

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)

Техническое и информационное обеспечение интеллектуальных систем электроснабжения
(направленность (профиль))

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)

на тему Разработка предложений по построению интеллектуальной системы контроля режимов работы силового трансформатора

Студент

А.Ю. Глыга
(И.О. Фамилия)

_____ (личная подпись)

Научный
руководитель

к.т.н. В.И.Платов
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2021

Содержание

Введение	3
1. Задачи контроля режимов работы силового трансформатора и пути их решения.	7
1.1. Режимы работы силовых трансформаторов	7
1.2. Анализ характеристик силовых трансформаторов и способов контроля их режимов работы	13
1.3. Существующая система контроля рабочего режима силовых трансформаторов и задачи ее совершенствования.....	23
2. Разработка предложений по оснащению трансформатора дополнительными датчиками	29
2.1. Анализ существующих датчиков и оценка их эффективности	29
2.2. Обоснование предложений по применению дополнительных датчиков, основанных на косвенных методах контроля рабочего режима силового трансформатора	46
2.3. Разработка системы дистанционного считывания информации с датчиков	48
3. Разработка алгоритмов анализа сигналов датчиков.....	54
3.1. Разработка структурной схемы интеллектуальной системы контроля рабочего режима силового трансформатора.....	54
3.2. Разработка предложений по реализации интеллектуальной системы контроля рабочего режима силового трансформатора	66
Заключение	86
Список используемых источников.....	88

Введение

С появлением электричества человечество шагнуло в новую эпоху - эпоху энергии. В современном мире существует такое направление деятельности как энергетика. Энергетика, на данный момент, является тем пластом, на котором держится инфраструктура всех стран. Энергетика позволяет снабжать электричеством города и предприятия. Собственно, сама энергетика представляет собой большую инфраструктуру, в которой важную роль играют электрические подстанции. Благодаря подстанциям возможна передача энергии на большие расстояния, что позволяет обеспечивать города и предприятия электроэнергией.

Что же такое электрическая подстанция? Электрическая подстанция – совокупность энергоустановок, созданная для передачи, распределения и преобразования электрической энергии. Подстанция состоит из преобразовательных агрегатов, модулей, средств коммутации, устройств вспомогательного воздействия, а также из силовых трансформаторов. Силовой трансформатор является одним из самых важных устройств электрической подстанции.

Силовой трансформатор – это машина, основанная на явлении электромагнитной индукции, для преобразования одной величины тока и напряжения в другую величину тока и напряжения с сохранением показателя передаваемой мощности, при неизменной частоте. Для сборки одного силового трансформатора производится колоссальная работа, начиная от скрупулезного электромагнитного расчета заканчивая высоковольтными испытаниями. Силовой трансформатор является отнюдь не дешевым изделием, которое требует особого внимания и обслуживания во время всего срока эксплуатации.

В период всего срока эксплуатации силовой трансформатор нуждается в техническом обслуживании, невзирая на то, что трансформатор эксплуатируется в нормальном режиме - без перегрузок. Во время рабочего

режима может произойти разного рода дефекты, начиная от протечки бака заканчивая частичными разрядами внутри бака трансформатора, которые могут происходить из-за старения изоляции или оставшихся пузырьков воздуха в жидкой изоляции силового трансформатора. Стоит отметить, что частичные разряды не сильно влияют на рабочий режим силового трансформатора, однако, если частичных разрядов много и они происходят часто, то это влечет за собой усиленный износ твердой и жидкой изоляции. В связи с этим возможны срабатывания газовой защиты или вовсе короткие замыкания внутри активной части силового трансформатора.

Для того чтобы знать в каком состоянии находится эксплуатируемый трансформатор необходимо постоянно следить за его состоянием, а именно: за температурой масла, газосодержанием в баке, уровнем масла, а также за электрическими характеристиками. Зачастую во время эксплуатации в силовом трансформаторе возникают дефекты, которые могут привести к ситуациям, когда трансформатор выходит из строя. Для выявления и локализации дефектов существуют различные системы мониторинга.

Для чего же служит система мониторинга и что это такое? В основном это система диагностического контроля, которая позволяет выявить дефекты силового трансформатора во время его эксплуатации на самых ранних стадиях. Чем раньше дефект удастся обнаружить, тем эффективнее эта система и тем дольше прослужит силовой трансформатор.

На сегодняшний день у потребителей возникает необходимость в улучшении систем мониторинга. Это обуславливается тем, что потребитель заинтересован в том, чтобы дорогостоящие трансформаторы получали своевременное обслуживание в период возникновения дефекта, что позволит силовому трансформатору прослужить дольше. Зачастую потребители модернизируют свои подстанции, внедряя новые системы мониторинга или улучшая старые. Не стоит забывать о том, что системы контроля являются сложными и дорогостоящими системами, из-за чего от качественных систем отказываются и устанавливают что-то более дешевое. Именно такой

дешевый и информативный вариант системы и предстоит разработать в ходе всей магистерской диссертации.

Стоит отметить, что в диссертации затронуты не все системы мониторинга, а только часть. В основном системы мониторинга работают во время нормальной работы силового трансформатора, то есть во время рабочего режима силового трансформатора ведется непрерывное наблюдение за его характеристиками. В диссертации не затронуты алгоритмы реагирования систем мониторинга в период короткого замыкания, в период аварийной работы или в период повышенных нагрузок. Это обусловлено тем, что во время коротких замыканий всегда сработает релейная защита. Во время эксплуатации при повышенных нагрузках всегда ведется жесткий контроль, так как в такой режим не часто выводят силовые трансформаторы. Из выше сказанного следует, что необходимо подробнее изучить системы контроля рабочего режима силовых трансформаторов. Рабочий режим представляет из себя наиболее долгий режим работы силового трансформатора, поэтому является наиболее информативным.

Из выше сказанного, можно сделать вывод, что повышение информативности работы дешевых систем контроля рабочего режима и оценки технического состояния увеличит срок службы силового трансформатора, так как трансформатор будет выведен из рабочего режима до момента критического повреждения. Разработка более простой, дешевой и информативной системы позволит сэкономить финансовые ресурсы, поэтому разработка предложение по построению интеллектуальной системы является одним из главных факторов по улучшению функциональности подстанций.

Не стоит забывать, что рано или поздно может наступить момент, когда стоимость внедрения или улучшения системы контроля может превысить экономические возможности, а значит, во время разработки предложений по построению интеллектуальной системы необходимо учесть экономическую эффективность.

Целью магистерской диссертации заключается в повышении надежности и увеличение срока службы силового трансформатора.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ существующих систем контроля режимов работы силовых трансформаторов, а также приборов использующиеся в системах контроля рабочего режима,

- изучить неблагоприятные факторы, влияющие на некорректную работу системы,

- разработать дополнительные средства контроля и алгоритмы обработки сигналов датчиков контроля рабочего режима трансформатора.

1 Задачи контроля режимов работы силового трансформатора и пути их решения

1.1 Режимы работы силовых трансформаторов

Одним из наиболее важных элементов системы энергообеспечения являются силовые трансформаторы. Их модельный ряд весьма широк, но практический интерес для данной работы представляют масляные трансформаторы классом напряжения 110 кВ. Особенности работы других моделей и других классов напряжения будут рассмотрены отдельно, если они обладают существенными специфическими чертами.

Силовой трансформатор может работать в нескольких режимах, на которые влияют следующие основные параметры:

- нагрузка,
- температура трансформаторного масла,
- температура обмоток трансформатора,
- климатические условия.

Силовой трансформатор имеет несколько режимов работы: режим холостого хода, режим короткого замыкания, рабочий режим и режим повышенных нагрузок. В период эксплуатации рассматриваются только два режима: рабочий режим и режим повышенных нагрузок.

Режим работы силового трансформатора обусловлен тем, что работая в данном режиме силовой трансформатор будет функционировать весь срок службы, который установил завод-изготовитель. «Силовой трансформатор имеет следующие режимы работы:

- режим короткого замыкания,
- режим номинальной работы,
- режим холостого хода,
- режим параллельной работы,
- рабочий режим силового трансформатора.» [3]

Номинальный режим силового трансформатора – это тот режим, когда силовой трансформатор эксплуатируется при номинальном напряжении, при номинальной нагрузке, при нормальных климатических условиях, где температура воздуха составляет 20 градусов Цельсия. Такой режим считается идеальным и как правило такого режима быть не может. Поэтому существует понятие рабочий режим силового трансформатора. Из-за соответствующих отклонений это режим практически приближенный к номинальным параметрам. Отклонения от номинальных значений регламентированы нормативной документацией и техническими условиями на изделие.

Режим номинальной работы силового трансформатора характеризуется номинальным напряжением и номинальным током [28].

Номинальное напряжение $\dot{U}_{1\text{ном}}$ равно значению напряжения в первичной обмотке \dot{U}_1 . Данное равенство представлено в формуле 1:

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_{1\text{ном}} \quad (1)$$

где: \dot{U}_1 – напряжение в первичной обмотке, кВ;

$\dot{U}_{1\text{ном}}$ – номинальное напряжение первичной обмотки, кВ.

Номинальный ток $\dot{I}_{1\text{ном}}$ равен току в первичной обмотке \dot{I}_1 . Данное равенство представлено в формуле 2:

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_{1\text{ном}} \quad (2)$$

где: \dot{I}_1 – ток в первичной обмотке, А;

$\dot{I}_{1\text{ном}}$ – номинальный ток первичной обмотки, А.

Рабочий режим силового трансформатора характеризуется тем, что в данном режиме достигается максимальный коэффициент полезного действия

силового трансформатора. Условие наибольшего коэффициента полезного действия представлено в формуле 3:

$$k_{\text{нГ}} = \sqrt{\frac{P_{\text{ХХ}}}{P_{\text{КЗ}}}} \quad (3)$$

где: $P_{\text{ХХ}}$ – потери во время режима холостого хода;

$P_{\text{КЗ}}$ – потери во время режима короткого замыкания.

Режим, когда силовой трансформатор функционирует без нагрузки, называют режимом холостого хода. Данный режим сопровождается большим расходом электрической энергии, Поэтому такой режим не используется во время эксплуатации силового трансформатора.

Признаки, характеризующие режим холостого хода:

– на вторичных обмотках силового трансформатора отсутствует нагрузка,

– к отводам ВН подведено напряжение $\dot{U}_{1\text{ХХ}}$, равное номинальному напряжению $\dot{U}_{1\text{ном}}$. Данное равенство показано в формуле 4:

$$\dot{U}_{1\text{ХХ}} = \dot{U}_{1\text{ном}} \quad (4)$$

где: $\dot{U}_{1\text{ХХ}}$ – напряжение холостого хода в первичной обмотке, кВ;

$\dot{U}_{1\text{ном}}$ – номинальное напряжение первичной обмотки, кВ.

На холостом ходу ток во вторичной обмотке отсутствует.

Для должного понимания режима холостого хода силового трансформатора, на рисунках 1 и 2, приведены схемы опыта холостого хода однофазного и трехфазного силового трансформатора [4].

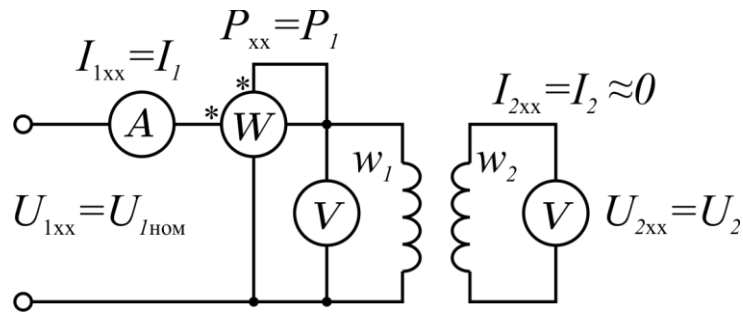


Рисунок 1 – Схема опыта холостого хода силового трансформатора

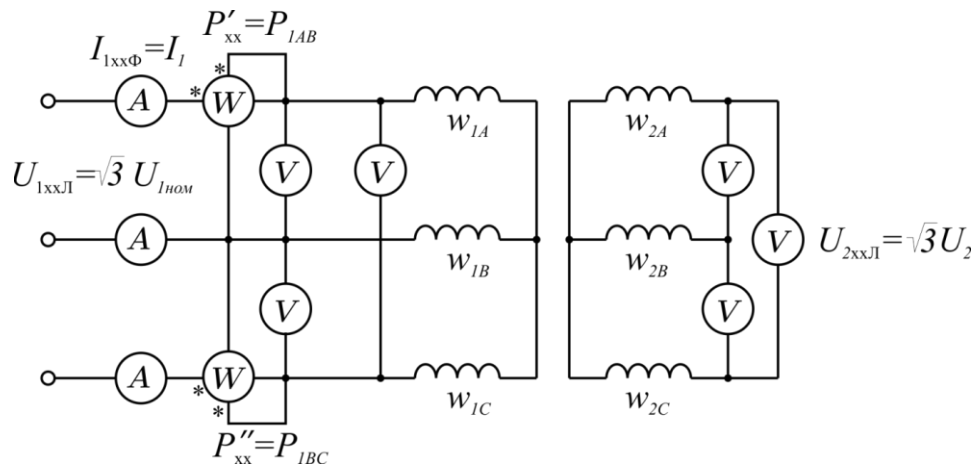


Рисунок 2 – Схема опыта холостого хода трехфазного трансформатора

Как было выше сказано, данный режим не используется в эксплуатации. Но служит режимом для определения тока холостого хода и потерь холостого хода. Данные параметры всегда учитываются при выборе силового трансформатора [20].

Режимом параллельной работы силовых трансформаторов называется такой режим, когда два силовых трансформатора или трансформаторная группа работают параллельно. При использовании данного режима необходимо соблюдать следующие правила:

- у используемых в параллельной работе силовых трансформаторов отличие коэффициента трансформации не должно превышать 0,5%,
- должна быть одинаковая группа соединения обмоток,

- отличие в напряжении короткого замыкания не должно превышать 10%,
- номинальная мощность одного силового трансформатора не должна превышать номинальную мощность другого трансформатора более чем на 1/3,
- обязательна соответствующая фазировка.

Режим повышенных нагрузок позиционируется как режим, когда отклонения рабочих параметров силового трансформатора больше значений приведенных в техническом задании и в установленных регламентирующих документах. Во время работы силового трансформатора в режиме повышенных нагрузок старение изоляции происходит намного быстрее, что приводит к сокращению срока службы трансформатора. Данный режим вызывается при несанкционированных повышениях нагрузки или при авариях [10]. Но даже такие режимы регламентированы и описаны в ГОСТ 14209-97. Так же информация о режимах перегрузки может быть представлена в документах на силовой трансформатор.

Режим в котором рабочие параметры силового трансформатора имеют значительное отклонение от нормируемых значений называется аварийным режимом. Во время эксплуатации данный режим не допускается. Как правило после таких режимов силовые трансформаторы подлежат дорогостоящему ремонту или же вовсе приходят в негодность без возможности восстановления. Причиной аварийного режима силового трансформатора могут быть дефекты внутри активной части трансформатора или же аварии во внешней системе энергоснабжения.

Аварийному режиму сопутствуют следующие явления:

- большой уровень шума,
- треск внутри бака силового трансформатора,
- при номинальной нагрузке силовой трансформатор сильно нагревается,
- утечка жидкого диэлектрика,

- снижение уровня трансформаторного масла в баке,
- выбросы трансформаторного масла из бака расширителя.

Как правило, благодаря системе РЗиА, аварийный режим имеет кратковременный характер. Так как при возникновении отклонений выше норм всегда сработает защита. Однако зачастую происходит так, что системы контроля не обрабатывают в нужный момент, что приводит к последствиям.

Режим, в котором вторичные обмотки силового трансформатора замкнуты, называется режимом короткого замыкания. При этом режиме наблюдаются следующие признаки:

- сопротивление нагрузки равно нулю,
- к обмотке стороны ВН приложено такое напряжение, при котором ток в первичной обмотке равен току номинальному;
- на выходе вторичной обмотки напряжение равно нулю.

Для должного понимания режима короткого замыкания силового трансформатора, на рисунках 3 и 4, приведены схемы опыта короткого замыкания силового трансформатора с одной фазой и силового трансформатора с тремя фазами.

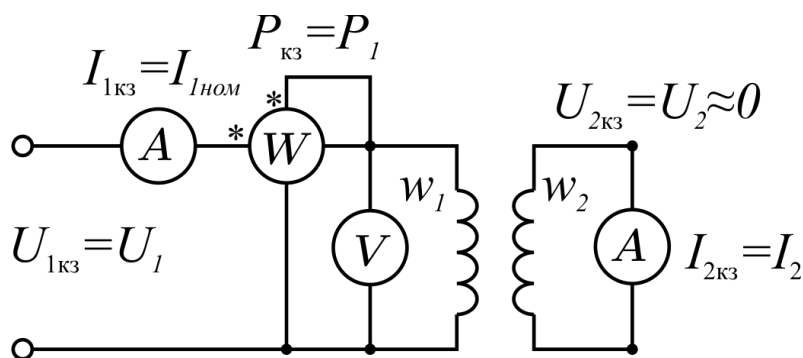


Рисунок 3 – Схема опыта короткого замыкания однофазного силового трансформатора

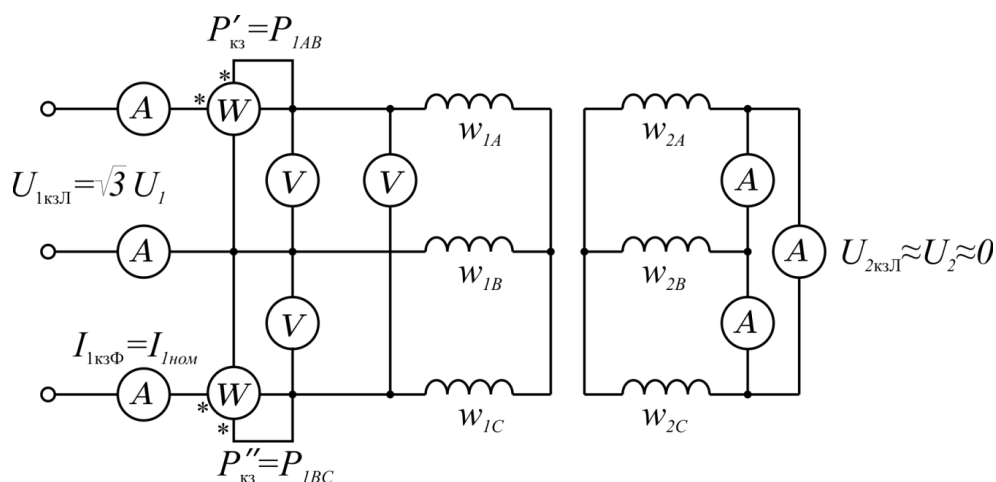


Рисунок 4 – Схема опыта короткого замыкания силового трансформатора с тремя фазами

«Для некоторых трансформаторов режим короткого замыкания является рабочим режимом, например для трансформаторов в сварочных аппаратах. Но так как в диссертации рассматриваются силовые трансформаторы для электрических подстанций, режим короткого замыкания неприемлем во время эксплуатации. Однако стоит отметить, что при создании силового трансформатора, на заводе изготовителе, в период приемо-сдаточных испытаний проводится опыт короткого замыкания для определения таких параметров как ток короткого замыкания и для определения потерь короткого замыкания. Это параметры так же являются очень важными факторами при выборе силового трансформатора.» [15]

1.2 Анализ характеристик силовых трансформаторов и способов контроля их режимов

Характеристики силовых трансформаторов классом напряжения 110 кВ приведены ниже в таблицах 1 – 5. В таблицах приведены данные по исполнениям силовых трансформаторов. Приведены значения номинальных напряжений, регулирование, даны обозначения групп обмоток.

