель положения РПН.

Функционально указатель состоит из двух блоков: указатель положения и регулятор. Возможны следующие варианты работы УП 200: – указатель и регулятор включены; – указатель отключен, работает регулятор. При этом любые входящие сигналы могут быть помечены пользователем как неактивные и не учитываться при работе прибора. Сигналы со вторичных обмоток измерительных трансформаторов токов и напряжений поступают на согласующие трансформаторы. Указатель преобразует в сигнал значение которое получает с датчика, после чего рассчитывается номер ступени, и далее показывает его на табло. Также указатель вырабатывает дискретные сигналы:

1. Положение РПН на верхней или нижней ступени регулирования.
2. Положение РПН на первой или последней ступени регулирования.

Помимо этого, присутствует настройка калибровки под конкретное положение регулирования. В указателе положения имеется возможность задания угла начала установки датчика при работе с сельсине-датчиком. Таблица калибровки регулируется в по следующему принципу, текущий угол, становится в положение с номером, который установлен на индикаторе, после чего другие положения корректируется автоматически. Заводские настройки при заказе устанавливаются на 19 положений РПН. Настройку прибора можно осуществить, используя интерфейс RS=485 с помощью компьютера и программного обеспечения [26].

Для того чтобы настроить указатель положения необходимо снять перемычку между клеммами в блоке зажимов ХТ2 в шкафу управления, что приводит к отключению автоматического прохождение номинального положения. Далее необходимо выбрать уставки, как обозначено в руководстве по эксплуатации. Далее проводится калибровка положений РПН, путем выбора времени по положениям. После чего нужно необходимо выбрать «Импульсный режим» переключения. Мертвые положения

соответствуют положениям 10, 11, 12, 13. После окончания настройки указателя положения подключить ЛАТР к зажимам X4.1 и X4.2 указателя УП 200. «По истечению двух минут устройство РПН должно начать переключение с увеличением числа ступеней (нужно проверить чтобы указатель положения во время переключений устройства РПН показывал значения положений, совпадающее со значениями на указателе положения механизма управления РПН. При достижении 115 В (конечное напряжение). При выполнении данных условий если следовать рекомендациям, указатель положения настроен корректно. Указатель положения показан на рисунке 18» [20].



Рисунок 18 – Указатель положения РПН

Маслоуказатель РПН

Контроль уровня масла в расширителе осуществляется при помощи специального устройства, сконструированной из циферблата с отметками минимум и максимум и стрелки.

Стрелка маслоуказателя прикреплена к поплавку при помощи магнитного соединения который и передает вращательные движения (вверх или вниз) на корпус маслоуказателя. Встроенные в корпус два магнитоуправляемых контакта (далее именуемые герконы) замыкаются, один при минимальном, другой при максимальном уровне масла в расширителе; предназначены для коммутации электрической цепи сигнализации.

Установленные рядом с герконом неподвижные магниты исключают срабатывание герконов в зоне допустимых изменений измерений уровня масла. Выводы герконов подсоединены к колодке клеммной, установленной в коробке зажимов [17]. В процессе монтажа для МС-2 опустить рычаг вниз до упора штифта в ограниченную втулку, стрелка должна встать на положение «MIN».

МС-2 – маслоуказатель для трансформаторов имеющего расширитель для переключающего устройства. а стрелка МС-2 связана с поплавком, находящихся на поверхности масла, при помощи рычажного привода и системы магнитов, которая передает движение на корпус маслоуказателя. Маслоуказатель показан на рисунке 19.



Рисунок 19 – Маслоуказатель РПН

Термосопротивление.

Термосопротивление – датчик для контроля и измерений температуры. Принцип действия данных датчиков реализуется на зависимости эклектического сопротивления материалов от температуры. Также преобразователи изготавливаются в форме катушки из проволоки, изготовленной из платины или тонкой меди на каркасе изолированного материала, заключенном в защитной специальной гильзе. Термосопротивление характеризуется двумя основными параметрами:

1. Сопротивление датчика при температуре нуль градусов.
2. Отношение сопротивления датчика при температуре сто градусов к прошлому параметру.

Подключение осуществляется следующим образом: два провода присоединяется к одному из выводов терморезистора, в то время как третий провод присоединяется к последующему выводу. Помимо этого, нужно соблюдать условие чтобы все провода имели одинаковые сопротивление. Также термометр сопротивления можно подключить по двух проводной схеме, но при таком соединении будет отсутствовать компенсация сопротивления самих проводов и будет присутствовать зависимость прибора от колебаний температуры в проводах (градуировка) [29].