Таблица 1 – Нормативные значения двухобмоточных силовых трансформаторов классом напряжения 110 кВ

Тип трансформатора	Номинальные значения напряжения, кВ		Схема и группа соединения обмоток	Вид, диапазон и число ступеней регулирования напряжения			
	ВН	НН					
ТМН-2500/110	110	6,6; 11,0	У _Н /Д-11	РПН на стороне НН(+15/-12)%; (+10/-8) ступеней			
ТМН-6300/110	115	6,6; 11,0; 16,5					
ТДН-10000/110		6,6; 11,0; 16,5					
ТДН-16000/110		22,0; 34,5					
ТДН-25000/110		38,5					
ТДН-40000/110							
ТРДН-25000/110		115	6,3-6,3; 10,5-10,5; 10,5-6,3	У _Н /Д-Д-11-11	РПН в нейтрали ВН ±16%; ±9 ступеней или ±14,24%; ±8 ступеней		
ТРДНС-25000/110							
ТРДН-40000/110							
ТРДНС-40000/110							
ТРДН-63000/110							
ТРДНС-63000/110							
ТРДН-80000/110							
ТДН-63000/110	38,5					У _Н /Д-11	РПН в нейтрали ВН ±16%; ±9 ступеней
ТДН-80000/110							
ТРДЦН-125000/110							

Таблица 2 – Нормативные значения трехобмоточных силовых трансформаторов классом напряжения 110 кВ

Тип трансформатора	Номинальные значения напряжения, кВ			Схема и группа соединения обмоток	Вид, диапазон и число ступеней регулирования напряжения
	ВН	СН	НН		
ТМТН-6300/110	115	16,5; 22,0	6,6; 11,0	У _Н /Д/Д-11-11	РПН в нейтрали ВН ±16%; ±9 ступеней или ±14,24%; ±8 ступеней; ПБВ на стороне СН 38,5 и 34,5 кВ ±(2x2,5%)
		38,5		У _Н /У _Н /Д-0-11	
ТДТН-10000/110		16,5; 22,0	6,6; 11,0	У _Н /Д/Д-11-11	
		34,5; 38,5		У _Н /У _Н /Д-0-11	
ТДТНШ-10000/110		11,0	11,0	У _Н /У _Н /Д-0-11	
		6,3	6,6		
ТДТН-16000/110		22,0	6,6; 11,0	У _Н /У _Н /Д-0-11	
		34,5; 38,5			
ТДТНШ-16000/110		11,0	11,0	У _Н /Д/Д-11-11	
		6,3	6,6		
ТДТН-25000/110		11,0	6,6	У _Н /Д/Д-11-11	
	34,5	6,6;	У _Н /У _Н /Д-0-11		
	38,5	11,0			
ТДТНШ-25000/110	11,0	11,0	У _Н /Д/Д-11-11		
	6,3	6,6			
ТДТН-40000/110	11,0	6,6	У _Н /Д/Д-11-11		
	22,0	6,6;	У _Н /У _Н /Д-0-11		
	34,5;	11,0			
ТДТНШ-40000/110	11,0	11,0	У _Н /Д/Д-11-11		
	6,3	6,6			
ТДТН-63000/110	11,0	6,6	У _Н /Д/Д-11-11	РПН в нейтрали ВН ±16%; ±9 ступеней; ПБВ по стороне СН 38,5 кВ ±(2x2,5%)	
	38,5	6,6; 11,0	У _Н /У _Н /Д-0-11		
ТДТН-80000/110	11,0	6,6	У _Н /Д/Д-11-11	РПН в нейтрали ВН ±16%; ±9 ступеней	
	38,5	6,6; 11,0	У _Н /У _Н /Д-0-11		

Таблица 3 – Нормативные значения трехобмоточных силовых трансформаторов классом напряжения 110 кВ

Тип трансформатора	Номинальные значения напряжения, кВ			Схема и группа соединения обмоток	Вид, диапазон и число ступеней регулирования напряжения	
	ВН	СН	НН			
ТМН-6300/150	158	-	6,6; 11,0	У _Н /Д-11	РПН в нейтрали ВН ±12%; не менее ±8 ступеней	
ТДН-16000/150			6,3-6,3; 10,5-10,5; 10,5-6,3			У _Н /Д-Д-11-11
ТРДН-32000/150						
ТРДНС-32000/150						
ТРДН-63000/150						
ТРДНС-63000/150						
ТДЦ-125000/150	165	-	10,5; 13,8	У _Н /Д-11	Без ответвлений	
ТДЦ-250000/150			15,75; 18,0			
ТЦ-250000/150			13,8			
ТДЦ-400000/150			20,0			
ТДТН-16000/150	158	38,5	6,6; 11,0	У _Н /У _Н /Д-0-11	РПН в нейтрали ВН ±12%; не менее ±8 ступеней; ПБВ на стороне СН 38,5 кВ ±(2х2,5%)	
ТДТН-25000/150			11,0			6,6
ТДТН-40000/150				38,5		
ТДТН-63000/150			11,0	6,6		У _Н /Д/Д-11-11
		38,5	6,6; 11,0	У _Н /У _Н /Д-0-11		

В таблицах 4 и 5 приведены значения напряжений короткого замыкания силовых трансформаторов.

Таблица 4 – Значения напряжений короткого замыкания в двухобмоточных силовых трансформаторах классом напряжения 110 кВ

Тип трансформатора	Напряжение короткого замыкания, %, для обмоток, не менее		
	ВН-НН	ВН-НН (НН)	НН-НН
ТМ-2500/110*	-	-	-
ТМН-2500/110	10,5	-	-
ТМ-4000/110*	-	-	-
ТМ-6300/110*	-	-	-
ТМН-6300/110	10,5	-	-
ТД-10000/110*	-	-	-
ТДН-10000/110	10,5	-	-
ТД-16000/110*	-	-	-
ТДН-16000/110	10,5	-	-
ТД-25000/110*	-	-	-
ТДН-25000/110	10,5	-	-
ТРДН-25000/110	10,5	20	30
ТРДНС-25000/110*	-	-	-
ТД-32000/110*	-	-	-
ТДН-40000/110	10,5	-	-
ТРДН-40000/110	10,5	20	30
ТРДНС-40000/110*	-	-	-
ТДН-63000/110	10,5	-	-
ТРДН-63000/110	10,5	20	30
ТРДНС-63000/110*	-	-	-
ТДН-80000/110	10,5	-	-
ТРДН-80000/110	10,5	20	30
ТРДЦН-125000/110	11,0	21	30
ТДН-16000/150	11,0	-	-
ТРДН-32000/150	10,5	19,5	30
ТРДН-63000/150	13	24	30

* Значения параметров трансформатора устанавливаются по результатам согласования с потребителем. Примечание - Значения напряжения короткого замыкания указаны на основном ответвлении обмоток.

Таблица 5 – Значения напряжений короткого замыкания для трехобмоточных силовых трансформаторов классом напряжения 110 кВ

Тип трансформатора	Напряжение короткого замыкания, %, для обмоток		
	ВН-СН	ВН-НН	СН-НН
ТМТН-6300/110	10,5	17,0	6,0
ТДТН-10000/110		17,5	6,5
ТДТНШ-10000/110			
ТДТН-16000/110			
ТДТНШ-16000/110			
ТДТН-25000/110			
ТДТНШ-25000/110			
ТДТН-40000/110			
ТДТНШ-40000/110			
ТДТН-63000/110		18,0	7,0
ТДТН-80000/110	11,0	18,5	7,0
ТДЦТН-80000/110			
ТДТН-16000/150	10,5	18,0	6,0
ТДТН-25000/150		6,5	
ТДТН-40000/150		18,5	7,0
ТДТН-63000/150		19,0	
Примечание - Значения напряжения короткого замыкания указаны на основном ответвлении обмоток.			

Все технические характеристики приведенные в таблицах 1 – 5 взяты из действующего на территории Российской Федерации стандарта ГОСТ Р 55016 – 2012 «Трансформаторы силовые масляные общего назначения классов напряжения 110 и 150 кВ. Технические условия.»

Для того чтобы перейти к методам контроля режимов силовых трансформаторов, стоит сперва определиться какие же возможные типы повреждений могут возникать в силовом трансформаторе в период его эксплуатации. Возможные виды повреждений представлены в таблице 6 с процентным соотношением.

Таблица 6 – Виды повреждений и процентное соотношение проявлений повреждений

Вид повреждения	Процентное соотношение, %
РПН/ПБВ	23%
Дефекты изоляции	21%
Деформация обмоток	19%
Контактная группа обмоток	15%
Увлажнение изоляции	8%
Старение масла	5%
Пробой изоляторов	3%
Прочее	6%

В таблице 7 указаны возможные первоначальные причины появления дефектов с их процентным соотношением.

Таблица 7 – Возможные первоначальные причины появления дефектов

Причины	Процентное соотношение, %
Ремонт/Персонал	32%
Эксплуатационный персонал	26%
Завод-изготовитель	19%
Старение элементов	11%
Ошибки при монтаже	3%
Халатность персонала	3%
Прочее	6%

Наиболее частые дефекты возникают в изоляции трансформатора, а так же в устройствах регулировки под нагрузкой (РПН) и устройствах переключения без возбуждения (ПБВ).

Ниже перечислим места возможных дефектов силового трансформатора и виды дефектов.

«Всевозможные дефекты обмоток трансформатора. Из-за дефектов в изоляции обмоток, в активной части трансформатора могут возникнуть короткие замыкания. И вследствие низкой динамической прочности трансформатора, возникают серьезные разрушения обмоток. Не стоит

исключать случаи плохой герметичности бака трансформатора. Из-за подобных дефектов в активную часть и в жидкий диэлектрик может проникать грязь, пыль, что приводит к снижению диэлектрических свойств изоляции как жидкой, так и твердой. Старение изоляции так же приводит к дефектам. Не стоит исключать, что дефекты в изоляции могут происходить на стадии построения трансформатора, на заводе-изготовителе. Однако завод-изготовитель всегда испытывает свою продукцию, поэтому зачастую все дефекты, которые были допущены при построении, обнаруживаются еще на заводе, а не у заказчика.» [8]

Дефекты в магнитостали. Если, во время работы, сердечник подвержен влиянию высоких температур, то в нем могут возникать короткозамкнутые контуры, которые могут привести к пожару в магнитостали.

Некорректная работа в системах охлаждения. Если силовой трансформатор, во время работы, выделяет слишком большое количество тепла, то можно сделать вывод, что охлаждающая система не справляется или работает некорректно. Охлаждающая система может быть повреждена, вследствие загрязнения трубопроводов охлаждающего устройства.

Некорректная работа системы распределения под нагрузкой. Во время эксплуатации могут происходить искрения между контактной группой переключателя. Данные искрения приводят к нагару на контактах, нагар не позволяет контактам правильно соприкоснуться и работать в должном режиме.

Дефекты при монтажных работах. Такие дефекты даже не исключены, зачастую халатность монтажников может привести к серьезным последствиям.

По данным, приведенным в таблице 7, можно сделать вывод, что большое количество повреждений происходит из-за допущения ошибок рабочим персоналом.

В период рабочего режима все трансформаторы подвержены контролю за состоянием. Во время работы снимаются рабочие характеристики

трансформатора, значения действующих значений напряжения, тока, мощности, нагрузки.

Во время рабочего режима силового трансформатора непрерывно фиксируются частичные разряды внутри бака трансформатора, ведется контроль температуры самой нагретой точки трансформатора, берутся пробы масла для хроматографического анализа.

На рисунке 5 представлены группы методов контроля силовых трансформаторов которые наиболее часто используются в эксплуатации.

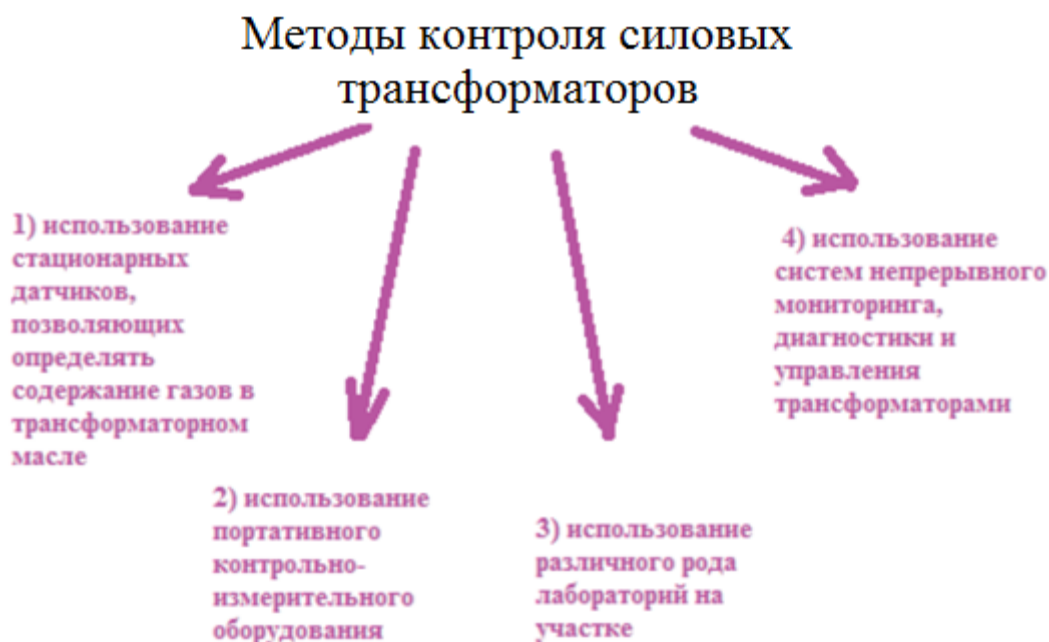


Рисунок 5 – Распределение методов мониторинга по группам

«В первую группу относятся методы, которые используют в своей работе датчики стационарного типа. Такие датчики устанавливаются на бак силового трансформатора и определяют уровень содержания газов в жидком диэлектрике. У датчиков различные исполнения, но суть работы одна. Датчики определяют количество водорода в составе масла. Данный тип

датчика не относится к высокоточному оборудованию, что является большим минусом. Так как в большинстве случаев для подробного анализа, необходимы лабораторные испытания. Стоит отметить, что данный метод имеет высокий спрос. Датчики относительно дешевы, легки в эксплуатации и все таки выполняют свою функцию.»[13]

Во вторую группу относятся методы, которые используют устройства портативного характера. То есть не устанавливаются стационарно на силовой трансформатор и не ведут непрерывный контроль. Однако у данного типа портативных средств измерений есть большие плюсы. Возможность провести анализ с гораздо большей точностью. Данный вид оборудования можно использовать на нескольких объектах, если для этого он предназначен. Данный вид оборудования возможно использовать в тех местах, где установка стационарного оборудования не возможна.

К третьей группе отнесены лабораторные методы анализов. Лабораторный анализ является самым лучшим анализом, так как данный метод является самым информативным и высокоточным. Лабораторные исследования позволяют выявить все примеси, которые содержатся в трансформаторном масле. К сожалению, данный метод является самым затратным вследствие того, что требует много средств и трудозатрат, а так же зачастую лаборатории находятся не так уж и близко к подстанциям

К четвертой группе отнесен метод непрерывного контроля. В этом методе используются высокоточные датчики, которые устанавливаются на бак силового трансформатора и снимают показания в реальном времени. Данный метод подразумевает не только контроль параметров но и диагностику состояния.

Системы непрерывного контроля относительно дороги в установке и эксплуатации. Несмотря на свою эффективность дорогостоящие системы не используют на подстанциях 110 кВ и ниже, а обходятся более дешевыми методами.

1.3 Существующая система контроля рабочего режима силовых трансформаторов и задачи ее совершенствования

«Трансформаторы силовые классом напряжения 110-330 кВ представляют собой наиболее распространенными электромагнитными машинами в эксплуатации. Широко применяются на подстанциях различных назначений и видов. Но, к сожалению, в связи с рядом причин, у силовых трансформаторов данного класса напряжения зачастую отсутствует система непрерывного контроля рабочего режима.» [25] Но к счастью для данных типов силовых трансформаторов существует стационарная система контроля – «TDM-M».

Для выполнения функции контроля рабочего режима система «TDM-M» несет в себе устройства фиксации значений, а так же применяет комплексный метод диагностирования и обработки данных. Главное преимущество данной системы состоит в том, что система считается простой и технически комплексной завершенной системой.

На рисунке 6 представлена система «TDM-M»



Рисунок 6 – Система «TDM-M»

Фиксация емкости и значения тангенса угла диэлектрических потерь при мониторинге состояния высоковольтных вводов с твердой или жидкой изоляцией.

Расчет оставшегося ресурса твердой изоляции методом снятия значения температуры в самой нагретой зоне.

Построение модели (тепловой) для расчета эффективности работы охладительной системы

«Основываясь на показаниях фиксирующих устройств вибрации, которые установлены на баке силового трансформатора, происходит определение состояния силового трансформатора в техническом плане.» [19]

Наличие в системе «TDM-M» дополнительного интеллектуального устройства позволяет следить за состоянием регулировки под нагрузкой. Это устройство под названием «LTC-MONITOR».

Для обеспечения контроля и диагностики рабочего режима силового трансформатора в системе «TDM-M» используется программное обеспечение «iNVA», которое взаимодействует с программным обеспечением ПК.

Все технические параметры системы «TDM-M». Можно увидеть в таблице 8

Таблица 8 – Технические параметры системы «TDM-M»

Наименование параметра	Значение параметра
Рабочее напряжение ВН трансформатора, кВ	110 и более
Количество контролируемых вводов	3
Диапазон токов проводимости вводов, мА	5÷30
Количество каналов измерения ЧР	4
Частотный диапазон измеряемых частичных разрядов, МГц	0,1÷20,0
Интерфейс связи с системой АСУ-ТП по RS-485	Витая пара
Диапазон рабочих температур системы, без подогрева, град	-40÷+60
Напряжение питания системы, В	АС/DC 120÷260
Потребляемая мощность, Вт	50

«Рассмотрим систему непрерывного контроля состояния трансформатора компании Siemens.

У системы есть два варианта исполнения. В первом варианте в шкафу управления находятся все контролирующие элементы, а также ПК для обработки данных. Шкаф устанавливается на бак силового трансформатора.

Во втором варианте на силовом трансформаторе монтируют только аппаратуру, которая фиксирует данные, все данные передаются на ПК, который находится в пультовом помещении.»[9]

ПК в системе служит не только для обработки получаемых данных, но и служит связующим элементом для внешних систем. При использовании системы с помощью второго варианта связь системы контроля и ПК проходит с помощью интерфейса «RS485». В этом случае применяется оптоволоконная связь.

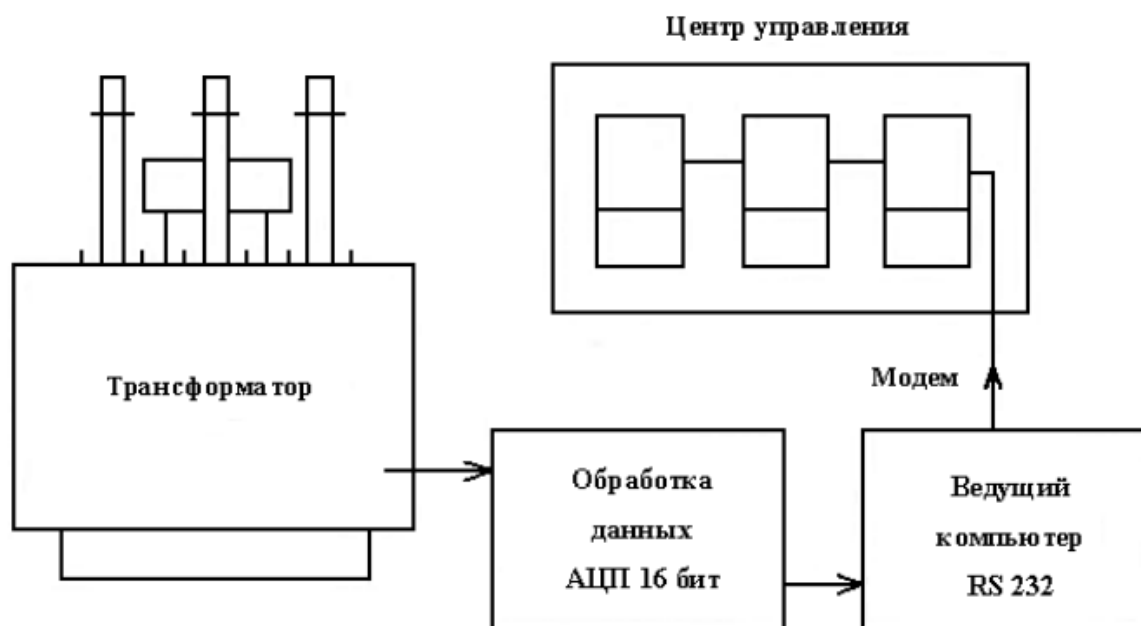


Рисунок 7 – Структура работы системы «Siemens»

Обработка данных на ПК выполняется с использованием всеми принятой операционной системы Windows в два шага. На первом

обрабатывается информация от датчиков, на втором полученная информация анализируется для принятия решения.

Программа сравнивает все полученные данные с установленными параметрами и определяет степень превышения полученных данных. Если система обнаруживает превышение или чрезмерное занижение того или иного показателя, то она выдает сигнал об ошибке или выдает сигнал тревоги. Далее система выдает отчет о несоответствии. [1]

Каждые 60 минут система автоматически сжимает данные. Структурная схема сжатия файла представлена на рисунке 8.

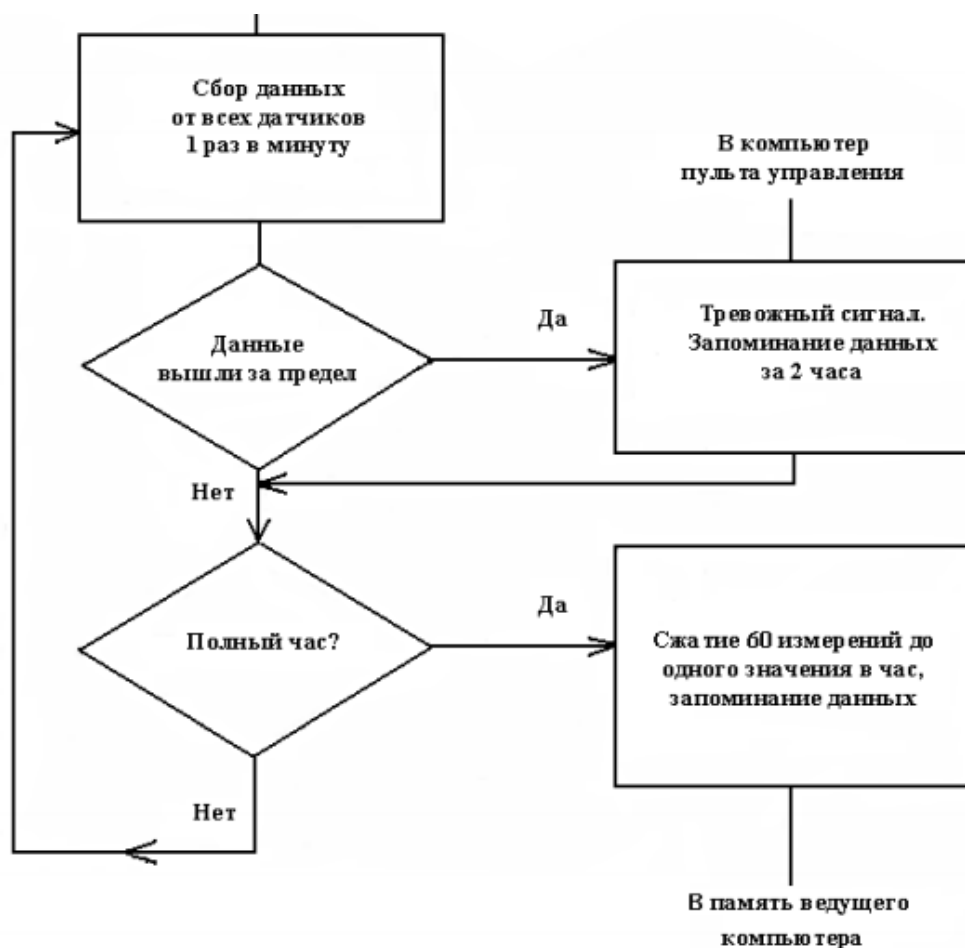


Рисунок 8 – Схема обработки и записи данных

Рассмотрим системы внедренные в эксплуатацию.

Иностранные производители систем контроля улучшая продукцию на протяжении 10-ти лет нарабатывали требования к системам контроля удовлетворяющие требования МЭК, а так же СИГРЭ. На данный момент максимально верным считается соблюдение рекомендаций предъявленные институтом IEEE - «IEEE Guide for Application of Monitoring to Liquid-Immersed Transformers and Components»

На рисунке 9 изображена структура системы контроля на примере зарубежной системы Alstom. «Сенсорные датчики и простые датчики относятся к основному набору элементов, которые вмещают главные узлы всего силового трансформатора, в один узел сбора с помощью кабелей соединены все датчики сбора данных. С помощью линий связи все передается на щит управления, где аппаратура принимает и преобразует, сигнала для центрального сервера.» [21]

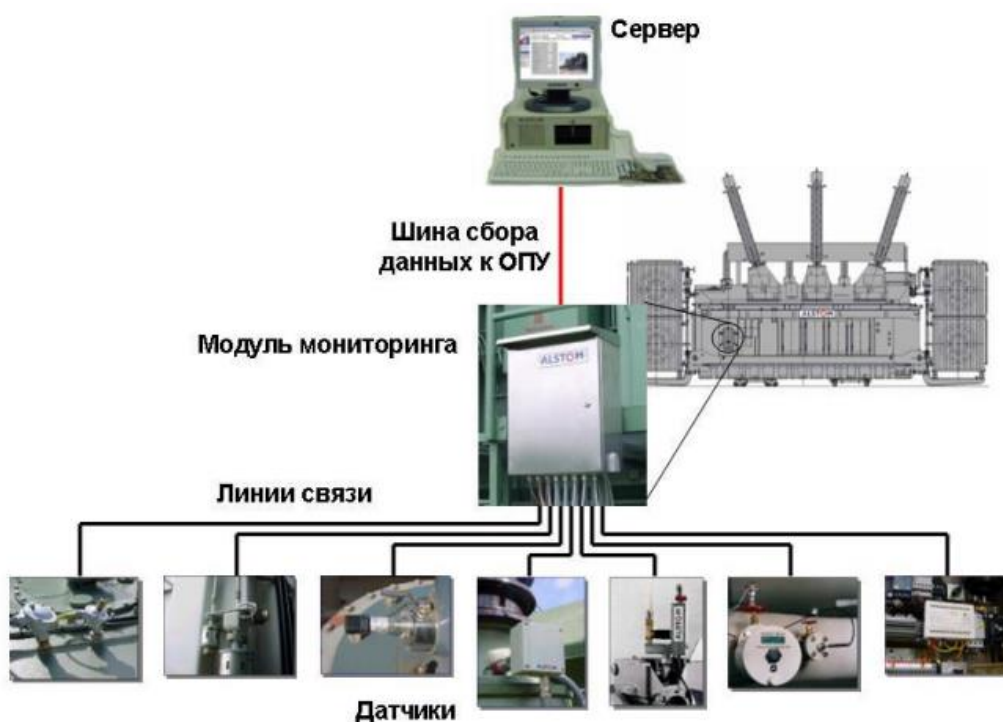


Рисунок 9 – Структура системы контроля

Система контроля силовых трансформаторов «*FARADAY™MEDIC*» наиболее полноценная и отлично развитая система для управления и мониторинга.

Данная система контроля может производить расширенную диагностику, к тому же возможно внедрение этой системы в уже имеющуюся автоматизированную систему управления подстанции. Данная система с легкостью может поддерживать связь с любым другим электронным устройством.

«Система «*FARADAY™MEDIC*» способна выполнять диагностику в онлайн режиме, что способствует быстрому обнаружению дефектов, которые могут привести к аварийным ситуациям.

Данная система способна обнаружить дефект до того как дефект приведет к последствиям из-за которых трансформатор придется выводить в техническое обслуживание.» [9]

Выводы по разделу

Был произведен анализ режимов работы силового трансформатора. Произведен анализ существующих методов контроля режимов силового трансформатора. Были изучены принципы работы систем и параметры, которые контролируются во время работы силового трансформатора. Изучена перспектива внедрения новых предложений для дополнения уже имеющихся систем контроля с помощью которых можно было решить такие проблемы как: уменьшение дороговизны внедрения систем контроля, повышение эффективности работы систем контроля

2. Разработка предложений по оснащению трансформатора дополнительными датчиками

2.1 Анализ существующих датчиков и оценка их эффективности

Рассмотрим подробнее параметры диагностики.

Параметры для диагностики контролируются системой согласно требованию «IEEE Guide for Application of Monitoring to Liquid-Immersed Transformers and Components».

Газосодержание в масле бака силового трансформатора, влагосодержание масла в баке силового трансформатора. Значения этих показателей возможно зафиксировать, если установлены предназначенные для этого датчики. Данные значения возможно фиксировать как отдельно так и в совокупности. Значения данных показателей очень важны во время эксплуатации трансформатора, так как завышенные значения могут послужить опасным фактором, который приведет к неисправности силового трансформатора. Обычно эти параметры замеряют с помощью анализа проб масла на хроматографе. Резкий скачек значений свидетельствует о том, что в результате разрядов внутри активной части трансформатора снизилась изоляция. Этот фактор и приведет к сильному повреждению трансформатора.

«Во время работы силового трансформатора существует такое понятие как рабочие параметры. В эти параметры входят Мощность (Вт), напряжение (U) и ток (I). Также эти параметры являются входными величинами для построения расчетной модели баланса мощности и теплового баланса.

Измерение $\text{tg}\delta$. При фиксации изменения $\text{tg}\delta$ можно сделать вывод, что существует дефект изоляции в вводах с высокой стороны силового трансформатора.» [10]

Перенапряжения, возникающие при коммутации. Фиксация данного процесса может дать характеристику изоляции при нагрузке. К тому же в

случае дефекта показатели данного процесса могут подтвердить возникновение дефекта.

Ток при коротком замыкании. Характеристику динамической нагрузки обмотки силового трансформатора может дать значение зафиксированное во время процесса при коротком замыкании.

Значение частичных разрядов. Частичные разряды значительно влияют на состояние твердой бумажной изоляции активной части силового трансформатора. Возрастание частичных разрядов приводит к снижению изоляции, что в свою очередь приведет к значительным повреждениям силового трансформатора.

Значение температуры масла. Чтобы контролировать эффективность охлаждающей системы производится замер температуры масла. Значение измерений температуры масла так же используется как входное значение для расчета наиболее нагретых зоны в активной части трансформатора, а также для расчета термического баланса.

Устройства регулировки под нагрузкой. Для отслеживания технического состояния переключателя фиксируют мощность привода и положение самого переключателя.

«Значения параметров состояния. Это параметры, которые говорят о состоянии активной части охлаждающей системы Силового трансформатора.

Функционал системы контроля охватывает:

- величины, измеряющиеся непосредственно,
- значения величин, характеризующих состояние,
- расчетную модель зоны, нагретой больше всего,
- расчетную модель термического баланса,
- сигнализацию при аварийных ситуациях;
- диагностику в онлайн режиме.

В добавок к перечисленным выше параметрам, целесообразно дополнить их перечень дополнительными контролируемыми величинами, которые позволят:

- с помощью оптоволокна производить непосредственную фиксацию температуры обмоток,
- передавать информация от датчиков в цифровом формате,
- контролировать состояние газового реле;
- контролировать давления во вводах;
- измерять вибрацию силового трансформатора и устройства регулировки напряжения под нагрузкой;
- контролировать уровня масла»[12].

Фиксированные на объекте системы для контроля и сбора данных силовых трансформаторов, находящегося в рабочем режиме для энерго-сетевых компаний как правило поставляются с новыми силовыми трансформаторами или присоединяются к силовому трансформатору во время процедур по модернизации защитных систем. На рисунке 10 представлена схема с подключениями.

«Система основана на результатах испытаний, проведенных с помощью автоматического режима, датчиками, которые установлены на силовом трансформаторе в период его рабочего режима, для определения текущего технического состояния трансформатора, дефектов и оставшегося срока службы.» [22]

«Группа устройств, применяемых в конкретной системе контроля рабочего режима силового трансформатора, также выбирается при ее создании (в период проектирования) и редко устанавливается при последующих операциях. Поэтому при создании системы контроля важно избегать двух крайностей: упрощения и чрезмерного усложнения.» [26]

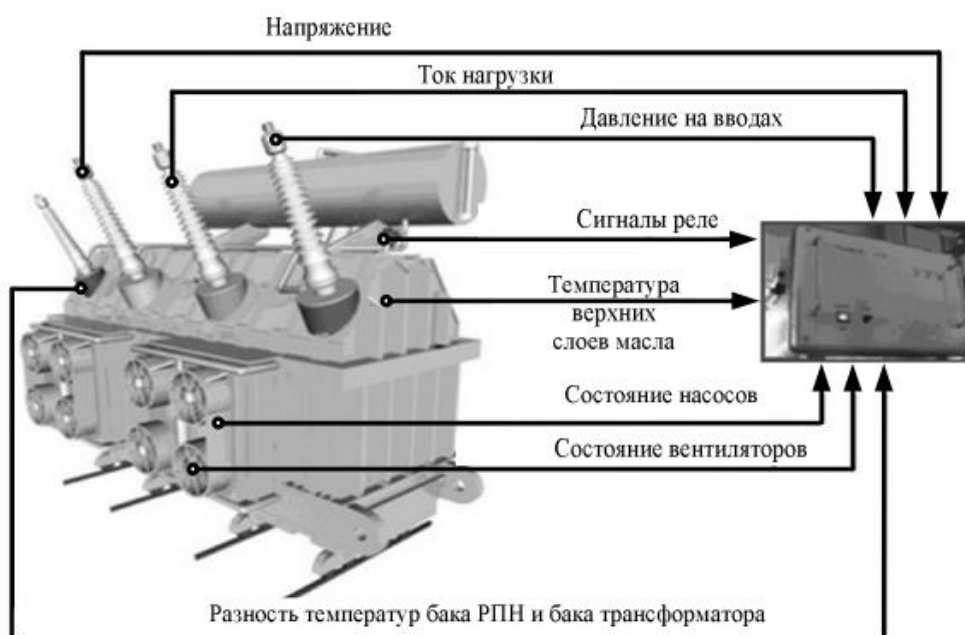


Рисунок 10 – Система контроля рабочего режима силового трансформатора

Все ключевое оборудование, входящее в состав системы контроля монтируется в защитном шкафу управления и на баке силового трансформатора.

«Число используемых датчиков может меняться, основываясь на параметры, которые контролируются системой контроля рабочего режима.

Ниже приведены примеры параметров:

- температура масла и окружающей среды,
- вибрация,
- напряжение и ток,
- состояние изоляции высоковольтного ввода;
- содержание газа и влаги в масле;
- масляное давление во вводах;
- уровень масла в силовом трансформаторе и расширителе регулировки под нагрузкой;
- мониторинг состояния переключающего устройства.» [18]

Далее представлен функционал устройств, задействованных в системах контроля рабочего режима силовых трансформаторов классом напряжение от 110 кВ и выше.

Устройство фиксации температуры жидкого диэлектрика залитого в бак трансформатора, может активировать сигнализацию в случае перегрева. Используется 3-проводный термометр резисторного типа «Pt-100». Он монтируется на трансформаторе в отсеке для термометра. Колебания значений сопротивления, в следствии изменения температуры, преобразуется в аналоговый сигнал через контактный вход. [30]

Устройство фиксации температуры жидкого диэлектрика в охлаждающей системе служит для повышения эффективности теплового режима трансформатора и контроля состояния электродвигателя в системе охлаждения. Входной информацией для регулирования теплового режима трансформатора являются значения температур на входных и выходных отсеках охлаждающего устройства. С помощью имеющихся в устройстве релейных приспособлений система контроля может автоматически включать или выключать охлаждающую систему трансформатора. [27]

Устройства фиксации температуры климатических условий. Применяется термометр работа которого основывается на изменении сопротивления «Pt-100» с трех проводным подключением. Он монтируется в нижней части шкафа управления. Датчик питается от слабого тока, протекающего через конвертор, а встроенный контактный вход выдает температурное значение в виде аналогового сигнала. Светодиод, отвечающий за световую сигнализацию при ошибках, указывает на неисправность датчика (например, несанкционированное отключение).

Устройство фиксации вибрации бака. Когда трансформатор закорочен, магнитные поля, генерируемые между обмотками в катушке, между обмотками в катушке и стенкой резервуара, вызывают вибрацию бака трансформатора, что контролируется системой измерения вибраций. Фиксация вибрации бака позволяет системе сохранять значения измерений,

чтобы оценить влияние вибрации на обжимку обмотки и влияние на саму обмотку. Прибор фиксации закреплен на стенке бака с помощью магнита.

Устройство фиксации напряжения представляет собой параллельно соединенные конденсаторы, количество которых не превышает трех единиц. Записи рабочего напряжения и тока КЗ используются в вычислительной модели, встроенной в систему, для определения оставшегося срока службы изоляции обмотки.

«Такая же информация отслеживается при снятии выходного сигнала системы автоматического регулирования числа витков под нагрузкой трансформатора. На основе представленной информации вызывается алгоритм для контроля параметра Z_K обмотки трансформатора под напряжением. Результаты измерений представленные в информационном потоке, наряду с проработкой изменений фазного тока и фазного напряжения, дает возможным правильно отслеживать переходные процессы, которые происходят в трансформаторе во время работы.» [20]

Устройство фиксации токовых значений. С помощью устройства фиксации токовых значений, система контроля может одновременно фиксировать ток трех входов с одинаковым напряжением и ток входов разного напряжения в одной фазе.

«Представленного информационного потока хватает для формирования векторного графика контролируемого силового трансформатора, для анализа и расчета фазового параметра Z_K . Это позволяет следить за изменением формы обмотки, которые могут произойти после прохождения тока короткого замыкания сквозь силовой трансформатор.

Устройство фиксации состояния изоляции высоковольтного ввода предназначен для осуществления одной из самой важной функции системы контроля состояния силового трансформатора.» [5]

Для каждого контролируемого входа ВН, СН, НН и нейтрали силового трансформатора монтируется устройство фиксации токовой проводимости, а так же частичных разрядов, сигнал на выходе, который несет в себе значение

токовой проводимости вводов и импульсов частичных разрядов. Ток проводимости и частичный разряд ввода фиксируются и отправляются в специальный модульный блок в системе контроля. В дополнении может быть установлено устройство фиксации коронного разряда. Регистрация частичных разрядов - сложная задача для системы контроля силовых трансформаторов. Это связано с сильным влиянием коронного разряда, который является параметром, близким к импульсу частичного разряда. По этой причине в модульном блоке обязано быть полностью осуществлены технико-алгоритмические возможности позволяющие следить за вышеизложенными параметрами.

В таблице 9 представлены параметры систем контроля отечественного и зарубежного производства.