Наиболее точными является термосопротивления, сконструированные на основе платины или платинового напыления на катушку. Поэтому стали примечательны термометры Pt-100 (сопротивления между контактами 100 Ом). Принцип работы основан на измерении сопротивления материалов при воздействии температуры.

У материалов при увеличенном температурном воздействии увеличивается сопротивление (резистор) у полупроводников наоборот. «Работает от зависимости чувствительного элемента от температуры. При увеличении или уменьшении температуры датчик дает сигнал на шкаф управления РПН (моторный привод) о неисправности, обычно это стандартный сигнал 4-20 мА по протоколам, разобрав который можно пресечь поломку и дефект переключающего устройства» [23].

При этом различные материалы обладают разным температурным коэффициентом. Это значит, что одни реагируют на изменения больше, другие меньше.

Термосопротивление показано на рисунке 20.



Рисунок 20 – Термосопротивление

Система мониторинга РПН.

Система мониторинга РПН – микропроцессорное устройство, используемое для регистрации и диагностики состояния переключающего устройства в режиме реального времени во время эксплуатации трансформатора. Основные преимущества:

1. Универсальность - система может использоваться с устройствами РПН любых производителей.
2. Экономичность - возможно исполнение системы для контроля трехфазной группы в одном шкафу (контроль трех приводов).
3. Функциональность - благодаря применению промышленного контроллера, система является проектно-компонентной, что позволяет реализовать дополнительные функции (например, контроль температуры масла окружающего воздуха, расчет температуры ННТ обмотки, контроль работы системы охлаждения (СО), управление СО и т.д.).

4. Гибкость – варианты исполнения: отдельный шкаф, без корпусной вариант, для установки в другие системы (СМиД, шкафы управления СО, шкафы соединений).

5. Наблюдаемость и планирование – в системе реализованы алгоритмы контроля времени очередного технического обслуживания, что позволяет оптимизировать профилактическое обслуживание и содержать трансформатор в исправном состоянии.

Система мониторинга РПН построена на базе промышленного микропроцессорного контроллера с энергонезависимой памятью, в которой хранятся программное обеспечение и настройки, не требующие повторной загрузки после снятия питания со шкафа мониторинга РПН [27]. Система мониторинга РПН непрерывно осуществляет контроль технических характеристик РПН на основе: тока (привода и устройства РПН), напряжения питания привода РПН, температуры масла в контакторе РПН и в трансформаторе, номера положения РПН; – дискретных сигналов от РПН. Основные функции: – непрерывный контроль технических характеристик РПН (механического и коммутационного ресурса контактора РПН, ресурса замены масла, механического момента на валу привода РПН, времени и максимального момента на валу РПН при последнем переключении и т.п.) в процессе эксплуатации с записью в энергонезависимую память, возможность блокировки моторного привода при превышении граничных значений контролируемых параметров - защита от повреждения устройства РПН и трансформатора [30].

Контроль времени очередного технического обслуживания (для своевременного планирования - сигнализация о приближении срока очередного ТО). После каждого переключения система мониторинга сохраняет в энергонезависимую память данные о переключении (время, начальное/конечное положение, все значения параметров, моменты на валу привода по зонам переключения и т.д.).

«Передача данных в смежные системы или сеть заказчика по стандартным цифровым протоколам, световая индикация текущего состояния РПН, формирование релейной предупредительной сигнализации о состоянии РПН, настройка и отображение информации на графической панели, а также удаленно на ПЭВМ (смартфоне, планшете) при помощи web-интерфейса; – самодиагностика оборудования системы» [15].

Выводы по разделу 2

В ходе исследования и рассмотрения методов диагностики можно рассматривать мероприятия с двух точек зрения. С экономической и технической точки зрения. В плане экономики следует выбирать мероприятия и закупку оборудования исходя из возможностей потребителя, объекта или производства, где применяется трансформатор. Наиболее распространёнными методами являются визуальный осмотр и методы снятия диаграммы и виброизмерений, так как идет минимальное требование к персоналу и оборудованию, также это более выгодно с финансовой точки зрения, так как затраты не такие колоссальные.

1. Если брать другие методы, например, метод измерения температур с применением возможных индикаторов, то это уже более надежно с технической точки зрения, но в тоже время имеются сложности настройки термометров или термосопротивлений. В тоже время с экономической точки зрения, индикаторы от зарубежных производителей более дорогие, и при поломке их замена будет трудоемкой.

2. Рассмотренный метод диагностирования и проверки контактора при помощи пробного переключения, проверки работы схемы и контактора является самым действенным. В целом при эксплуатации трансформаторов во избежание поломок и аварий необходимо диагностировать РПН, так как большинство случаев отказа происходит именно в переключающем устройстве.