Таблица 9 – Характеристики систем контроля отечественного и зарубежного производства

Параметр	Система контроля (Изготовитель)				
	«MS3000» (AREVA)	«ШУМТ» (ВЭИ, г. Москва)	«ТМД» (Вибро - Центр, г. Пермь)	«СКИТ» (СПбГПУ, г. Санкт- Петербург)	«Sterling Groop»
Температура верхних слоев масла	+	+	+	+	+
Работа системы охлаждения	+	+	+	+	+
Тангенс дельта	+	+	+	+	+
Концентрация газов в масле	+	+	+	+	+
Содержание влаги в изоляции	+	+	+	+	+
Состояние РПН	+	+	+	+	+
Токи и напряжение ВН, СН, НН	+	+	+	+	+
Давление в водах	+	-	-	-	-
Частичные разряды изоляции	+	-	-	+	+

Продолжение таблицы 9

Параметр	Система контроля (Изготовитель)				
	«MS3000» (AREVA)	«ШУМТ» (ВЭИ, г. Москва)	«ТМД» (Вибро - Центр, г. Пермь)	«СКИТ» (СПбГПУ, г. Санкт- Петербург)	«Sterling Groop»
Измерение температуры обмоток	+	-	-	-	-
Коэффициент нагрузки	+	-	-	-	-
Количество и скорость изменения количества газа в газовом реле	+	-	-	-	-
Вибрация бака РПН	+	-	-	-	-
Уровень масла в расширителе и РПН	+	-	-	-	-
Интеграция в АСУ ТП ПС	+	+	+	+	+

Значительная часть российских и зарубежных производителей разрабатывают системы с учетом того, что операторы имеют квалификацию профессиональных диагностов и принимают последующие решения на основе актуальной диагностической карте из системы. На основании полученных данных можно сделать некоторые выводы о состоянии используемого оборудования.

Фактически оказывается, что на операторов ложится дополнительная нагрузка по постоянному мониторингу текущих параметров контролируемого трансформатора. Это не имеет диагностической ценности, так как персонал не квалифицирован должным образом.

Рассмотрим первичные датчики для установки на силовой трансформатор.

Наиболее важным, ответственным и сложным вопросом является выбор оптимальных датчиков для установки на силовой трансформатор.

Данная задача возникает при установке системы контроля. Во время решении такой задачи необходимо руководствоваться некоторыми правилами, которые в свою очередь влияют на выбор датчиков.

«Большое внимание необходимо уделить тем датчикам, которые будут максимально точно фиксировать параметры благодаря которым будет контролироваться состояние главных системы трансформатора, в которых возможны самые критические повреждения трансформатора.

Зачастую системы контроля напичканы излишними датчиками, которые дублируют значения в то время, когда дублирование излишне. Например, фиксирование параметров работы релейной защиты и автоматики не понадобится, так как эти значения параметров и так фиксируются многоканальными самописцами, которые имеются на каждой подстанции. К тому же нет надобности в фиксации значений токов и напряжений по фазам. Эти значения не используются для построения расчетных моделей состояния силового трансформатора. Поэтому для исключения перенасыщения системы контроля необходимо отказаться от излишних датчиков. К тому же такое решение может удешевить стоимость системы.

Нет надобности в вспомогательных датчиках, которые не показывают техническое состояние силового трансформатора. В основном такие датчики запрашивают люди входящие в состав обслуживающего персонала. Такие датчики будут излишне нагружать систему контроля.» [2]

Разберем систему контроля вводов силовых трансформаторов на основе беспроводных интеллектуальных датчиков марки DB-2S

Для мониторинга высоковольтного ввода силового трансформатора используется довольно сложная и дорогая система наблюдения. Установить такую систему - непростая задача, особенно с трансформаторами, которые уже используются. На рисунке 11 представлен вид датчика. На рисунках 12 и 13 приведены предохранители использующиеся при монтаже датчика и представлены разновидности исполнений датчика.



Рисунок 11 – Датчик ВД – 2S беспроводного типа



Рисунок 12 – Предохранители использующиеся при монтаже датчика



Рисунок 13 – Исполнение датчика

«Технические характеристики устройства контроля DB-2S. Устройство контроля DB-2S предназначен для контроля технического условия работы высоковольтных вводов всех типов и классов рабочего напряжения.

Главной конструктивной особенностью устройства DB-2S является его полностью беспроводная передача данных. Встроенная электронная начинка устройства питается от тока контролируемого входа, и датчик отправляет выходную информацию о своем техническом состоянии через беспроводной интерфейс.

Преимущества устройства фиксации «DB-2S».

Конструкция компактна, а так же защищена. Устройство может быстро установить и начать с ним работу, настроив его на используемую систему контроля.

Датчик работает в удаленном режиме без подключения дополнительных проводов.

Датчик фиксирует важные показатели состояния ввода: проводимый ток для расчета емкости, температурный показатель

С помощью использования интерфейса «LoRa ONE» удаленно информацию с систему «АСУ-ТП».

Обеспечивает безопасность информации в следствии двоичного шифрования фиксируемых данных.» [23]

Применяемые датчики в «ПАО РОССЕТЬ» представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Датчики BD-2 сертифицированные в РФ

ПИН	Фирма	Марка вводов
UHF 2,25”	ABB, TRENCH	ОТА, СОТ, ЕТА, ГОЕ
M16x1,5	ABB, TRENCH	ОТА, СОТ, ЕТА, ЕТГ
TP 3\4”	ABB	BRIT, RTXF, RTKF
M24x1,5	HSP	SETFL, ETFL, STARIP
M30x1,5	HSP, MGC	ЕКТО, TRAVESCA
D56	Масса	ГБМТ, ГМТ, ГТТ, ГМР

Технически параметры датчика приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Технически параметры

Ток проводимости вводов, мА	5÷70
Погрешность измерения тока, %	0,5
Рабочее напряжение вводов, кВ	До 700
Диапазон рабочих температур, град	-40÷+80
Размеры датчика (L*D), мм	70*60
Вес датчика, не более, кг	0,5

Разберем модульный блок фиксации аварий во время рабочего режима силового трансформатора «FAULT RECORDER (M2)».

Модульный блок «Регистратор неисправностей» системы «TDM» используется для фиксации аварийного и предаварийного режима трансформатора, находящегося под контролем, в реальном времени. В периоде фиксации такого режима в память записываются диаграмма изменения напряжения и тока трансформатора, находящегося под контролем, и правильная очередность работы системы релейной защиты и автоматики. Причины срабатывания модуля для начала регистрации следующие:

- чрезмерный ток, потребляемый трансформатором сверх установленного значения,
- увеличение или уменьшение напряжения обмотки силового трансформатора по сравнению с допустимым рабочим диапазоном напряжения,
- измененное состояние любой системы релейной защиты силового трансформатора,
- начало работы одного из трех электрических приборов, взаимодействующих с силовым трансформатором.

Период записи каждой аварии, хранящийся в памяти модульного устройства, не зависящего от подачи энергии, представляет собой временной отрезок, в котором случилась авария. Два временного отрезка - до

возникновения аварии и два временного отрезка после завершения аварии. Все это считается если авария происходит во время рабочего режима силового трансформатора.

В Таблице 12 перечислены основные технические и рабочие параметры модуля регистратора неисправностей.

Таблица 12 – Технические рабочие параметры устройства регистратора неисправностей

№	Контролируемые параметры	Каналов	Диапазон входных значений	Источник сигнала
1	Напряжения трех фаз стороны ВН трансформатора	3	$(0,5 \div 1,5)U_N$	Датчики DB-2 модуля МЗ, ТН
2	Напряжение трех фаз стороны СН/НН трансформатора	3	$(0,5 \div 1,5)U_N$	Датчики DB-2 модуля МЗ, ТН
3	Токи трех фаз стороны ВН трансформатора	3	$(1,0 \div 10,0)I_N$	Датчик IFCT-5 модуля МЗ, Датчики IFCT-5
4	Токи трех фаз стороны СН/НН трансформатора	3	$(1,0 \div 10,0)I_N$	Датчики IFCT-5
5	Выходные сигналы систем РЗА трансформатора	12	24÷220 В	Контакты РЗА
6	Сигналы синхронизации	3	24÷220 В	-

Аналоговый сигнал, зарегистрированный модульным блоком, поступает с внутренней шины модульного блока («Монитор проходных изоляторов» - напряжение ВН / СН и ток нагрузки ВН только через шину от модульного блока состояния входа МЗ).

Цепь аналогового входа модульного блока защищена от напряжений превышающих норму. Вся логическая сигнатура, отражающая функционирование релейной защиты и автоматики силового

трансформатора, имеет электрически изолированную внешнюю входную цепь от внутренней цепи модуля при напряжении 2500 В.

В дополнение в таблице 13 представлены технические параметры модульного устройства.

Таблица 13 – Технические характеристики

Параметр	Характеристики
Максимальное непрерывное время записи одного аварийного эпизода	До 5 минут
Общее время всех аварийных эпизодов, хранимых в памяти модуля	До 2 часов
Временное разрешение всех регистрируемых аналоговых и логических сигналов	0,001 секунд

Данные, собираемые модульным блоком фиксации в аварийном режиме системы «ТДМ», используется в следующих целях:

- Анализ переходного процесса силового трансформатора, оценка влияний токов КЗ, протекающих сквозь силовой трансформатор, на исправность технического состояния силового трансформатора;

- Влияние повышения напряжения на оставшийся срок службы главного изоляционного слоя силового трансформатора;

- Запуск алгоритмов для отслеживания изменений формы катушки силового трансформатора после прохождения тока короткого замыкания через обмотки.

Рассмотрим диагностическую систему контроля регулировки под нагрузкой «LTC- Monitor».

В таблице 14 представлены основные технические характеристики модульного устройства.

Таблица 14 – Основные технические характеристики модульного устройства контроля регулировки под нагрузкой

Габаритные размеры модуля	(222×170×82) мм
Средняя наработка на отказ модуля	Не менее 10000 часов
Срок службы модуля	Не менее 10 лет
Номинальное переменное значение фазы двигателя РПН	220В
Диапазон тока фазы двигателя РПН	(0,5-5) А
Продолжение таблицы 8.	
Диапазон измерения вибрации	(0,03-15) g
Полоса частот измерения вибрации	(5-1000) Гц
Напряжение питания датчика вибрации	(15-30) В
Приведенная погрешность при измерении вибрации	5 %
Габаритные размеры модуля	(222×170×82) мм
Диапазон измерения температуры блока РПН	От – 55 до + 150 °С

Характеристика поведения модульного устройства. При включении модульного устройства загораются два зеленых светодиода Power и Status, после модульный блок запускает тестирование собственной системы. Затем модульный блок загружает все настройки и последние сохраненные измерения из памяти. Затем модуль сверяет дату крайнего измерения из хранилища данных и, если сохраненная дата не совпадает с датой по сравнению с реальным временем, выдается сообщение ошибки, Во время фиксации ошибки зеленый световой сигнал начинает быстро мигать. Далее происходит присвоение измерениям даты текущего времени. Затем устройство работает в нормальном режиме.

Во время рабочего режима модульное устройство «LTC- Monitor» постоянно фиксирует параметры, представленные ниже [16]:

- положение распределяющего устройства в данный момент времени согласно данных, принятых от датчика положения,
- два тепловых параметра,
- начало цикла переключения регулировки под нагрузкой.

В период перехода контактов устройства регулировки под нагрузкой устройство фиксации начинает запись данных по следующему каналу: ток, напряжение, вибрация. Фиксация завершится после завершения цикла переходов контактов (временной показатель перемещения контактов должен укладываться в 20 секунд). Кроме того, сигнал мощности активной может быть получен путем умножения в соответствии с принятым сигналом тока / напряжения. В итоге проработки данных выявляются значения, которые записываются в энергонезависимой памяти устройства: время и дата перехода контактов устройства распределения под нагрузкой, действующий ток нагрузки, действующий сигнал напряжения, действующий сигнал тока среднеквадратического значения, сигнал среднеквадратичного виброускорения.

Пример графического расчета коэффициента отношения показан на рисунке 14.

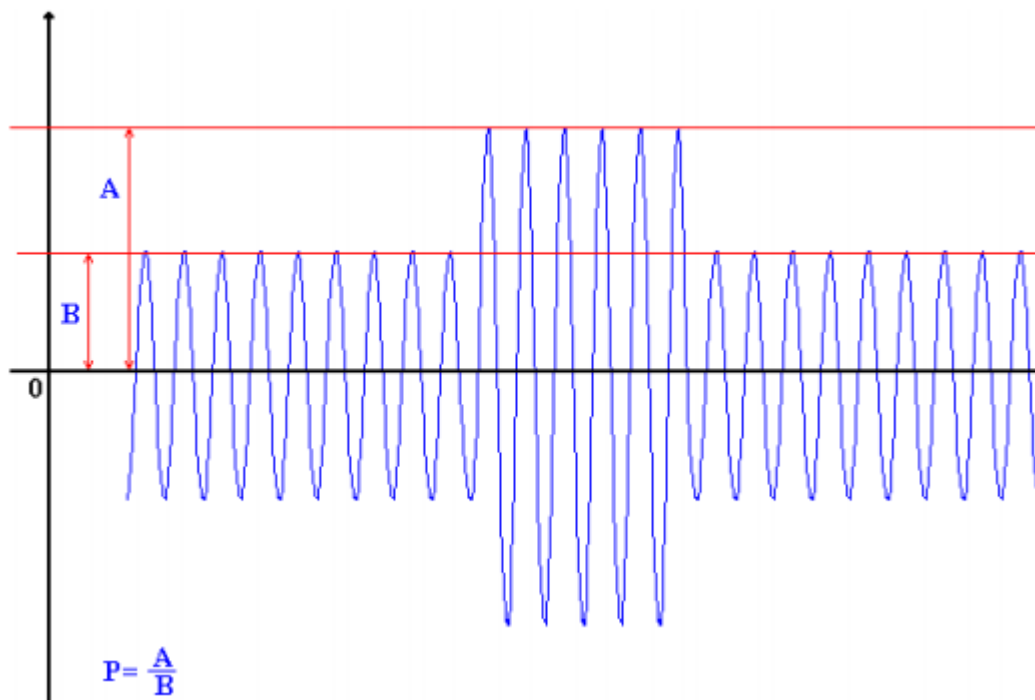


Рисунок 14 – Графический пример расчета

С помощью коэффициента отношения можно охарактеризовать как отклонились сигналы в период перехода контактов от своего нормативного значения. При этой же процедуре фиксируются данные которые контролируются в реальном времени.

Рассмотрим подробно структуру «АСМД» при основе использования устройства «TDM-Oil» разработки «ДИМРУС».

Устройство TDM-Oil располагает в себе 4 устройства фиксации внутри резервуара:

- устройство фиксации влажности масла в баке трансформатора (фиксации изоляционных характеристик масла);
- устройство фиксации частичных разрядов в диапазоне сверхвысоких частот (это самая информативная и не мешающая методика их фиксации);
- устройство фиксации температуры в баке силового трансформатора (оценка эффективности работы охлаждающей системы);
- устройство фиксации вибрации бака силового трансформатора. С помощью этого устройства фиксируется конструктивное состояние силового трансформатора и показатель качества опрессовки обмотки.

Преимуществами системы «ASMD» являются:

- требование минимальных объемов входной информации для проведения проработки состояния силового трансформатора,
- низкая стоимость средств контроля рабочего режима силового трансформатора,
- легкость сборки и разборки.

Основным недостатком системы на основе «TDM-Oil» следует считать затруднительность монтажа на старые трансформаторы из-за неподходящего фланца фиксации.

Устройства фиксации влаги в жидком диэлектрике силового трансформатора.

Для расширения возможностей системы «АСМД» на базе устройств «ТДМ-М» к баку силового трансформатора могут быть присоединены

дополнительные измерительные приборы такие как «ГИДРОМЕР» для фиксации содержания воды в жидком трансформаторном диэлектрике. Устройство «ГИДРОМЕР» измеряет содержание воды в жидком диэлектрике и в дополнение фиксирует примеси водорода и СО, растворенных в масле.

К преимуществам «АСМД» в составе «ТДМ-М + ГИДРОМЕР» относится возможность наиболее точно анализировать состояние силового трансформатора, благодаря обширному первичному объему данных.

Ее основные недостатки состоят в том, что:

– установка системы увеличивает стоимость устанавливаемых средств измерений,

– фиксация устройства на старые трансформаторы затруднительна из-за неподходящего фланца фиксации.

2.2 Обоснование предложений по применению дополнительных датчиков, основанных на косвенных методах контроля рабочего режима силового трансформатора

Бесспорно, современные системы контроля рабочего режима силового трансформатора представляют из себя новейшие технологии совместно с системами операционного обеспечения для снятия характеристик в реальном времени. Но не стоит забывать, что все технологии имеют как и достоинства так и недостатки, не смотря что современное оборудование имеет массу достоинств все таки есть и свои минусы. Как например сложность установки, восприимчивость высокоточного оборудования к внешним воздействиям: вибрация, погодные условия, электромагнитные поля. Так же к недостаткам можно отнести одну не маловажную деталь.

В современных системах контроля в основном используются приборы, оборудование и операционные коды придуманные и изготовленные зарубежными производителями.

Все, что изготавливается зарубежными производителями как правило дорого обходится по цене. Обслуживание так же не дешевое. В добавок к сказанному зачастую, чтобы обслужить или починить систему контроля требуются специалисты, квалифицированные на зарубежное оборудование, которых в Российской Федерации и так не много, а то и вовсе нет. Поэтому приходится прибегать к помощи специалистов из зарубежных стран, изготовителя системы. Это все тоже приводит к значительным затратам.

Вот и получается, что все сводится к окупаемости систем контроля, чтобы был персонал способный обслужить, починить, модернизировать систему контроля. Чтобы сложная система контроля не устанавливалась за колоссальные деньги и не простаивала из-за нехватки средств и не была как говорится «дорогой игрушкой» для показа на публику.

В этом и состоит главная задача магистерской работы, в этой работе представлены прототипы датчиков, которые можно установить в систему контроля, способы передачи данных без потерь точности.

Должное внимание стоит уделить подстанциям классом напряжения 110 кВ. Подстанции рассчитанные на данный класс напряжения наиболее широко распространены на территории Российской Федерации. Новые подстанции классом напряжения 110 кВ уже делаются с применением нового оборудования, средств контроля. Но и в этом случае на средствах контроля могут экономить, чтобы системы не стали «дорогой игрушкой» из-за отсутствия квалифицированного персонала для обслуживания. Потому что чаще всего используют зарубежные установки. Зачастую случается так, что подстанции классом напряжения 110 кВ находятся в устаревшем состоянии, трансформаторы уже изжили свой срок службы, но продолжают работать, да и системы контроля не развиты. Почему так происходит? Потому что подстанции питают не столь важные объекты. Тратится на покупку новых силовых подстанций? Так нет экономической выгоды. Оборудовать силовые трансформаторы оборудованием контроля? Для такого действия бывает не хватает средств. Суть всей диссертации состоит в том, чтобы найти

экономные решения систем контроля режимов силовых трансформаторов, чтобы обеспечить любой трансформатор датчиками контроля и системами контроля, которые смогут эффективно функционировать. Так же стоит отметить, что все предложения будут на основе отечественного производителя. То есть и обслуживание систем не будет таким дорогим так как можно будет легко обучить персонал, не прибегая к помощи западных коллег.

2.3 Разработка системы дистанционного считывания информации с датчиков

Разрабатываемая система будет базироваться на принципах работы уже существующих систем контроля режимов силового трансформатора. Отличия будут в способе передачи данных от датчиков в центры управления и посты диспетчерского контроля, а так же будут предложены дополнительные датчики контроля. В данном разделе будет идти речь о способах передачи данных без потери точности. Датчики будут предложены в третьем разделе магистерской диссертации.

Аналоговые сигналы. В существующих реалиях для снятия характеристик используются аналоговые приборы. Аналоговые сигналы передаются в посты управления, где преобразовываются в цифровой сигнал. Основные недостатки аналоговой ситемы:

- потеря точности сигнала,
- проблема хранения сигнала,
- информация на носителе подвержена размагничиванию,
- устаревшая форма сигнала.

Преобразование аналогового сигнала также приводит к потере точности информации, добавления дополнительных погрешностей преобразования. [29]

Недостатки, изложенные выше, можно устранить с помощью использования цифрового сигнала. Но системы контроля в данный период технического развития не могут перевести полностью на цифровые приборы. Аналоговый сигнал можно преобразовать для передачи информации по оптоволокну.

Блок схема предлагаемой системы преобразования данных и их передачи с использованием преобразовательной техники и оптоволоконного кабеля представлена на рисунке 15.

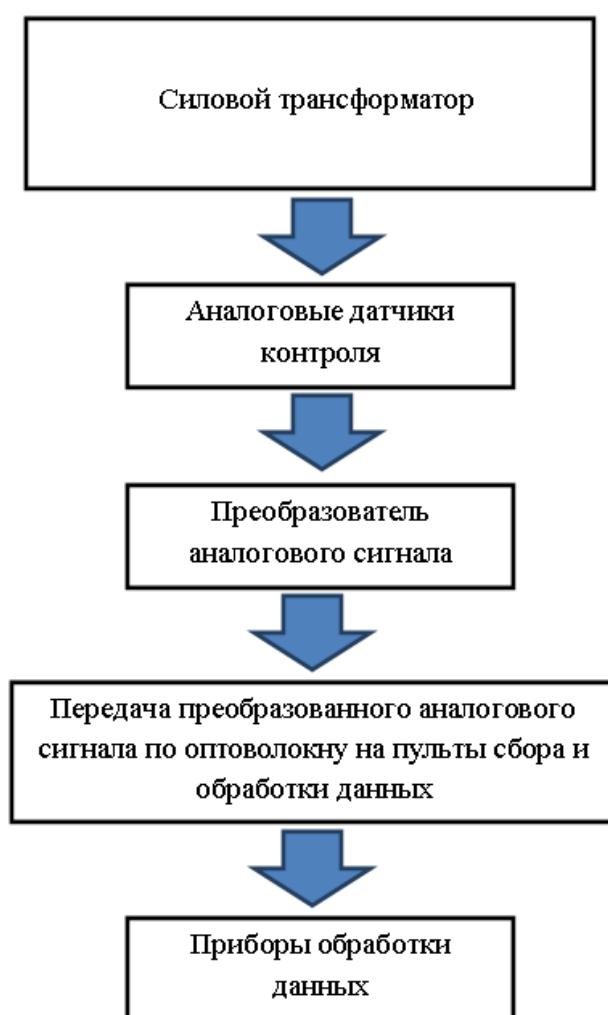


Рисунок 15 – Блок схема предлагаемой системы

В предлагаемой системе планируется использование оптоволоконного кабеля. Причина проста – это его характеристики. Информация об оптоволоконных кабелях представлена ниже.

Волоконно-оптические кабели - это самый современный и эффективный способ передачи информации. Функция кабеля состоит в трансляции импульсов света, которые несут некоторую информацию. В результате оптоволоконные кабели используются только для передачи полезных данных и ни в коем случае не используются для питания. Этот кабель содержит тонкие прозрачные стекловолокна в изоляции. Такой тип волокна позволяет обеспечить транспортировку светового излучения на далекое расстояние. Следовательно, один кабель может содержать несколько волоконно-оптических нитей.

Волоконно-оптические кабели имеют большое разнообразие в плане конструкций, типу характеристик, диапазону использования и другим условиям. Волоконно-оптические кабели неизбежно включают в свою конструкцию следующие элементы:

- нить оптического волокна,
- световой узел,
- центральные силовые элементы,
- оболочку, выполняющую наружную защиту.

Нить оптического волокна или стекловолокна из стекла оксида кремния высокого качества. Скручен по специальной схеме и представляется в виде сердцевины в оболочке. При непрерывном и полном отражении свет распространяется по нему. В этом случае у сердцевины самый высокий показатель светопреломления, у оболочки - самый низкий показатель светопреломления;

Световой узел это выполненная из полимера или металла центральная труба содержащая в себе нити стекловолокна.

Центральные силовые элементы, выполненные из стеклопластика, стальных канатов, проволоки или жилы присутствуют в марке многомодульного магистрального кабеля;

Конструкции оптического волокна могут включать:

- армирование армированной или арамидной нитью, гофрированной сталью или проволочной броней,
- амортизаторы демпфирующего назначения,
- наполнители, такие как гидрофобные гели и непроницаемые нити,
- металлический проводник.

К тому же существуют марки подвесных оптических кабелей.

Разновидности ОВК и способы монтажа представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Способы монтажа различных марок провода

Способ монтажа	Марка ОВК
Прокладка кабеля в земле	ОГД, (ОГДН), ОГЦ(ОГЦН), ДПС, ОКГМ, ОКТК, САС, ОМЗКГЦ, ОКБ
Прокладка кабеля в канализации, трубах или коллекторах	Небронированные – ОКМТ, ОКГ, ОККЕБ, ОК, ОТД, ОТМ Бронированные – ДПП, ОКСТМ, ОКЦ, ОКЛ, ОКСТЦ, ДБП
Прокладка под водой	ДА2, ОГД, ТО2, ОГМ
По воздуху	Самонесущие – ОКСНМ, ОКСНЦ, ОКА, ОКСД, ДТП, ОКЛЖ, ОКМС Оболочечные – ОК/Т, ОПД, ДПОМ, ОКПМ, ОКПЦ, ОКТс
Внутри помещений (распределительные)	FTTH, ОБВ, ОМВ, ИКВА-П, ОКТЦ, ОКТМ, ДБН.ОКВ-М

Полевая марка оптоволокна «ОК-PN» предназначена для создания линии передачи информации в полях. Поскольку он может находиться под землей, под водой или подвешен, он предназначен для многоразовой прокладки и удаления, не горюч и устойчив к упругости, влаге, бензину и дизельному топливу и грызунам. Полевые кабели обычно содержат от 1 до 12 волокон.

Подводные оптические кабели «SPS, OA2, DAS» несущие, обладают высокой прочностью на разрыв и растяжением, не пропускают влагу. Уровень молекул и дисперсии низкий, а длина участка регенерации довольно велика.

Объектное (фиксированное) оптоволокно используется для передачи потоков информации внутри системы. Например, автомобильные системы для кораблей и самолетов, видеотелефония в офисах, кабельное телевидение в зданиях и так далее. В составе соединительного кабеля отсутствует гидрофобный наполнитель, что упрощает монтаж и повышает пожаробезопасность. Примеры брендов: «ИКВ-Т2, ИКВА-П, ОТТ».

Оптоволоконный кабели для монтажных работ («ОК-МС» с разными номерами конструкции) в виде плоской ленты или жгутов. Используется устройствами в локальной информационной системе для создания внутриблочных и межблочных соединений. Такие изделия созданы на основе многомодовых градиентных волокон.

Достоинствами ОВК являются:

- высокая пропускная способность,
- сравнительно низкая цена,
- малые габариты,
- малые искажения сигнала при передаче,
- долговечность.

Показатель пропускающей способности, а также высокая скорость передачи – это основные положительные качества данного провода, очень большое количество информации может передаться по дешевому и легкому проводу.

Низкая стоимость обусловлена отсутствием дорогостоящих материалов, а также благодаря тому, что на рынке множество производителей и цена кабеля не такая уж и высокая. К тому же цена погонного метра оптоволокна может оказаться значительно меньше чем у медных проводников таких же размеров.

Маленькие габариты обусловлены тем, что волокна тонкие, они занимают меньшую площадь сечения, что позволяет выполнять задачи в ограниченных пространствах.

Высокие показатели пропускной способности **также определяются тем**, что нити гораздо тоньше медных проводников, их можно объединить в большие «косы» с множеством волокон, а диаметр не будет превышать больших размеров. Поэтому данный тип провода и получает свой высокий показатель пропускной способности.

Сигнал проходит без потери точности – потеря точности гораздо меньше чем у медных проводников.

Оптический кабель не подвержен быстрому старению. Цикл может составлять до ста лет.

Недостатками ОВК являются низкие показатели мощности и твердости. Низкий показатель мощности обусловлен тем, что источники света ограничены мощностью. Увеличение мощности увеличивает стоимость

Низкий показатель твердости приводит к тому, что сильный перегиб провода влечет разрушения волокон, так как волокна тонкие.

Выводы по разделу

Во втором разделе диссертации был выполнен анализ датчиков, которые используются в современных системах контроля. Были выявлены плюсы и минусы датчиков, их возможности. По итогу оказалось, что не все датчики могут быть установлены на любой трансформатор. Нет универсальности. И если заводить речь о цене золотой середины «цена-качество» то таких приборов мало.

Изложено обоснование для чего и зачем разрабатываются предложения в данной диссертации. Был предложен концепт предлагаемой системы контроля.

3. Разработка алгоритмов анализа сигналов датчиков

3.1 Разработка структурной схемы интеллектуальной системы контроля рабочего режима силового трансформатора

Программная составляющая системы контроля рабочего режима.

Первым делом стоит отметить, что системе необходим центр управления, которым может выступить небольшой сервер, рассчитанный на терабайт данных. Все считанные данные приходят по оптоволокну в модуль, который прорабатывает данные. Все данные сравниваются с установленными значениями, которые могут быть заданы в ручную оператором или с удаленного сервера. Все данные снятые с датчиков фиксируются системой и резервируются до обработки и после. По завершению цикла система выдает результаты о состоянии силового трансформатора опираясь на полученные данные. Все данные сохраняются во внутренней памяти, а результаты отправляются на пульт управления непосредственно на диспетчерскую. Стоит отметить, что система подразумевает передачу данных на удаленные сервера, что позволит сохранять больше информации, а так же следить за состоянием удаленно. Резервированные данные тоже отправляются на удаленный сервер, но по истечении какого-либо срока, установленного самим оператором или регламентирующими документами. Пример небольшого сервера, который может использоваться в системе приведен на Рисунке 16.



Рисунок 16 – Сервер для использования в системе

Системные характеристики сервера приведены в таблице 16.

Таблица 16 – Технические и системные характеристики сервера

Модель	NP-NAS8	
Форм-фактор	ITX-NAS8 черный мини-ITX корпус корпуса сервера для хранения компьютера	
Material	Металлический материал	SGCC лист
	Используемое оборудование металлического листа	1,0 мм
Безопасность	Сетчатая Передняя металлическая дверь с замком	
Замыкающего и размыкающегося поддержка	Мини ITX (17 см X 17 см)	
Поддержка процессоров	Высота кулера процессора (макс.) 43 мм Длина видеокарты (макс.) 190 мм	
Размер	Д * Ш * В (мм)	259*203*337
	Д * Ш * В (дюйм)	10,2*8*13,25

Продолжение таблицы 16

Поддержка питания	1U/Flex 1U источник питания (максимальная длина 19 см)	
Передняя панель	Кнопка включения/выключения	Включение/выключение питания x 1, сброс системы x 1
	Индикатор	Включение/выключение питания x 1, HDD x 1, сеть x 3, сигнализация x 1
	Порты	USB 2,0x1, USB3.0 x 1
Расширение	Riser Слот	1 шт. (полный размер)
Горячая замена платы	S-ATA/SAS объединительная плата (до 12 Гбит/с)	
Система охлаждения (опционально)	Сзади	80x80x25 мм с функцией PWM 4 pin 2 шт
Вес нетто	5,4 кг	
Вес брутто	6,8 кг	
Размер упаковки	Д * Ш * В (мм)	410*290*345
	Д * Ш * В (ВКЛ)	16*11,5*13,5
Температура окружающей среды	0/55 °C, 32/131 °F (работает)-20/60 °C,-4/140 °F (не работает)	
Относительная влажность	5%-95%, без конденсации	
Сопротивление вибрации (5-500 Гц)	1 ГРМ (работает), 2 г (не работает)	
Шок	10 г (с 11 мс длительностью, половинной синусоидальной волной) (работает), 30 г (не работает)	

Алгоритмы работы системы.

В модуль сбора данных по каналам приходит вся информация, которая считывается с датчиков, установленных на силовом трансформаторе. Все сигналы приходят в модуль сбора данных, после которого информация прорабатывается и выдаются результаты по состоянию того или иного

параметра. Все параметры сравниваются с константами, которые задаются отдельно.

Проверка работоспособности системы по каналам.

Периодически система проводит самодиагностику. Это необходимо, чтобы выявить недочеты, ошибки или неработающие компоненты системы.

Сannel(n) – канал по которому передается информация от датчика к модулю сбора данных.

Схема проверки работоспособности канала связи датчик-модуль представлена на рисунке17.



Рисунок 17 – Блок схема работы системы во время самодиагностики

После самодиагностики выдается результат «Channel(N): ON; Normal» или «Channel(N): OFF; ERROR».

Результат «ON» сигнализирует, что датчик, который расположен на канале, работает исправно.

Результат «Normal» сигнализирует, что сигнал от датчика до модуля обработки дошел не поврежденным, что в свою очередь дает знать о состоянии оптоволоконного кабеля. Результат «OFF» сигнализирует, о сбое в работе датчика, который расположен на данном канале. Датчик либо не работает, либо работает не корректно. Результат «ERROR» сигнализирует, о некорректном сигнале либо сигнал вовсе не дошел до модуля. Это говорит нам об ошибке в работе датчика или о повреждении оптоволоконного кабеля.

Для проведение диагностики по алгоритму представленному на рисунке 17 предусмотрена команда «system check». Пример работы программы во время самодиагностики представлен на рисунке 18.

```
>Cannel(1): system check.  
    >> Channel(1): ON; Normal.  
>Cannel(2): system check.  
    >> Channel(2): OFF; Normal.  
>Cannel(3): system check.  
    >> Channel(3): OFF; ERROR.
```

Рисунок 18 – Пример работы программы во время самодиагностики

Выше приведен лишь небольшой пример как работает программа. По результатам можно увидеть, что первый канал функционирует нормально, на втором канале проблемы с датчиком, а третий канал и вовсе не работает так как показывает полную ошибку.

Резервирование данных так же проходит по каналам. Каждому каналу задаются свои особенные условия, которые будут выполняться только на этом канале. Например, канал 1 отвечает за показатели тока на фазе А. Информация приходит на датчик с трансформатора тока, установленного в

баке силового трансформатора. Задается константа «a1». Это константа остается неизменной. Далее резервируется ячейка памяти «a1'» в которую записывается значение тока полученное с датчика. Далее через модуль сбора данных информация передается в процессор в котором проводится обработка данных. Значение умножается на коэффициент трансформации $K_{тр(ТТ)}$ трансформатора тока, чтобы узнать какой первичный ток проходит по фазе А, затем переводится в действующее значение. Полученный результат резервируется в ячейку памяти «a1''». Перерасчет происходит по формуле 7 приведенной ниже

$$a_1'' = a_1' \cdot K_{тр(ТТ)} \cdot 1,1 \quad (5)$$

где: a_1'' – задаваемая константа;

a_1' – резервируемая ячейка памяти;

$K_{тр(ТТ)}$ – коэффициент трансформации;

1,11 – константа для преобразование в среднее значение.

Пример работы программы приведен ниже на рисунке 19.

```

> a1' := fixing channel(1);
      >> a1'' := a1' · Kтр(ТТ) · 1,1;
> a1'' compare a1;
      >> if a1'' < a1;
      >> OK, save the result;
      >> else;
      >> Error. Attention, save the result;

```

Рисунок 19 – Пример работы программы при пересчете и сравнении данных

Функция «fixing» фиксирует значение с канала. Функция «compare» сравнивает полученное значение с константой. Результат «OK» сигнализирует, что неравенство выполняется, значение не превышает критического показания.

Результат «Error. Attention» сигнализирует, что неравенство не выполняется. Полученное значение превышает константу.

По логике представленной выше прорабатываются все каналы. Разница лишь в том, что для каждого канала будет выполняться своя отдельная функция и сравниваться с константой для одного данного канала. Для каждого канала будет введен и зафиксирован в ячейке памяти свой расчет. Для вызова расчета предусмотрена функция «funct(n)», где n – это номер канала. Например, в «funct(1)» будет записана формула 7, Следовательно, для каждого канала своя функция. Пример работы представлен ниже.

```

>Channel(1); a1=const(1).
> a1':=fixing channel(1);
>reserve(a1').
>funct(1)a1; reserve(a1").
> a1" compare a1;
    >> if a1"< a1;
    >> OK, save the result;
    >> else;
    >>Error. Attention, save the result;
>Channel(2); a1=const(2).
> a2':=fixing channel(2);
>reserve(a2').
>funct(2)a2; reserve(a2").
> a2" compare a2;
    >> if a2"< a2;
    >> OK, save the result;
    >> else;
    >>Error. Attention, save the result;
>Channel(3); a1=const(3).
> a3':=fixing channel(3);
>reserve(a3').
>funct(3)a3; reserve(a3").
> a3" compare a3;
    >> if a3"< a3;
    >> OK, save the result;
    >> else;
    >>Error. Attention, save the result;

```

Рисунок 20 – Пример работы программы с трехканальным вводом данных

На рисунке 20 приведен пример работы программы с трехканальным вводом данных. На рисунке 21 представлены выводимые алгоритмом результаты.

```
>System diagnostics.  
  >> Channel(1): ON; Normal.  
  >> Channel(2): ON; Normal.  
  >> Channel(3): ON; Normal.  
>Processing of input data.  
  >> Channel(1): The data meets the requirements.  
  >> Channel(2): Error, exceeding the data reading.  
  >> Channel(3): Attention the data differs by 10%.  
>save data.  
>send it to a remote server.
```

Рисунок 21 – Результаты выполнения алгоритма

Сообщение «Channel(1): The data meets the requirements» обозначает, что обработанные данные, поступившие с датчиков, не превышают установленных значений. В противном случае было бы выведено сообщение «Error, exceeding the data reading» как показано на примере 2 канала. Если значение отличается от установленных всего лишь на 10% выводится предупреждающее сообщение «Attention the data differs by 10%» как показано на примере 3 канала.

Сообщение «save data» обозначает, что данные сохранены.

Сообщение «send it to a remote server» дает знать, что результаты переданы на удаленный сервер для хранения.

Структурная схема работы трехканальной системы контроля представлена на рисунке 22.