3. Для повышения надежности РПН и увеличения его срока эксплуатации, следует применять измерение сопротивления токоведущего контура предизбирателя. При нахождении РПН на 13 и 12 положениях между вводом нейтрали (при переключении в противоположную сторону). Измерение сопротивления проводится при помощи омметра. Норма сопротивления при таком измерении не более 2000 мкОм.

3 Технико-экономический расчет выбора РПН для силовых трансформаторов

Так как трансформатор является довольно дорогим оборудованием, выбор комплектующих для него должен происходить с огромной ответственностью. Основной из задач является правильный выбор переключающего устройства для трансформатора.

Переключающие устройства (ПУ) изготавливаются по двум типам исполнениям несущих монтажных фланцев для установки в бак трансформатора (круглый, и монтажный фланец колокольного типа) [28].

ПУ разработано на принципе раздельного коммутирования, то есть процесс по времени и месту от процесса переключения под нагрузкой. Желаемое положение выбирается избирателем без токового выбора. Каждая фаза имеет по два ряда неподвижных контактов.

Нечетные ответвления подсоединяются к одному ряду. На каждом ряду неподвижных контактов работает только один подвижный контакт. «Ответвления где расположены четные и нечетные контакты делают поочередные круговые движения, что, нечетные контакты свободны и могут бестоково выбрать положение регулирования, в то время как по четным контактам протекает ток.

В момент если нечетные контакты являются проводящими ток, то выбор положения может быть осуществлен четными контактами, также бестоково. Отказ комплектующих в трансформаторах показан на рисунке 21» [11].

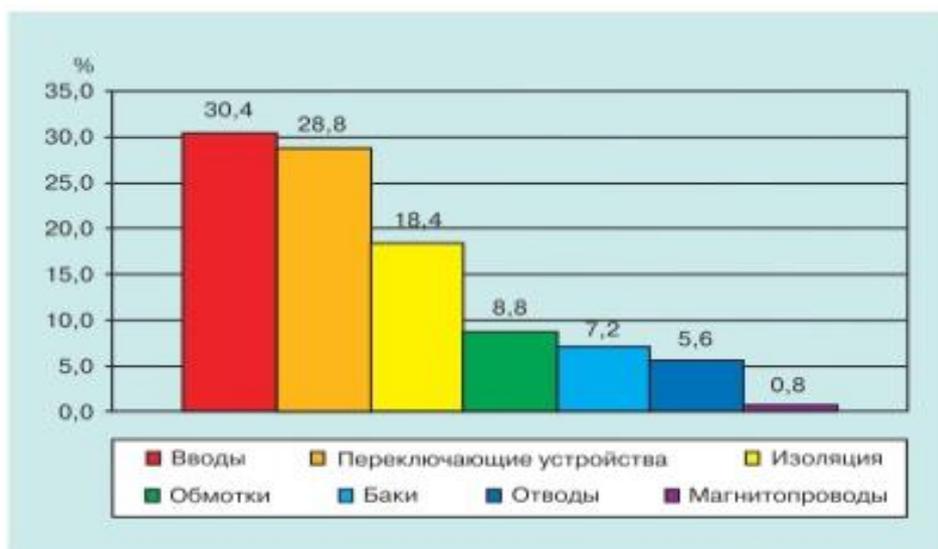


Рисунок 21 – Диаграмма отказов трансформатора по комплектующим

3.1 Расчет и выбор РПН для трансформатора

Паспортные данные приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Паспортные данные ТРДЦН 80000

Тип изделия, обозначение нормативного документа	Номинальная мощность кВА	Номинальное напряжение обмоток			Способ соединения обмоток	Потери кВт		Напряжение КЗ			Ток XX
		В	С	Н		Х	КЗ	ВН	ВН	СН	
ТРДЦН-80000/220	80000	В	С	Н	Y11/Y11/D-0-11	Х	КЗ	ВН	ВН	СН	0,23
		Н	Н	Н		Х		СН	НН	НН	
		220	115	35		40	310	10,5	18	7	

Ищем коэффициенты загрузки обмотки трансформатора.

$$k_{з.в.} = \frac{S_{ис\max}}{S_{номТ}} = \frac{68800}{80000} = 0,86, \quad (1)$$

$$k_{з.с.} = \frac{S_{заг}}{S_{номТ}} = \frac{34400}{80000} = 0,43, \quad (2)$$

$$k_{з.н.} = \frac{S_{зоп} + S_{ТГ}}{S_{номТ}} = \frac{34400}{80000} = 0,43. \quad (3)$$

Найдем потери активных мощностей

$$P_{KB} = P_{KC} = P_{KH} = 0,5 \cdot \Delta P_{BH-HH}, \quad (4)$$

$$P_{KB} = 0,5 \cdot 34,4 = 17,2 \text{ кВт}. \quad (5)$$

Далее найдем обмоточное напряжение в %

$$U_{KB} = 0,5 \cdot (U_{kBH-HH} + U_{kBH-CH} - U_{kCH-HH}) = 0,5 \cdot (18 + 10,5 - 7) = 21,5\% , \quad (6)$$

$$U_{KC} = 0,5 \cdot (U_{kBH-CH} + U_{kCH-HH} - U_{kBH-HH}) = 0,5 \cdot (10,5 + 7 - 18) = 0\% , \quad (7)$$

$$U_{KH} = 0,5 \cdot (U_{kBH-HH} + U_{kCH-HH} - U_{kCH-HH}) = 0,5 \cdot (18 + 7 - 10,5) = 7,25\% . \quad (8)$$

Далее ищем потери на реактивную мощность:

$$Q_{KB} = \frac{U_{KB}(\%)}{100} \cdot 80 = \frac{21,5}{100} \cdot 80 = 17,2 \text{ кВар}, \quad (9)$$

$$Q_{KC} = \frac{U_{KC}(\%)}{100} \cdot 80 = \frac{0}{100} \cdot 80 = 0 \text{ кВар}, \quad (10)$$

$$Q_{KH} = \frac{U_{KH}(\%)}{100} \cdot 80 = \frac{7,25}{100} \cdot 80 = 5,8 \text{ кВар}. \quad (11)$$

Расчет приведенных потерь трансформатора в режиме XX

$$P'_x = \Delta P + K_u \cdot Q_x = 45 + 0,05 \cdot 20 = 46 \text{ кВт}. \quad (12)$$

Ищем приведенные потери на КЗ соответствующих обмоток трёхобмоточного трансформатора.

$$P'_{кв} = P_{кв} + K_u \cdot Q_{кв} = 17,2 + 0,05 \cdot 17,2 = 18,06 \text{ кВт}, \quad (13)$$

$$P'_{кс} = P_{кс} + K_u \cdot Q_{кс} = 17,2 + 0,05 \cdot 0 = 17,2 \text{ кВт}, \quad (14)$$

$$P'_{кн} = P_{кн} + K_u \cdot Q_{кн} = 17,2 + 0,05 \cdot 5,8 = 17,49 \text{ кВт}. \quad (15)$$

Ищем приведенные потери мощности трансформатора:

$$P'_T = P'_x + k_{з.в.}^2 \cdot P'_{кв} + k_{з.с.}^2 \cdot P'_{кс} + k_{з.н.}^2 \cdot P'_{кн}, \quad (16)$$

$$P'_T = 46 + 0,86^2 \cdot 18,06 + 0,43^2 \cdot 17,2 + 0,43^2 \cdot 17,49 = 65,61 \text{ кВт}. \quad (17)$$

После чего находим стоимость годовых потерь в трансформаторах:

$$I_9 = \Delta W_{nc} \cdot C_9 = 2217 \cdot 2 = 4434 \cdot 10^3 \text{ руб}, \quad (18)$$

где $\sum \Delta W_{nc}$ – годовые потери электроэнергии в трансформаторах, кВт ч;

C_9 – 4 руб/кВт·ч, стоимость 1 кВт·ч электроэнергии.

Экономическая целесообразность выбора трансформаторов определяется методом приведенных затрат:

$$Z_{np} = E_n \cdot K + I = E_n \cdot K + I_9 + I_0 \quad (19)$$

$$Z_{np} = 6914000 \text{ руб}.$$

Дальнейшие расчеты по ступеням мощностей для потребителей сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Результаты расчетов для ТРДЦН 80000

I	$S_e \text{ MBA}$	$S_c \text{ MBA}$	$S_n \text{ MBA}$	n_i	$T_i \cdot 10^3$	ΔW_{xi}	$K_{\text{э}ni}^2$	$K_{\text{э}ni1}^2$	$K_{\text{э}ni2}^2$	ΔW_{xBi}	ΔW_{xCi}	ΔW_{xHi}
1	68,8	34,4	34,4	2	1	110	0,73	0,43	0,43	14,36	84,13	84,12
2	59,76	33,32	27,82	2	2	220	0,74	0,41	0,34	29,29	157,85	110,04
3	52,92	29,6	23,32	2	2	220	0,66	0,37	0,29	22,97	124,57	77,32
4	43,98	25,92	18,6	2	3	330	0,55	0,32	0,23	23,8	143,29	73,78
5	29,34	14,8	7,27	2	0,76	83,6	0,37	0,18	0,09	2,7	11,84	2,86
					8,76	$\sum \Delta W_{xi}$ =963,6 кВт ч				$\sum \Delta W_{xBi}$ =93 кВт ч	$\sum \Delta W_{xCi}$ =521,7 кВт ч	$\sum \Delta W_{xHi}$ =348,14 кВт ч
$\sum \Delta W_{\text{TC}} = \sum \Delta W_{xi} + \sum \Delta W_{xBi} + \sum \Delta W_{xCi} + \sum \Delta W_{xHi} = 2217,07 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$												