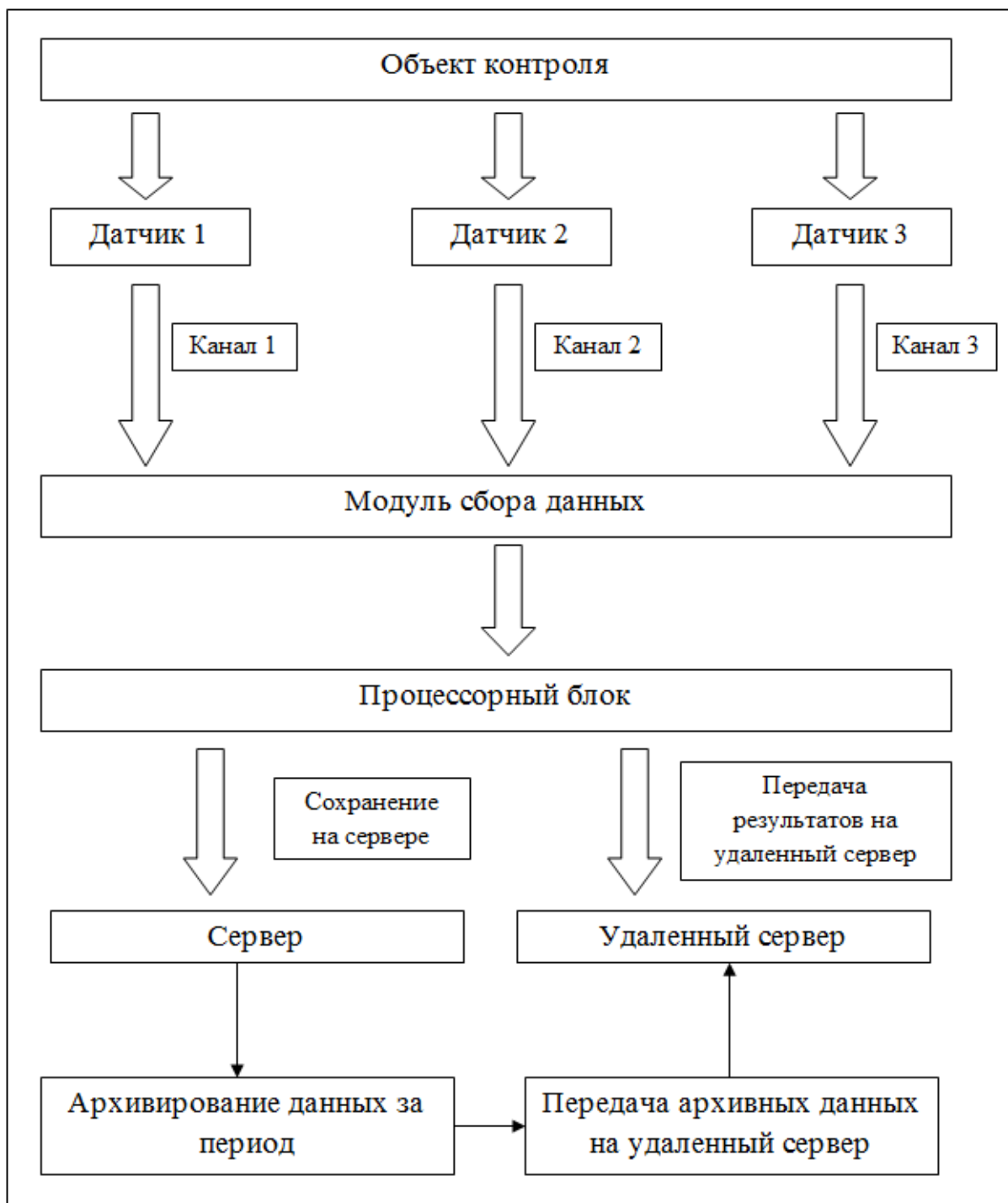


Рисунок 22 – Структурная схема работы трехканальной системы контроля

Экономический расчет внедрения системы контроля рабочего режима силового трансформатора

Согласно информации от Международного совета по большим электрическим системам, сокращенно «СIGRE» используя системы контроля

возможно предотвратить большинство случаев отказа всего электрооборудования. Предотвращение отказов представляет собой вывод электрооборудования из работы в период когда истощен ресурс оборудования. Вывод из эксплуатации позволит сделать более дешевый ремонт нежели, когда оборудование превысит порог своего рабочего ресурса и откажет с последствиями для работы всей системы, Заблаговременное вмешательство позволит избежать больших незапланированных затрат.

Согласно информации степень определения дефектов может составить 85% если контролировать такие дефекты как растворенные в трансформаторном масле газы; повышенное влагосодержание, что влечет за собой ускоренное старение изоляции; не правильная работа системы охлаждения; перегрев трансформатора. Процент может повысится до 90% из-за внедрения систем контроля давления внутри бака, которое может появиться вследствие разложения жидкого диэлектрика и появления газа. Контролируя механический и электрический ресурс РПН можно обнаружить до 80% дефектов. При контроле режима охлаждающей системы показатель определения степени дефектов может возрасти до 95%

Рассмотрев 200 единиц силовых трансформаторов классом напряжения 110 Кв процент отказа составил $f=1,18\%$. В таблице 17 приведены значения вероятности отключения элемента в процентах более 1 дня, и вероятность степени обнаружения дефекта до отключения.

Таблица 17 – Вероятности отключения элемента и вероятность степени обнаружения дефекта до отключения в процентах

Объект	Процент отказов работы, %	Степень обнаружения повреждения, %
Активная часть трансформатора	35	80
РПН	40	85
Ввод	14	95
Доп. устройства	5	98

Согласно формуле 8 и данным из таблицы 16 можно рассчитать показатель $P_{\text{отк}}$, который характеризует общую вероятность фиксации отказов, которые могут произойти

$$P_{\text{отк}} = f \cdot \sum_n (r_n \cdot d_n) \quad (6)$$

где f – это процент отказов;

r_n – процент отказов работы;

d_n – обнаружение отказов;

$$P_{\text{отк}} = 1,18 \cdot (0,35 \cdot 0,8) + 1,18 \cdot (0,4 + 0,85) + 1,18 \cdot (0,14 \cdot 0,95) + \\ + 1,18 \cdot (0,05 \cdot 1) = 0,91\%$$

Рассчитав формулу 8 можно заметить на сколько сокращает число отказов внедрение системы контроля рабочего режима силового трансформатора. Показатель снизился с 1,18% до 0,90%. По формуле 9 можно вычислить ежегодную экономию используя за расчетные данные затраты на ремонт силового трансформатора взятые из внешних источников.

$$S = P_{\text{отк}} \cdot E_{\text{отк}} \quad (7)$$

где $E_{\text{отк}}$ – это затраты на ремонт в случае отказов;

$P_{\text{отк}}$ – показатель отказов.

$$S = 0,85\% \cdot 0,5 \cdot C_{\text{НТ}}/\text{год} = 0,42\% \cdot 1500000 = 63000000 \text{ руб/год}$$

При ожидаемом сроке службы системы контроля 10 лет экономия может составить 63000000 рублей за 10 лет эксплуатации, что в свою очередь может составить до 5,6% от общей стоимости силового трансформатора. Приведенные выше расчеты не учитывают ущерб в экономии в следствие

ремонта. Что в свою очередь может говорить, что конечная сумма может меняться

Для технического обслуживания системы контроля рабочего режима силового трансформатора могут допускаться лица которые знакомы с системой АСУ, которые прошли обучение по использованию и техническому обслуживанию «СНК, ПТЭ и ПТБ» с 3 группой электробезопасности и выше

Система контроля рабочего режима силового трансформатора должна соответствовать требованиям изложенными в стандартах ГОСТ 12.2.007.0-75 и ГОСТ 25861-83.

Согласно ПУЭ и ГОСТ 12.1.030-81 все электрические элементы системы, которые находятся под напряжением, имеют защитное заземление.

Обслуживание элементов системы происходит согласно регламентам на обслуживание «ПТЭ и ПТБ» все работы происходят при снятом напряжении и при подсоединенном защитном заземлении.

3.2 Разработка предложений по реализации интеллектуальной системы контроля рабочего режима силового трансформатора

Для упрощения технологии изготовления, удобства обработки сигналов и передачи их по помехозащищенному оптическому каналу принято решение привести выходные сигналы датчиков к единой дискретной форме. Это значит, что сигналы, поступающие для дальнейшей обработки, должны иметь цифровую форму, например, «1» - норма, «0» - отклонение от нормы. Данный подход также упростит процесс обработки сигналов датчиков, облегчит работу в ручном режиме.

Основу такого технического решения составляет компараторная схема, выдающая соответствующие сигналы при нахождении электрического аналогового сигнала в соответствующем коридоре. Она представлена на рисунке 23.

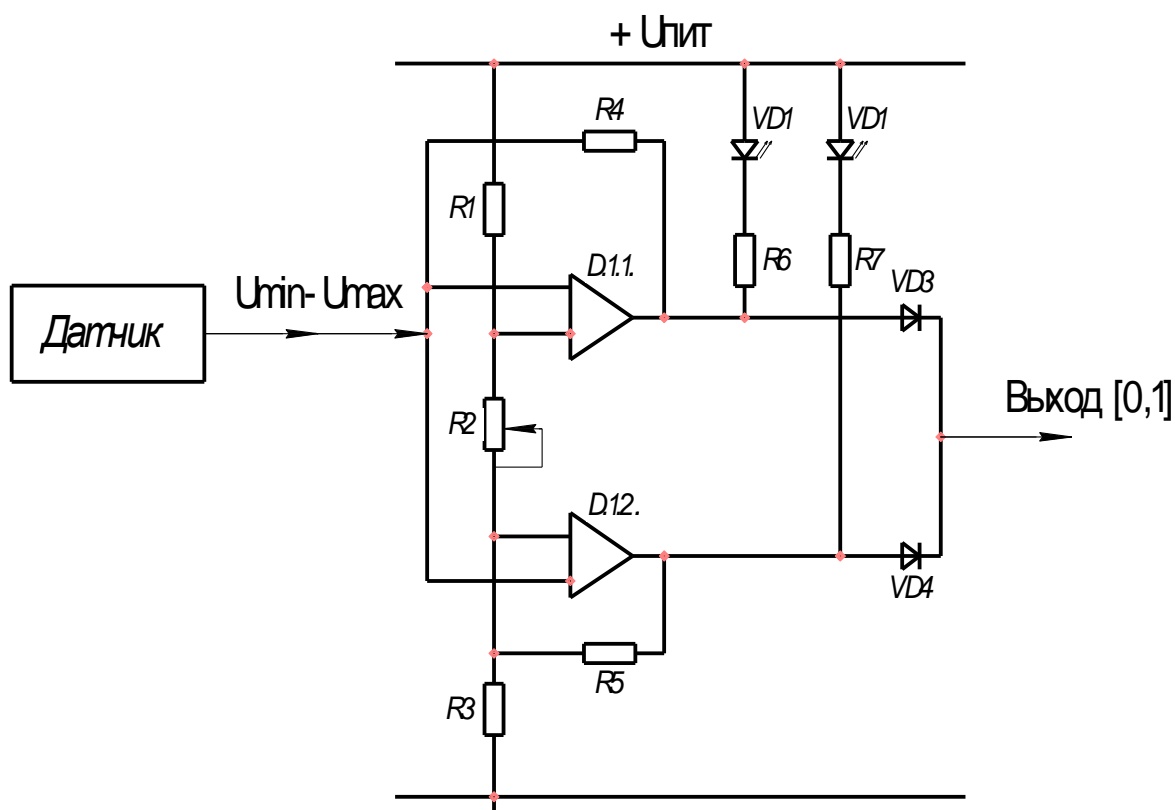


Рисунок 23 – Схема преобразования аналоговых сигналов в цифровые

Аналоговый сигнал, например, напряжение на терморезисторе, подается на прямой и инвертирующий входы компараторов D1.1 и D1.2, в качестве которых может использоваться любая микросхема подобного назначения с нагрузочной способностью выхода, позволяющей питать светодиод (5-10 мА). Идеально подходит LM339, содержащая в одном корпусе 4 компаратора.

Вторая пара входов подключена к делителю напряжения R1- R2- R3. При этом резистор R2 обеспечивает небольшую разность потенциалов, что нужно для создания области входных сигналов, в которой оба компаратора выдают логические нули. В случае выхода сигнала за пределы этой области на выходе одного из компараторов формируется логическая единица – высокий уровень, который через диоды VD3, VD4 подается для дальнейшей обработки или может активизировать соответствующее сигнальное устройство. Светодиоды VD1 и VD2 предназначены для визуального

контроля. Резисторы R4 и R5 имеют большое сопротивление и обеспечивают практически не оказывающую на точность измерений положительную обратную связь с входом для исключения так называемого «электронного дребезга» - неконтролируемого переключения выхода компаратора при близких значениях входных сигналов.

Таким образом, описанная схема обеспечит подачу сигнала отклонения от нормы по сигналу любого аналогового датчика.

Если трансформатор не оснащен системой обработки сигналов датчиков, что вполне возможно по различным причинам, например, из-за высокой стоимости, можно использовать простое сигнальное устройство, которое подаст сигнал аварии при срабатывании любого датчика, а определение нужного параметра легко выполнить по светодиодам. Схема его приведена на рисунке 24.

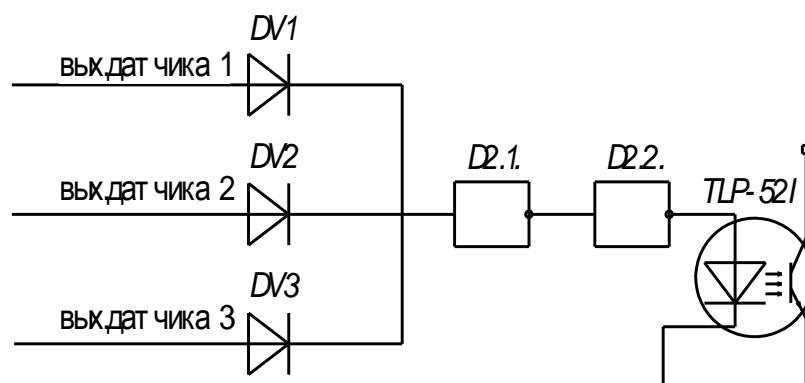


Рисунок 24 – Схема простого сигнального устройства

Цифровые сигналы датчиков, изображенных схематично на рисунке 18, после объединения диодами направляются на пару последовательно включенных инверторов для нормализации формы и далее на транзисторную оптопару TLP-521, управляющую реле. Могут быть использованы и другие оптроны, например, оптосимистор МОС-3063, способный включать цепь переменного тока напряжением до 800 В.

Термодатчик. Температура в различных точках трансформатора не превышает 75°C . Для ее измерения (или фиксации порогового значения) могут быть использованы датчики, работающие на различных физических принципах.

Самым простым термодатчиком, позволяющим регистрировать превышение заданного порога, можно считать биметаллическую конструкцию, принцип работы которой поясняется рисунке 25.

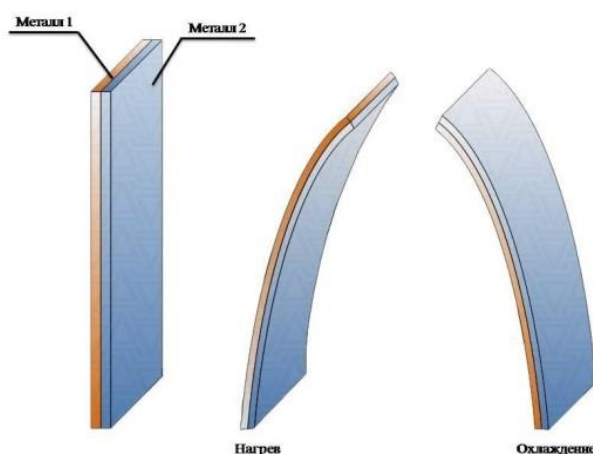


Рисунок 25 – Биметаллическая пластина

Она представляет собой две пластины из разных металлов или сплавов, например, из стали и латуни, спаянные между собой. При нагреве или охлаждении такая комбинация изгибается и может быть использована для замыкания или размыкания контактов. Датчик на ее основе прост в эксплуатации и дешев. Можно подобрать вариант для нужной температуры. Также выпускаются и термостаты с возможностью установки заданного порога срабатывания.

Основным недостатком данного вида термодатчиков является низкая надежность, обусловленная обгоранием механических контактов.

Другим типов простых термодатчиков, использующих эффект изменения размеров жидкого или твердого тела при изменении температуры являются следующие конструкции с твердым и жидким рабочим телом.

Электромеханические датчики температуры.

Всем знаком ртутный термометр для измерения температуры тела. По этому принципу можно построить и датчик с электрическим выходом, используя, например, электропроводность ртути для замыкания контактов. Однако в настоящее время устройства с ртутью вышли из употребления из-за высокой токсичности этого металла и большого количества альтернативных вариантов.

Вместе с тем использование эффекта линейного или объемного расширения тел при нагреве находит применение в электротехнике благодаря своей простоте и энергонезависимости. На рисунке 26 показано внутреннее строение твердотельного электромеханического терморегулятора, используемого для поддержания заданной температуры жидких и газообразных сред.

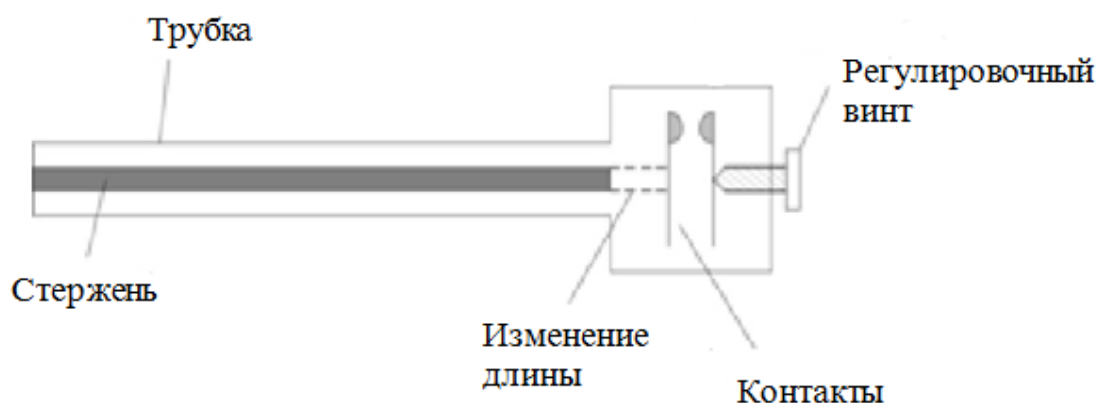


Рисунок 26 – Твердотельный механический терморегулятор

Принцип работы устройства заключается в разном температурном расширении материалов трубки и размещенного внутри нее стержня. В результате при определенной температуре замыкаются или размыкаются контакты, управляющие нагревом или охлаждением. В составе устройства имеется регулятор температуры. В его основе – винт, смещающий фиксированный контакт.

Тот же принцип действия у жидкостного терморегулятора, применяемого, в частности, в стиральных машинах. Его устройство поясняется рисунком 27.

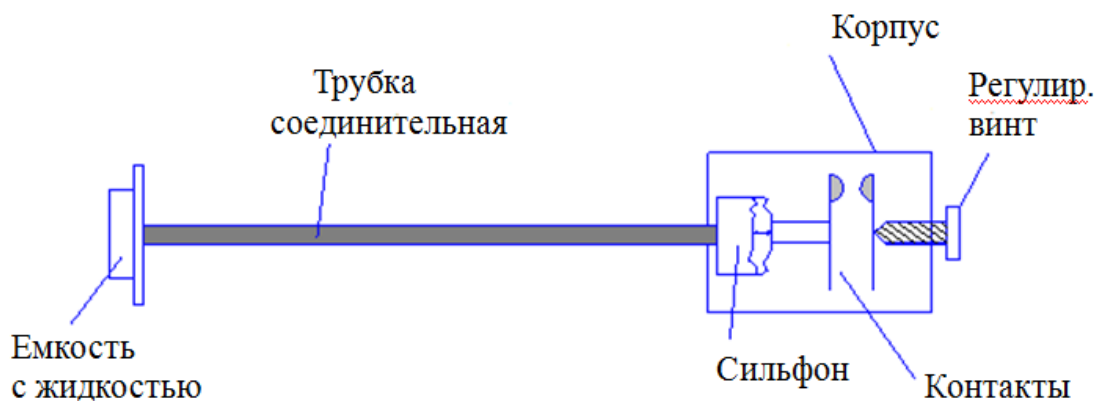


Рисунок 27 – Жидкостный терморегулятор

Измерительная часть жидкостного терморегулятора в виде небольшой емкости с жидкостью устанавливается на корпусе бака, а регулятор вынесен на панель управления. Обе части соединены тонкой металлической трубкой.