I_o – годовые отчисления, руб., которые можно определить из выражения:

$$I_o = p_{\text{сум}} \cdot K = 0,094 \cdot 20 \cdot 10^6 = 1880000 \text{ руб.} \quad (20)$$

«Далее выполним расчет и выбор переключающего устройства для трансформатора ТРДЦН-80000/220» [18].

Исходные данные

- 1) количество фаз – 3-фазный.
- 2) соединение обмоток трансформатора.
 1. Звезда в середине обмотки.
 2. Звезда в начале обмотки.

3. 3,4 соединены в треугольник.

3) номинальная мощность трансформатора $P = 80\text{MVA}$.

4) мощность, снижающаяся с положения 20 (данный параметр определяется исходя расчета контроля витков обмотки).

5) Регулируемое напряжение $U = 230\text{kV}$.

6) уровень регулирования +/- 12%.

7) количество ступеней +/- 12.

Коэффициент трансформации при установке РПН в нейтрали обмотки ВН:

$$K_m = \frac{U_{cm}}{U_n} = \frac{35000}{80000} = 0,43. \quad (21)$$

Рассчитывается напряжение ступени регулирования (в кВ)

$$\Delta U_m = \frac{\Delta U_{cm} [\%]}{100} \cdot U_{вном} = \frac{12}{100} \cdot 220 = 26,4\text{kV}. \quad (22)$$

Рассчитывается напряжение принятого стандартного ответвления

$$U_{отв} = U_{вномт} + n_{отвст} \cdot \Delta U_{cm} = 220 + 4 \cdot 26,4 = 325,6\text{kV}. \quad (23)$$

Расчет выполнен правильно, если выполняется условие

$$\frac{U_{нж} - U_{нф}}{U_{нж}} \cdot 100 \leq \Delta U_{cm} = \frac{310,6 - 230}{310,6} \cdot 100$$
$$25,9 \leq 26,4. \quad (24)$$

Максимальное напряжение регулирования

$$U_{\max} = 257,6 \text{ кВ}.$$

Минимальное напряжение регулирования

$$U_{\min} = 202,4 \text{ кВ}.$$

Далее для каждого ответвления, сведем в таблицу 3.

Таблица 3 – Таблица ответвлений

Номер ответвления	Добавка напряжения, %	Напряжение ответвления, кВ
1 (U _{max} .ВН)	+12	257,6
2	+11,5	253,3
3	+11	250,5
4	+10,68	242,9
5	+8,9	237,8
6	+7,12	230,1
7	+5,34	226,4
8	+3,56	223,2
9	+1,78	219,5
10 (U _{ср} .ВН)	0	217,8
11	-1,78	216
12	-3,56	215,2
13	-5,34	213,4
14	-7,12	218,9
15	-8,9	214,2
16	-10,68	210,4
17	-12,46	208,3
18	-14,24	205
19 (U _{min} .ВН)	-12	202,4

Далее определим максимальный ток

$$U_{\max} = \frac{P}{U_{\text{ном}} \cdot \sqrt{3}} \cdot 1,05 = \frac{80000}{220 \cdot \sqrt{3}} \cdot 1,05 = 211,1 \text{ А}. \quad (25)$$

Далее согласно полученным данным выбираем один из типов переключающего устройства (VV III 400/600, MS III 300, VRx III 400/550/700)

Далее определим напряжение на ступени регулирования:

$$U_{ст} = \frac{27,6}{12 \cdot \sqrt{3}} = 1328 В.$$

Напряжение в конце ступени при крайнем положении РПН

$$U_{край} = 12 \cdot U_{ст} = 12 \cdot 1328 = 15936 В. \quad (26)$$

Далее выбираем уровень изоляции согласно таблице 4.

Таблица 4 – Номинальный уровень изоляции

Номинальный уровень изоляции	Для всех вариантов устройств РПН				
	72,5	123	170	245	300
Максимальное напряжение для оборудования U_m (кВ)					
Расчетное выдерживаемое напряжение (кВ, 1,2/50 мкс)	350	550	750	1050	1050
Расчетное выдерживаемое импульсное коммутационное напряжение				850	850
Испытательное напряжение ПЧ 50 Гц, 1 мин	140	230	325	460	460

Далее определим напряжение между началом и концом обмотки регулирования

$$a = \frac{U_{ст}}{41,6} = 31,872 кВ. \quad (27)$$

Расчетные выдерживаемые напряжения показаны в таблице 5.

Таблица 5 – Расчетные выдерживаемые напряжения внутренней изоляции устройства РПН

Изоляционные промежутки	Для всех вариантов устройств РПН	
A0	Испытание напряжения 20кВ	
A1	150	30
A	265	50
B	265	50
C1	485	143
C2	495	150

A1 – напряжение между контактами избирателя регулировочной обмотки одной ступени. A – Напряжение между началом и концом обмотки регулирования. B – Напряжение между контактами избирателя разных фаз и между контактами предизбирателя [19].

Далее найдем напряжение между контактами избирателя разных фаз и между контактами предизбирателя для нашего случая:

$$b = a \cdot \sqrt{3} = 31,972 \cdot 1,72 = 55,2 \text{ кВ} . \quad (28)$$

Далее выбираем тип предизбирателя согласно таблице 6.

Таблица 6 – Выбор типа предизбирателя

Изоляционные промежутки	Размерная серия избирателя С	
A0	Испытание напряжения 20кВ	
A1	150	30
A	350	82
B	350	82
C1	545	178
C2	550	182

Далее найдем испытательное напряжение для оборудования, согласно данным на переключающие устройства оно составляет 72,5 кВ. Поскольку компания MR лидирует в разработках РПН выбираем переключающее устройство типа VM III 350 Y – 72,5/С – 14,27W.

Параметры переключающего устройства:

1. Количество фаз – 3.
2. Максимальный рабочий ток – 350 А.
3. Схема соединения обмоток – звезда.
4. Испытательное напряжение для оборудования – 72,5 кВ.

Данное переключающее устройство соответствует трансформатору. Далее необходимо подобрать конструктивно расположение РПН для бака трансформатора. Расположение редуктора на крышке ПУ зависит от расположения моторного привода на баке трансформатора. Вариант головки РПН зависит от расположения активной части [21]. После установки ПУ идет заливка масла и установка патрубков (патрубок Q используется для возврата масла если есть масло фильтровальная установка, патрубок R используется для установки струйного реле, патрубок S применяется для установки сифонной трубы). Также используется датчики температуры типа Pt100 с сигналом 4-20 мА, но он поставляется по требованиям заказчиков. Далее выбирается моторный привод для РПН, моторный привод выбирается исходя из напряжения цепей управления и двигателей, корпус шкафа, наличие системы мониторинга и т.д.

Выводы по разделу 3

1. В ходе проведения технического расчета, был выбран переключатель VM III 350 Y – 72,5/С – 14,27W от компании MR, данный переключатель стоит 3,2 млн рублей, входящее в общую сумму трансформатора. Для того, чтобы осуществить большую безопасность для оперативного и ремонтного

персонала, необходимо установить видимый разрыв цепи и предусмотреть устройства защитного заземления. В комплектации устройств РПН входит моторный привод, работающий при помощи электродвигателей. Переключение ответвлений РПН может производиться дистанционно при помощи шкафа управления, а также возможно при помощи релейных установок и автоматики. Помимо этого, рассматривается вариант управления переключений ответвлений регулирования с помощью ручного рычажного привода, если моторный привод имеет неполадки или на нем отсутствует питание.

2. Устройство РПН используется для регулирования коэффициента трансформации трансформаторов без полного отключения трансформатора от нагрузки. Также данным способом можно скомпенсировать колебания напряжения, которые возникают в линиях электропередач. Для этого устройства РПН встраиваются в трансформаторы и подключаются к их активной части. Моторный привод, получающий управляющий импульс (например, от регулятора напряжения), изменяет рабочее положение устройства РПН, в результате чего происходит необходимая корректировка коэффициента трансформации трансформатора. Приводной вал обеспечивает механическое соединение между приводом и устройством РПН или ПБВ. Изменение направления оси вращения вала с вертикального на горизонтальное производится с помощью углового редуктора. Исходя из этого, вертикальный приводной вал следует поставить между угловым редуктором и моторным приводом, а горизонтальный между самим переключающим устройством РПН и угловым редуктором. Далее проводится монтаж РПН в бак трансформатора. При помощи крана и строп, идет поднятие контактора, и под наблюдением квалифицированных специалистов идет погружение РПН в бак, очень важно при погружении не допускать ударов и повреждений об бак трансформатора, для избегания нарушений в работе РПН. После успешного погружения и присоединения РПН на монтажный фланец, идет электрическое подключение отводов

регулирующей обмотки трансформатора к контактору РПН. Во время подключения, кабели не должны прокладываться в натяг, чтобы избежать механического натяжения. После подключения РПН к отводам идет установка крышки РПН на монтажный фланец, в этот момент очень важно не повредить резьбу и не сорвать пломбы РПН.