Работает терморегулятор следующим образом. Нагретая жидкость расширяется и из измерительной части поступает в сильфон – гофрированную камеру регулятора. Сильфон расширяется и изменяет состояние контактной группы, отключая нагреватель или включая охладитель. Нагрев прекращается, жидкость постепенно сжимается, и контакты снова замыкаются. Ручкой установки температуры регулируется положение фиксированного контакта.

Термопреобразователи сопротивления. При изменении температуры сопротивление проводников и полупроводников изменяется. На этом свойстве основан принцип работы металлических и полупроводниковых терморезисторов, внешний вид которых иллюстрируется рисунком 28.



Рисунок 28 – Внешний вид металлического термосопротивления

У металлов при нагреве сопротивление увеличивается. Лучше всего для изготовления термодатчиков подходит платина. Она имеет выраженную температурную зависимость – при нагреве от 20 до 100 °С сопротивление меняется примерно на 40 %, чего вполне достаточно для обеспечения требуемой чувствительности. Как благородный металл, платина не окисляется и, следовательно, не меняет своих характеристик со временем. Современные методы получения химически чистой платины позволяют изготавливать датчики с хорошей повторяемостью параметров.

Платиновые термосопротивления нормируются при температуре 20 °С и выпускаются на разные сопротивления, чаще всего на 100 Ом. Обозначение ТСП-100 расшифровывается как термосопротивление платиновое, сопротивление при 20 °С – 100 Ом.

Для простых задач, вроде поддержания нужной температуры воды в системе отопления, используют термосопротивления на основе меди и никеля. Они обозначаются ТСМ и ТСН. По устройству ничем не отличаются от платиновых.

Термопары.

Доступными, удобными и компактными термодатчиками по праву считаются термопары. Они входят в комплектацию многих мультиметров и других измерительных приборов. С их принципом работы вы познакомились при изучении способов выработки электроэнергии.

Эффект Зеебека проявляется в том, что если два разнородных проводника спаять на концах, то при разной температуре спаев возникнет электрический ток. Подходящими парами являются медь – константан, серебро – платина и некоторые другие. Также можно сделать разрыв в проводнике и измерить термо-ЭДС. Она невелика – несколько милливольт при разности температур 100 °С. Эта зависимость хорошо изучена и легко может быть измерена с помощью соответствующих электронных схем. Выпускаются специализированные микросхемы для совместного использования с термопарами, например AD594.

Полупроводниковые термосопротивления.

Некоторые полупроводниковые соединения имеют выраженную температурную зависимость сопротивления. Различают терморезисторы с отрицательным (*NTC*) и положительным (*PTC*) температурными коэффициентами, сопротивление которых при нагреве соответственно снижается и увеличивается. Их характеристики приведены на рисунке 29.

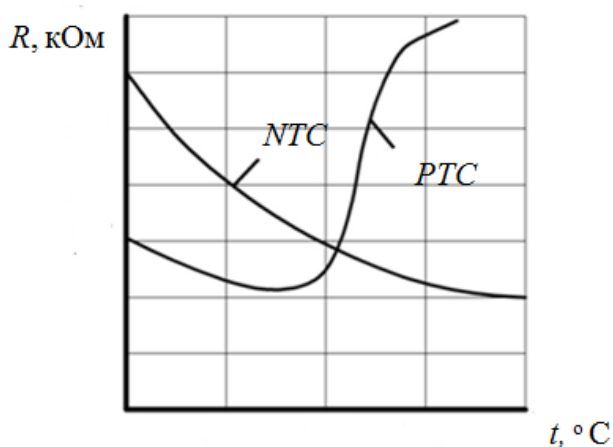


Рисунок 29 – Характеристики терморезисторов

Как видно из рисунка, для измерения температуры лучше подходят терморезисторы с отрицательным коэффициентом сопротивления. Устройства с положительным температурным коэффициентом – так

называемые позисторы – резко увеличивают сопротивление при достижении некоторой пороговой температуры. Их применяют в качестве устройств защиты маломощных потребителей электроэнергии. В случае перегрузки, например, электродвигателя, резистор нагревается и ограничивает ток в цепи.

Из вышеприведенного анализа следует, что термистор (терморезистор с отрицательным температурным коэффициентом) является оптимальным для решения наших задач. Схема его включения приведена на рисунке 30.

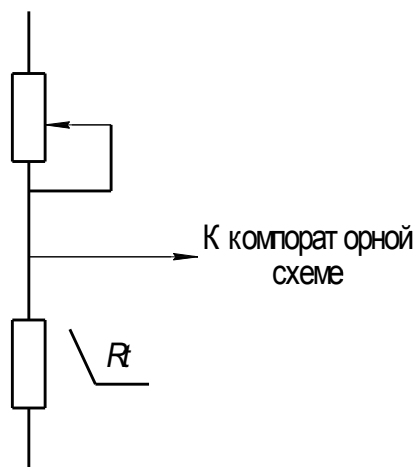


Рисунок 30 – Схема термодатчика с термистором

Термистор R_t совместно с регулировочным потенциометром образуют делитель напряжения, с которого снимается сигнал для компараторной схемы. Указанные элементы могут быть поменяны местами. При этом изменится условие включения индикаторных светодиодов, если есть потребность различать, в какую сторону имеет место отклонение температуры.

Датчик вибрации.

Каталог компактных датчиков вибрации с выходом 4-20 мА или цифровыми интерфейсами RS 485 Modbus RTU для контроля состояния подшипников, электродвигателей, вентиляторов и других механизмов или элементов системы.

Сначала проанализируем то, что есть. Небольшой список подходящих датчиков и их технические характеристики представлены в таблице 18.

Таблица 18 – технические характеристики датчиков вибрации

Тип; Стандарт	Изображение	Диапазон измерений	Выходной сигнал	Диапазон температуры (эксплуатация)	Питание; Разъем
VTV122 ISO 10816		0...25 мм/с; 10...1000 Гц.	4...20 мА	-30...+125 °С.	9,6...32 V DC; M12 4 pin
VTV121 ISO 10816		0...50 мм/с; 10...1000 Гц.	4...20 мА	-30...+125 °С	9,6...32 V DC; M12 4 pin
VTV12A* ISO 10816		0...25 мм/с; 10...1000 Гц	4...20 мА	-20...+60 °С	9,6...32 V DC; M12 4 pin
<p>Примечание*</p> <p>VTV12A* – данный тип датчика имеет сертификат на взрывозащиту: АTEX, II 3D Ex tc IIC T110°C Dc X; II 3G Ex nA IIC T4 Gc X.</p>					

Выводы:

- Измеряют вибрации, параметры которой не соответствуют параметрам вибрации трансформатора;
- Имеют много ненужных нам функций и поэтому дорого стоят;
- Их выходные сигналы рассчитаны на измерительные преобразователи, а нам нужна более простая вещь и дешевая.

Принимаем решение сделать самостоятельно.

Основа датчика – пьезоэлемент. Наиболее распространенные и поэтому дешевые электронные элементы такого рода имеют вид, показанный на рисунке 31.

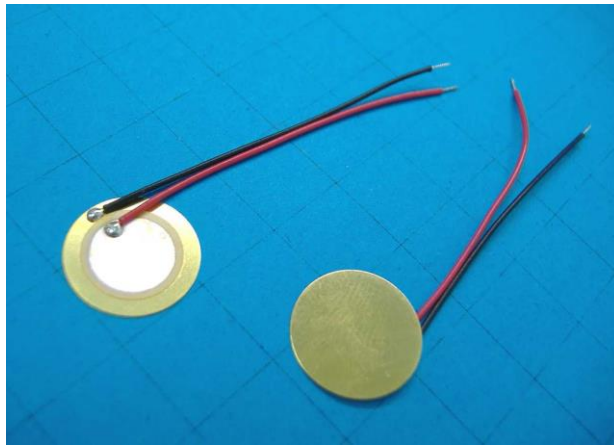


Рисунок 31 – Внешний вид пьезоэлемента

Сигнал от пьезоэлемента (ПЭ) – милливольты, поэтому нужен усилитель (У). Схема приведена на рисунке 32.

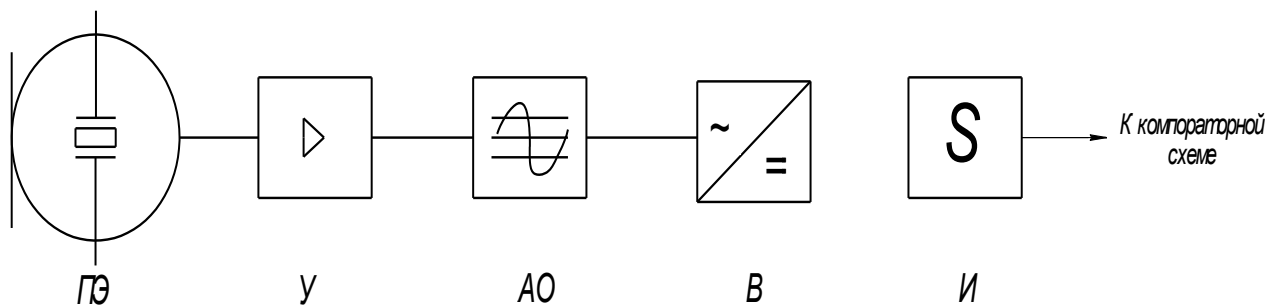


Рисунок 32 – Схема с пьезоэлементом

При значительной вибрации усиленный сигнал может превысить уровень, допустимый для микросхем, поэтому схема дополняется амплитудным ограничителем (АО). Для обеспечения непрерывности выходного сигнала в схему вводится выпрямитель (В) и интегратор (И). В результате такой обработки аналоговый сигнал приобретает вид постоянного напряжения с удобной для обработки амплитудой. Выходной цифровой сигнал становится стабильным и непрерывным.

Описанная конструкция датчика подходит для контроля уровня вибрации элементов трансформатора. Однако часто возникает необходимость измерять амплитуду электродвигателей, например, в системе вентиляции трансформатора. В этом случае повышенная вибрация появляется вследствие износа или разрушения подшипников и возрастает быстро и многократно. Для ее контроля предлагается применить другой подход. В основе датчика лежит световой лазерный пучок не большой длины волны. Источник света прилегает к корпусу объекта контроля. Световой луч будет совершать такие же вибрационные колебания как и корпус объекта. Непосредственно на очень малом расстоянии будет располагаться фоточувствительный элемент, который будет фиксировать изменения положения светового луча. Схема датчика представлена на рисунке 33.

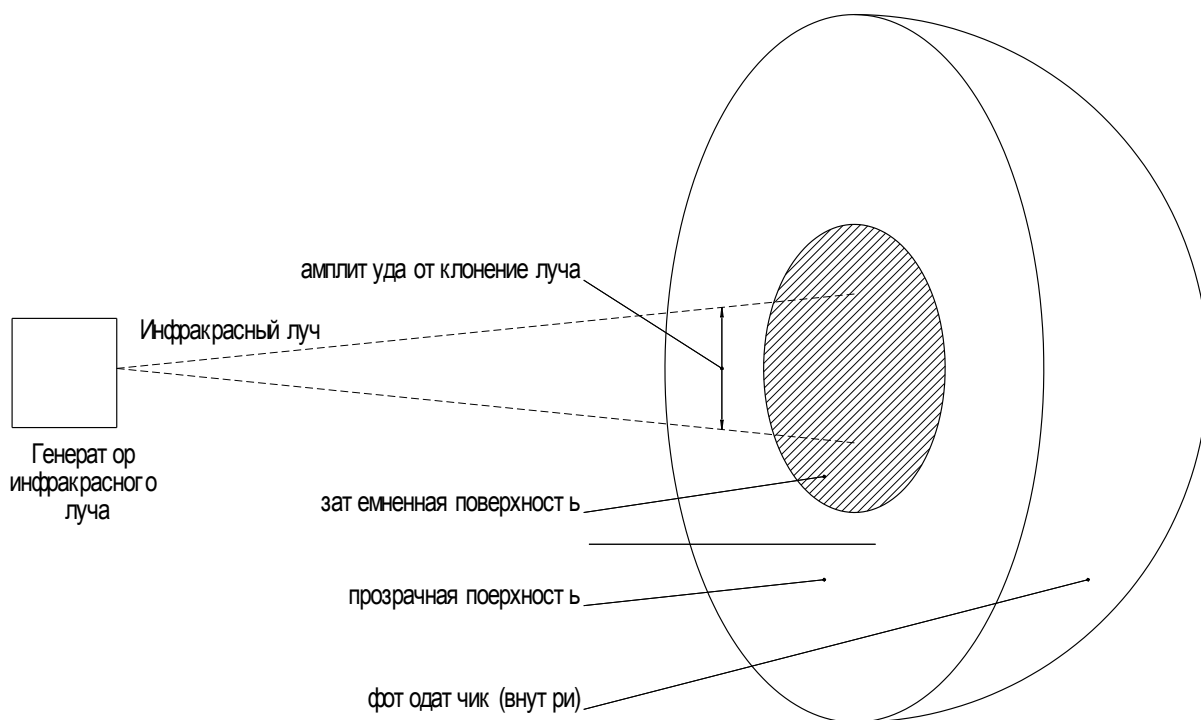


Рисунок 33– Схема датчика основанного на инфракрасном луче

Если вибрация в норме, то луч света не выходит за пределы зоны, закрытой от него, то есть не попадает в приемник. Если амплитуда

увеличилась – луч смещается с закрытой зоны и попадает на фотоприемник. Далее формируется сигнал, как это уже было описано выше. [6]

Трансформаторы тока. Для наилучшего функционирования систем определения тока и напряжения проходящие через ввода, в конструкцию трансформаторов тока предлагается ввести некую доработку. [7] Доработка заключается в том, чтобы использовать сердечники с промежутком. Что это означает и как вообще такое может быть? Ведь в основном для трансформаторов тока используются сердечники без разрезов, то есть монолитные сердечники выполненные из шихтованной магнитостали. Исполнение сердечника описанного выше представлено на рисунке 34.

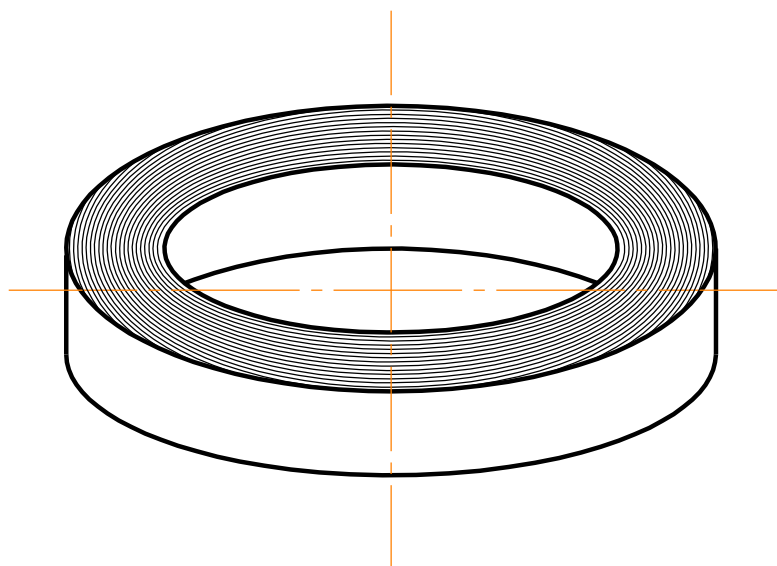


Рисунок 34 – Сердечник трансформатора тока

Сердечники с разрезом имеют такое же исполнение как и сердечник представленный на рисунке выше. К тому же технология производства идентичная, но после отжига сердечник разрезают и вставляют в разрез легкую проставку толщиной в 0,01 мм. В месте планируемого разреза наматывают киперную ленту, пропитанную лаком. Сердечник с разрезом представлен на рисунке 35, сердечник с разрезом в сборе представлен на рисунке 36.

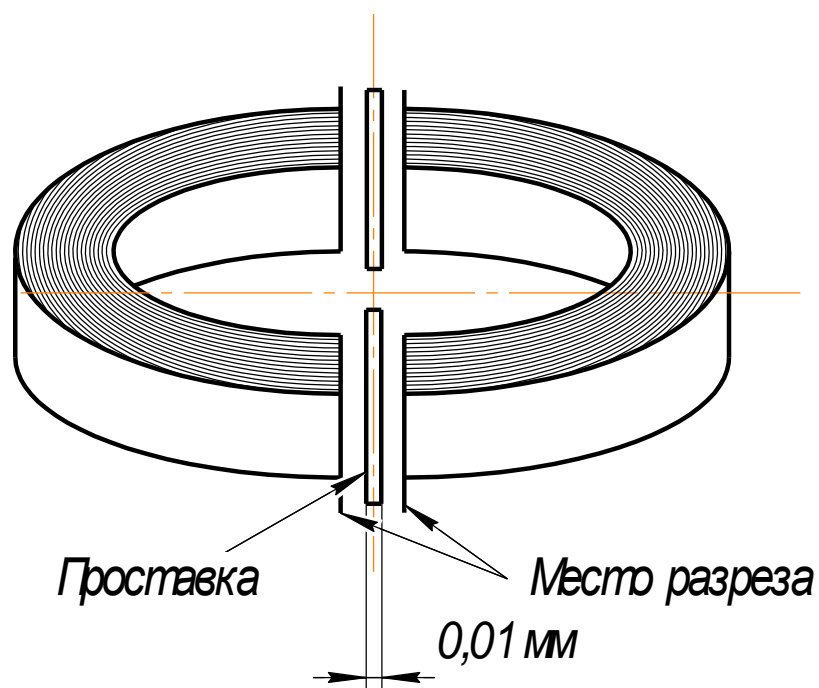


Рисунок 35 – Сердечник с разрезом

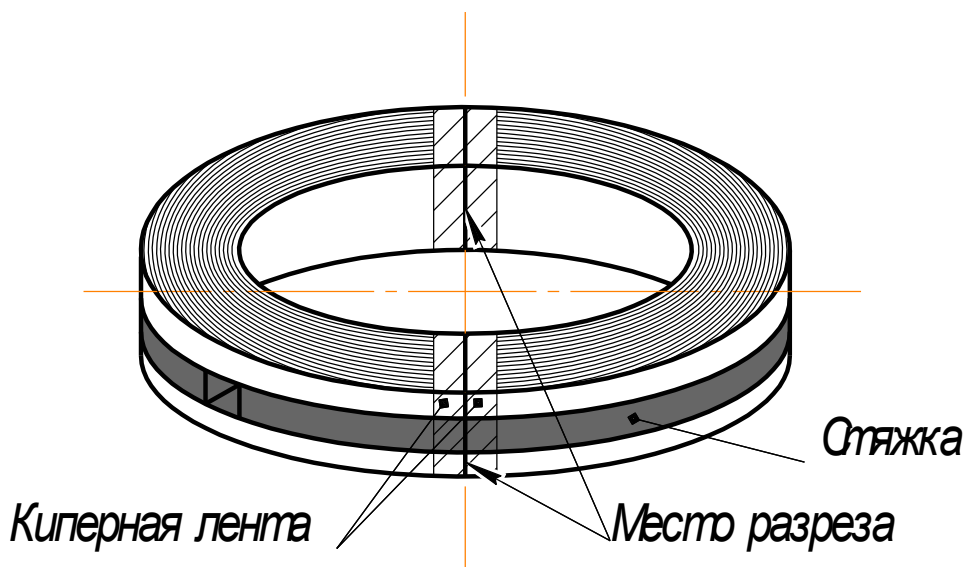


Рисунок 36 – Сердечник с разрезом в сборе

Сердечники с разрезом используются в трансформаторах тока с классом точности PR. использование таких сердечников позволит избавиться от такого нежелательного эффекта как намагничивание. Сердечники с разрезом позволяют значительно быстрее размагнитить сердечник. Отмечу,

Нагрузкой генератора импульсов является светодиод WD3, формирующий сигнал для передачи по оптоволокну. В качестве приемника оптических сигналов может использоваться фоторезистор.