Заключение

Устройство РПН применяется для регулировки коэффициента трансформации без полного отключения трансформатора от нагрузки. Также данным способом можно скомпенсировать колебания напряжения, которые возникают в линиях электропередач. Для этого устройства РПН встраиваются в трансформаторы и подключаются к их активной части. В диссертации подробно разобраны виды и типы переключающих устройств, их особенности и конструкции. Наиболее универсальными является переключающее устройства РНТА, RS и Huaming.

Более дорогой переключатель MR является лучшим среди аналогов в плане надежности и эксплуатации, но также и самым дорогим, поэтому довольно часто применяется РНТА, RS и Huaming. Конструктивно каждый переключатель работает по примерно одинаковым схемам (в основном «грубый предизбиратель, избиратель с реверсом или избиратель без реверса»).

Далее были рассмотрены методы диагностирования РПН и трансформатора. Самыми надежными методами диагностирования числятся метод измерения температур при помощи индикаторов обмотки, термосопротивлений, которые ставятся в РПН и метод анализа газа при помощи газоанализаторов. Также очень распространены методы диагностики при помощи векторных диаграмм переключателей. Для этого необходимо снять осциллограмму во время переключения положения РПН. Детально рассмотренный метод диагностирования путем полной проверки схемы регулирования является наиболее действенным для переключающего устройства.

Самыми распространёнными приборами является струйное реле, для защиты РПН (реагирует на скорость потока масла), маслоуказатель РПН, термосопротивления для контроля температуры РПН, указатель положения РПН и регулятор напряжения. Для корректной работы РПН необходимо

диагностировать переключающее устройство по истечению количества переключений. Для обеспечения надежности РПН, необходимо измерять сопротивление подвижных и неподвижных контактов в РПН, так как контакты является наиболее частой поломкой, норма их сопротивления не должна превышать заявленное значение.

Заключительным этапом было проведение расчета выбора РПН для трансформатора. Был выбран переключатель VM III 350 Y – 72,5/C – 14,27W от компании MR. Данный переключатель имеет наиболее хорошие характеристики по сравнению с другими аналогами.

Поскольку трансформатор может эксплуатироваться в разных условиях, с разной нагрузкой и мощностью, нужно учитывать все указания, которые указываются в руководствах по эксплуатации, во избежание дальнейших проблем, (возможных замен, ревизий и денежных потерь).

Для того чтобы, определить расчетный рабочий ток переключающего устройства, нужно взять за основу максимальную мощность силового трансформатора. Нужно это, так как, не смотря на тип и системы охлаждения и ее алгоритм работы, при увеличении мощности, также увеличивается температура трансформаторного масла, поэтому внешние показатели РПН не улучшаются. Следующая причина – расчет по максимальному рабочему току и выбор токоограничивающих резисторов устройств РПН для ограничения значений нагрузки под коммутируемую мощность на контактах переключающего устройства до допустимых.

Список используемых источников

1. Газоанализаторы Hydrocal. URL: <https://lit-engineering.com/gazoanalizatory-sick-sensor-intelligence?yhid=76499869157293230> (дата обращения 21.04.2021).
2. Датчики положения РПН ДП-2. URL: <https://antraks.ru/produksiya/datchiki-polozheniya-dp> (дата обращения 21.04.2021).
3. Копейкина Т.В. Обзор методов определения неисправностей устройств РПН трансформаторов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 12-4. – С. 596-600.
4. Методы диагностирования РПН. URL: <http://www.epps.ru/journal/detail.php?id=1343> (дата обращения 21.04.2021).
5. Михеев Г.М., Ефремов Л.Г., Иванов Д.Е. Способы повышения энергоэффективности силовых трансформаторов // Вестник Чувашского университета. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sposoby-povysheniya-energoeffektivnosti-silovyh-transformatorov/viewer> (дата обращения: 26.05.2021).
6. Нормы технологического проектирования: URL: http://www.fsk-ees.ru/media/File/customers_tech/NTP_PS.pdf (дата обращения 11.12.2020).
7. Переключающие устройства РПН RS.9. URL: [Hyundai Heavy Industries \(hhi-co.bg\)](http://www.hyundaiheavyindustries.com) (дата обращения 21.04.2021).
8. Переключающие устройства РПН MR. URL: [Устройства РПН - \(reinhausen.com\)](http://www.reinhausen.com) (дата обращения 21.04.2021).
9. Переключающие устройства РПН Huaming. URL: [Huaming, переключающие устройства РПН и ПБВ \(hm-oltc.ru\)](http://www.huaming.com) (дата обращения 21.04.2021).
10. Переключающие устройства РПН РНТА. URL: [Продажа РПН типа РНТА. Производство Россия \(lider-energo.ru\)](http://www.lider-energo.ru) (дата обращения 21.04.2021).