Вместо генератора импульсов может быть использовано и другое устройство, например, компараторная схема, формирующая предупреждающий или аварийный сигнал при превышении контролируемым током заданного уровня.

Испытание опытного образца показало, что изменение силы тока от 75 до 632 А вызывает увеличение частоты следования импульсов примерно в 6 раз. При этом зависимость частоты следования импульсов от измеряемого тока носит монотонный характер. Таким образом, разработанный датчик может применяться для измерения тока в различных электроэнергетических системах, а его канал передачи данных полностью защищен от воздействия внешних магнитных полей при любом удалении от приемника сигналов.»[17]

Анализатор параметров трансформаторного масла.

Относительная диэлектрическая проницаемость трансформаторного масла $\epsilon=2,2$. Другие вещества – вода и прочие примеси имеют значения ϵ , приведенные в таблице 19.

Таблица 19 – Диэлектрическая проницаемость веществ

Вещество	Диэлектрическая проницаемость среды
Вода	81
Керосин	2,1
Масло	2,5
Парафин	2,1
Слюда	6
Стекло	7

Очевидно, что при наличии таких примесей результирующая относительная диэлектрическая проницаемость изменится. Это свойство можно использовать для контроля отклонения параметров масла от нормы.

Датчик должен по своей конструкции быть конденсатором, погруженным в масло.

Измерить изменение емкости за счет примесей в составе масла удобнее всего с помощью генератора высокой частоты, значение которой задается описанным конденсатором. Известно множество подходящих технических решений, например, схема, показанная на рисунке 38.

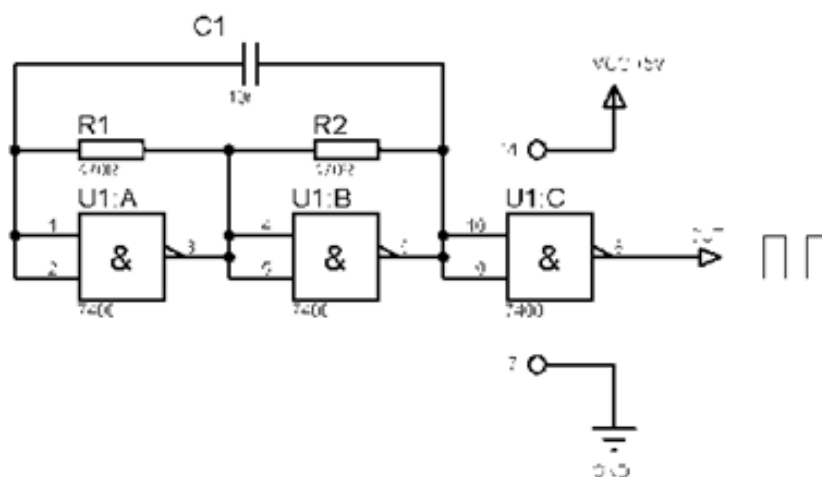


Рисунок 38 – Генератор сигнала на К555ЛА3(7400)

Датчик шума. Датчик шума – то же, что датчик вибрации, но вместо пьезоэлемента может быть микрофон. Возможно введение в схему элементов фильтрации, например, режекторного фильтра на 50 Гц для подавления помех от сети.

Акустический датчик для обнаружения частичных разрядов.

Акустический метод регистрации частичных разрядов известен, однако есть необходимость его усовершенствовать. Идея заключается в следующем.

При возникновении частичных разрядов появляются акустические сигналы, зависящие от многих факторов, вследствие чего их частотный спектр изменяется. Если состояние диэлектриков не изменяется, то распределение амплитуды разрядов по частоте также не меняется. Если же

возникает новый разряд – то появляются изменения. Для их регистрации предлагается реализовать метод, поясняемый рисунок 39.

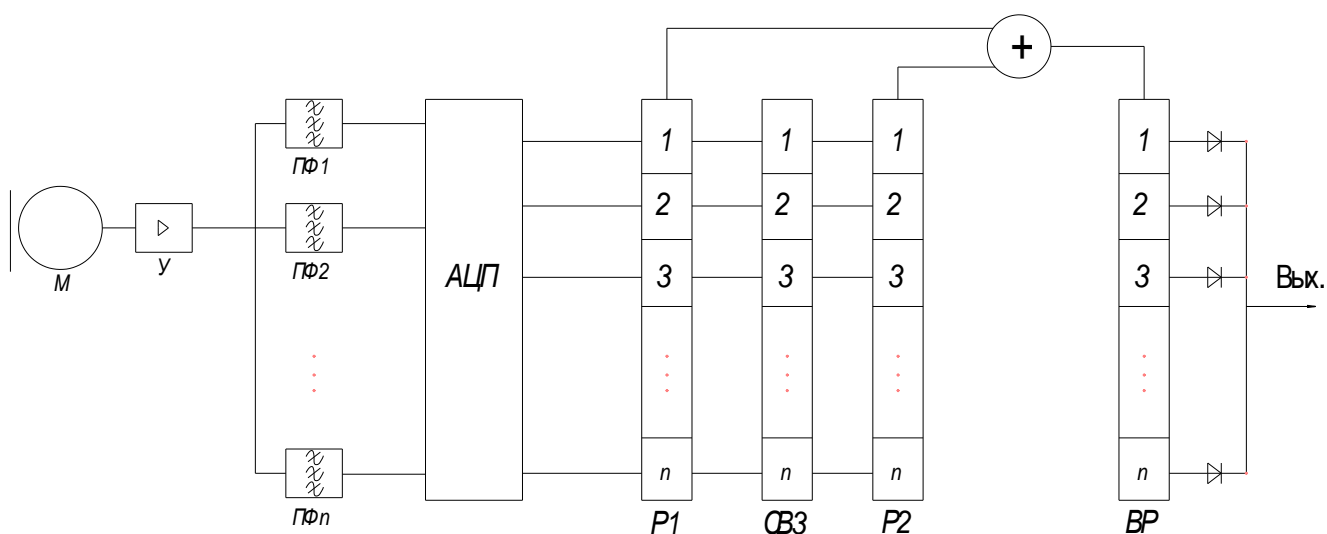


Рисунок 39 – схема работы акустического метода отслеживания частичных разрядов

Схема работает следующим образом. Сигнал от широкополосного микрофона М усиливается усилителем У и через полосовые фильтры ПФ1-ПФ n поступает на аналого-цифровые преобразователи АЦП. В качестве таковых может быть использована компараторная схема, рассмотренная ранее.

Набор двоичных сигналов записывается в регистр R1. Далее он поступает на схему временной задержки СВР и записывается в регистр R2. Таким образом в регистрах содержится информация в виде комбинаций двоичных сигналов с разницей во времени. Для получения автокорреляционной функции обе комбинации складываются по модулю 2 в соответствующем сумматоре. В соответствии с правилами Булевой алгебры сложение одноименных двоичных сигналов дает логический ноль, а разноименных – единицу. В результате в выходном регистре будут все нули до тех пор, пока не появятся отличия в содержимом регистров,

соответствующем разным моментам времени. При появлении частичных разрядов картина изменится и появятся единицы в ВР, которые могут использоваться для сигнализации о новых частичных разрядах.

Датчик давления.

Внутри бака трансформатора необходимо контролировать давление. С этой задачей хорошо справится манометр электроконтактный (далее ЭКМ). Это датчик позволяющий отслеживать избыточное давление внутри среды, в нашем случае внутри бака трансформатора. Данное устройство можно применять как средство сигнализирующее превышение давления. Устройство позволяет выдавать сигналы управления исполнительным механизмам.

ЭКМ имеет множество исполнений. А так же широко используется в различных отраслях. «Различные модели изготавливаются разными заводами представлены ниже:

- ТМ (ТВ, ТМВ), 10-ой серии;
- PGS23.100, PGS23.160;
- ЭКМ100Вм, ЭКМ160Вм;
- ТМ-510Р.05, ТМ-510Р.06, ДМ2005Сг, ТМ-610.05 РОСМА.» [14]

Представленные исполнения ЭКМ могут быть виброустойчивыми, жидконаполненными, с магнитомеханическими контактами или микровыключателями.

Принцип работы ЭКМ заключается в том чтобы размыкать или замыкать подвижные контакты, при какой либо уставке. Уставка фиксируется вручную. При нормальном давлении стрелка не превысит уставки. [24]

На рисунке 40 представлены схемы подключения манометров.

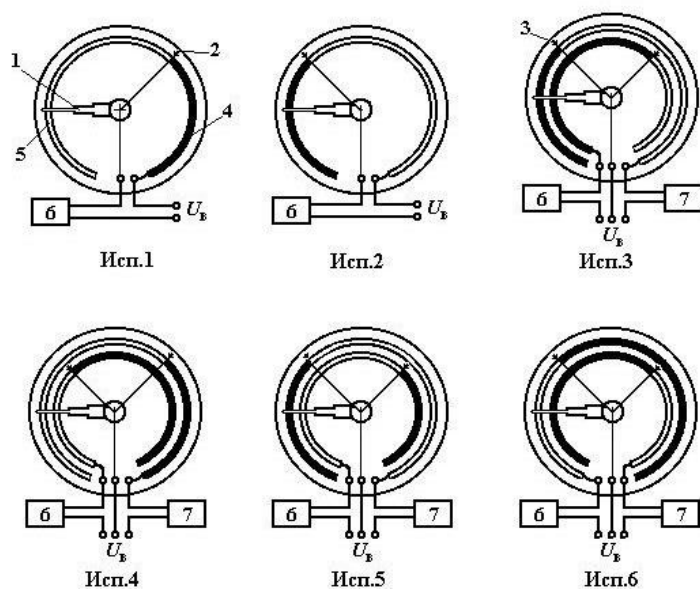


Рисунок 40 – схемы подключения манометра

1 — стрелка; 2 и 3 — предельные значения уставки; 4 и 5 — диапазоны размыкания и замыкания контактов; 6 и 7 — внешние цепи контролируемых рабочих сред.

Выводы по разделу

В ходе написания третьей главы к диссертации была составлен алгоритм работы, проработаны процедуры самодиагностики, а так же были представлены аналоги к существующим датчикам, которые будут использоваться в системе. Алгоритм работы могут быть составлены на любой программной платформе и введены в работу совместно с системами АСУ. Представленные в третьей главе датчики являются аналогами существующих датчиков. К тому же такие датчики могут быть изготовлены отечественным производителем. Стоит отметить что аналоги могут стать достойным менее дорогим решением для обеспечения непрерывного контроля рабочего режима силового трансформатора.

Заключение

Современные системы контроля режимов силового трансформатора довольно развиты. В системах применяются микропроцессорные технологии, разрабатываются новые алгоритмы обработки данных. Системы часто обновляются. Но за всем этим функциональным богатством стоит один нюанс. Для внедрения и обслуживания сложных систем необходимы колоссальные средства. К тому же, если говорить о Российской энергетике, то все меньше предпочтения отдается отечественным производителям. Зачастую все передовые технологии принадлежат иностранным производителям, что, в свою очередь, увеличивает стоимость систем. Стоит отметить и то, что для обслуживания иностранного оборудования необходимо обращаться за границу или к их представителям. Нехватка квалифицированного персонала тоже влечет за собой риски. Исходя из всего вышесказанного, для того, чтобы системы не превращались в «дорогие игрушки» и для обеспечения максимальной эффективности при малых затратах была проведена научная работа под названием «Разработка предложений по построению интеллектуальной системы контроля режимов работы силового трансформатора».

В первом разделе диссертации был выполнен анализ объекта для которого разрабатывалась система контроля. Был произведен анализ режимов работы силового трансформатора. Из всех режимов для диссертации взят за основу номинальный режим работы - рабочий режим. Далее были проанализированы характеристики силового трансформатора на примере силовых трансформаторов классом напряжения 110 кВ.

Следующим этапом работы стал анализ дефектов, которые могут возникнуть во время работы силового трансформатора. Подводя итоги анализа, были выявлены самые часто возникающие дефекты и первоначальные отклонения, которые возникают при тех или иных дефектах.

Подробно ознакомившись с дефектами далее был разобран вопрос каким же методом пользуются современные системы для отслеживания технического состояния силового трансформатора. Это метод непрерывного контроля с использованием статичных датчиков, расположенных на силовом трансформаторе. Вся необходимая информация считывается датчиками, а затем передается в центры управления. Далее был произведен анализ самых востребованных и широко используемых систем контроля.

Во втором разделе диссертации были изучены датчики, которые используются в современных системах контроля. Были определены плюсы и минусы датчиков, их возможности. По итогу исследований было выявлено, что не все датчики имеют универсальность, нет дешевых и в тоже время информативных аналогов системы. Результатом всех исследований стало обоснование надобности разработки предложений по построению интеллектуальной системы контроля режимов силового трансформатора.

Третий раздел посвящен непосредственно разработке системы. В разделе изложен алгоритм работы системы.

Работа интеллектуальной системы основана на сравнении данных полученных с датчиков с уже выставленными значениями и пределами допустимых отклонений. Представлена схема работы прибора сравнения. В системе предусмотрена замена обычных датчиков на аналогичные, но собственного исполнения. Их схемы и работа так же изложены в разделе. Из-за того, что система разработана только в теории ее сложно экономически сравнить с уже имеющимися системами, но исходя из доступности материалов, простоты монтажа и работы был произведен экономический расчет внедрения такой системы на объект. Представленная система выглядит простой, но на деле может хорошо показать себя на небольших подстанциях, где нет возможности постоянного контроля персоналом.

Список используемых источников

1. Алексеев, Б.А. Системы непрерывного контроля состояния крупных силовых трансформаторов. – М.: Издательство НЦ ЭНАС, 2009.
2. Андреев К.А. Проблемы устройств мониторинга и диагностики трансформаторов под нагрузкой./ Энергетика, Электроснабжение, электропривод, 2017, 186 с.
3. Бессонов, Л.А. Теоретические основы электротехники: учебник / Л.А. Бессонов - Москва: Высшая школа, 1996 - 623 с.
4. Боровиков В.П. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере: для профессионалов (2-е издание), СПб.: Питер, 2003. – 688 с.
5. Вольдек, А.И. Электрические машины: учебник для студентов вузов / А.И. Вольдек - СПб.: Энергия, 1978 - 832 с.
6. Гиберт Д.П. Надежность электрической изоляции. Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2006. 61 с.
7. Глыга А.Ю., Тимофеев Н.В. Анализ определения тока намагничивания трансформаторов тока. Сборник материалов международной научно-практической конференции: «Электрические сети: Надежность, Безопасность, Энергосбережение и Экономические аспекты»/ Казань, КГЭУ, 2021 г, с. 171-174.
8. Глыга А.Ю., Тимофеев Н.В. Влияние магнитных полей на работу трансформаторов тока. Сборник материалов международной научно-практической конференции: «Электрические сети: Надежность, Безопасность, Энергосбережение и Экономические аспекты»/ Казань, КГЭУ, 2021 г, с. 165-170.
9. ГОСТ Р 55016-2012 Трансформаторы силовые масляные общего назначения классов напряжения 110 и 150 кВ. Технические условия. М.: Стандартиформ, 2014 год. Фактическая дата официального опубликования стандарта - апрель 2014 года

10. Живодерников С.В.и др. Зарубежный опыт мониторинга состояния маслонаполненного оборудования / Новосибирская СПБ «Электросетьсервис ЕНЭС» 2017 г. – 17с.
11. Касаткин А.С. Электротехника: учебное пособие для вузов / А.С. Касаткин, М.В. Немцов - Москва: Энергоатомиздат, 1995 - 240 с.
12. Килин С. В., Мониторинг силовых трансформаторов. КИП и автоматика: обслуживание и ремонт №3 2020. 2020;3.
13. Кутырев Н. Н., Глыга А. Ю. Модернизация системы учета электро-энергии // Энергоэффективность и энергобезопасность производственных процессов (ЭЭПП-2019): V Всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов, аспирантов (Тольятти, 12–13 ноября 2019 года): сборник трудов / отв. за вып. В.В. Вахнина. Тольятти: Изд-во ТГУ, 2019. №25. С. 101-103.
14. Методическое руководство по выбору технических и программных средств для систем мониторинга силовых трансформаторов [Электронный ресурс]: URL: https://dimrus.ru/manuals/trans_monitoring.pdf
15. Методы контроля состояния силовых трансформаторов, автотрансформаторов, шунтирующих реакторов. – М.: ОГРЭС. – 2007. 8.
16. Монометр электронный – ЭКМ: схема подключения принцип действия. Дата обращения 25.04.2021. [Электронный ресурс]: URL: <https://odinelectric.ru/kipia/chto-takoe-elektrokontaktnyj-manometr>
17. Объём и нормы испытаний электрооборудования: ЭНАС. – Москва, 1998г. – 254 с.
18. Перьков Е.В., Шаталов Н.А. Устройство для диагностики и мониторинга силовых трансформаторов в рабочем режиме./ Технические науки, выпуск 7(61), 2017 г.
19. Платов В.И. Измерение токов в сильных магнитных полях./ Сборник материалов международной научно-практической конференции: «Электрические сети: Надежность, Безопасность, Энергосбережение и Экономические аспекты»/ Казань, КГЭУ, 2021 г, с. 182-185.

20. Положение о технической политике в распределительном электросетевом комплексе до 2015 г: ОАО «РОСЭП». – Москва, 2006. – 73 с.
21. Руденко, Ю.Н. Автоматизация диспетчерского управления в электроэнергетике / Ю.Н. Руденко [и др.], под ред. Ю.Н. Руденко, В.А. Семёнова: Московский энергетический институт. – Москва, 2000. – 648 с.
22. Сборник методических пособий по контролю состояния электрооборудования /АО «Фирма ОРГРЭС». – Москва, 1998г. – 493 с.
23. Тимофеев Н.В., Глыга А.Ю., Кузнецов В.Н. Модернизация распределительных сетей с внедрением новых систем управления // «Студенческие Дни науки в ТГУ»: научно-практическая конференция (Тольятти, 5-30 апреля 2021 года). Тольятти: Изд-во ТГУ, 2021.
24. Тимофеев Н.В., Глыга А.Ю., Кузнецов В.Н. Модернизация системы электроснабжения повысительной насосной подстанции // «Студенческие Дни науки в ТГУ»: научно-практическая конференция (Тольятти, 5-30 апреля 2021 года). Тольятти: Изд-во ТГУ, 2021.
25. Файфер, Л. А. Существующие методы мониторинга силовых трансформаторов / Л. А. Файфер. — / Молодой ученый. — 2016. — № 12 (116). — С. 412-415.
26. D. Allan, T. Blackburn, M. Cotton, B. Fanlay. Recent advances in automated insulation monitoring system, diagnostic techniques and sensor technology in Australia/ Powerlink Queensland University of NSW GPU PowerNet Pacific Power (Australia). CIGRÉ Session 1998 Proceedings.
27. E. Gockenbach, H. Borsi Condition Monitoring and Diagnosis of Power Transformers/ Leibniz Universität Hannover, Schering-Institut, Hannover, Germany. 2008 International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis, Beijing, China, April 21-24, 2008.
28. IEEE Recommended Practice for the Design of Reliable Industrial and Commercial Power Systems. Engineering Committee of the Industrial and Commercial Power Systems Department of the IEEE Industry Applications Society Approved 7 February 2007.

29. Jan Michalik, Miroslav Gutten, Mariana Benova, Daniel Koreciak. Diagnostic and Measuring Systems of the Power Transformers. Advances in Electrical and Electronic Engineering, 2003.

30. Kumar Santosh Annadurai, Gupta Prakash Ram, Venkatasami Athikkan, Udayakumar Kodhandaraman. Design parameter based method of partial discharge detection and location in power transformers. Serbian Journal of Electrical Engineering 2009 Volume 6, Issue 2, Pages: 253-265.