11. Правила ПУЭ. URL: <http://electrica.pro/sites/default/files/ПУЭ.pdf> (дата обращения 21.04.2021).
12. Регулятор напряжения Сириус 2РН. URL: <https://ksenergo.com/magazin/product/sirius-2-rn-regulyator-napryazheniya-transformatora-pod-nagruzkoy?yhid=140741396258926884> (дата обращения 21.04.2021).
13. РПН и ПБВ. URL: <https://electricalschool.info/main/ekspluat/1145-ustrojstvo-i-obsluzhivanie-rpn.html> (дата обращения 25.12.2020).
14. Синицын Е.С., Осадчий А.Н. Измерение температуры обмотки трансформатора с помощью индикаторов температуры и трансформаторов тока / «Студенческие Дни науки в ТГУ»: научно-практическая конференция (Тольятти, 1-30 апреля 2021 года). Тольятти: изд-во ТГУ, 2021.
15. Синицын Е.С. Измерение температуры обмотки трансформатора с помощью индикаторов температуры и трансформаторов тока / «Молодежь. Наука. Общество – 2020»: Всероссийская студенческая научно-практическая междисциплинарная конференция (Тольятти, 25 декабря 2020 – 29 января 2021 года): электронный сборник студенческих работ / отв. за вып. С.Х. Петерайтис. – Тольятти: Изд-во ТГУ, 2021. С.794-797.
16. Синицын Е.С. Контроль изоляции и состояния трансформатора на основе использований газоанализаторов / «Студенческие Дни науки в ТГУ»: научно-практическая конференция (Тольятти, 1-30 апреля 2021 года). Тольятти: изд-во ТГУ, 2021.
17. Система мониторинга TDM. URL: https://dimrus.ru/texts/trans110_mon.html (дата обращения 21.04.2021).
18. Система мониторинга СМТ-РПН. URL: <https://www.astransfor.ru/index.php/ru/> (дата обращения 21.04.2021).
19. Струйное реле URF 25/10 и RS-1000 URL: [dokipedia.ru>pdf/5151131](http://dokipedia.ru/pdf/5151131) (дата обращения: 26.05.2021).
20. Термоспоротивления РТ-100. URL: <https://www.promav.ru/production/termometrysoprotivleniya/termopreobrazovatel>

i-soprotivleniya-proma-ts-100/?yhid=197327164248203656 (дата обращения 21.04.2021).

21. Трансформаторы ТДТН каталог. URL: http://www.elektrozavod.ru/sites/default/files/production/catalog_2018.pdf (дата обращения 25.12.2019).

22. Указатель положения УП-200. URL: <https://www.electronpribor.ru/catalog/177/up-200.htm> (дата обращения 21.04.2021).

23. Управление устройством РПН сетевого трансформатора с учетом режимов работы электросталеплавильного комплекса // Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. г. Магнитогорск, Россия. URL: <https://vestnik.susu.ru> (дата обращения: 26.05.2020).

24. Якобсон И.А. Испытание переключающих устройств силовых устройств. – М.: Книга по требованию, 2013. – 37 с.

25. Aljohani T. M., Beshnir M. J. Distribution System Reliability Analysis for Smart Grid Applications URL: <https://www.scirp.org/journal/PaperInformation.aspx?PaperID=77440> (дата обращения: 02.05.2021).

26. Arie L. Shernkman. Transient analysis of electric power circuits handbook/ Arie L. Shenkman// third edition, Holon McGraw- Hill book company 2015 – 586 p.

27. Billings K., Morey T. Switchmode Power Supply Handbook/ Billings K., Morey T. McGraw-Hill book company 2015 – 858 p.

28. James C. Das. Transients in Electrical Systems: Analysis, Recognition, and Mitigationм/ James C. Das// Second Edition, New York McGraw-Hill book company 2017 – 736 p.

29. Keith H. Billings. Switchmode Power Supply Handbook/ Keith H. Billings second edition, Holon McGraw-Hill book company 2014 – 656 p.

30. Marty Brown. Switchmode Power Supply Handbook/ Marty Brown McGraw-Hill book company 2016 – 278 p.