

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

На правах рукописи

Акимов Анатолий Викторович

**Разработка и исследование вольтодобавочного канала
систем электроснабжения удаленных автономных объектов**

Направление подготовки

13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

АВТОРЕФЕРАТ

МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ

2023

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Комсомольский-на-Амуре
государственный университет»

Научный руководитель:

Сочелев Анатолий Федорович,
кандидат технических наук, доцент

Рецензент:

Киница Олег Игоревич
Начальник отдела подбора и
обучения персонала ПАО «Амур-
ский судостроительный завод»,
кандидат технических наук

Защита состоится «03» марта 2023 года в 10 часов 00 мин на заседании государственной экзаменационной комиссии по направлению подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника» в Комсомольском-на- Амуре государственном техническом университете по адресу: 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27, ауд. 104/3.

Секретарь ГЭК

Н.Н. Мельникова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы.

В современном мире человечество повсеместно использует электроэнергию, ведь электроэнергия – это самый доступный вид энергии для транспортировки. Но при транспортировке часто возникают различные потери или скачки напряжения от различных факторов, как природных, так и технически созданных. Это особенно сильно влияет на удаленные объекты и оборудование, потребителю которого хотелось бы иметь стабильное подключение к сети. В качестве решения такого вопроса предлагается множество вариантов стабилизаторов напряжения. Одним из таких является вольтодобавочный канал – система устройств, обеспечивающая регулирование напряжения. Одним из основных устройств в вольтодобавочном канале является вольтодобавочный трансформатор.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования является двухканальный вольтодобавочный канал, состоящий из двух трансформаторов: один с дискретным регулированием, другой с плавным, которые подключены в однофазную схему.

Цели и задачи.

Целью диссертации является разработка и исследования вольтодобавочного канала для регулирования напряжения на удалённых автономных объектах. Для этого были разработаны основные задачи

1. Рассмотреть основные понятия и требования для вольтодобавочных трансформаторов (ВТ).
2. Рассчитать вольтодобавочные трансформаторы для определённой по заданию схеме.
3. Составить систему уравнений для математического регулирования основных процессов работы двухканального вольтодобавочного канала

Научная новизна.

Научная новизна заключается в разработке математической модели для двухканального вольтодобавочного канала в однофазной схеме для маломощных

потребителей.

Практическая ценность работы заключается:

Регулирование напряжения для потребителя, повышая качество подаваемой электроэнергии

Методы исследований.

В основе расчета трансформаторов лежит теоретические расчеты трансформаторов малой мощности. Для моделирования были составлены уравнения на основе второго закона Кирхгофа, закона полного тока и характеристики намагничивания материала сердечника.

К защите предоставляются следующие основные положения:

1. Графическое изображение габаритов трансформаторов.
2. Результаты моделирования математических процессов работы ВТ при разных режимах.

Публикации.

Основные содержания диссертационной работы направлены в материалах 6-ой Всероссийской национальной конференции молодых ученых

Апробация результатов.

Результаты исследований, включённые в работу, докладывались на 6-ой Всероссийской национальной конференции молодых ученых (Комсомольск-на-Амуре 2023 г. КНАГУ)

Структура и объем работы.

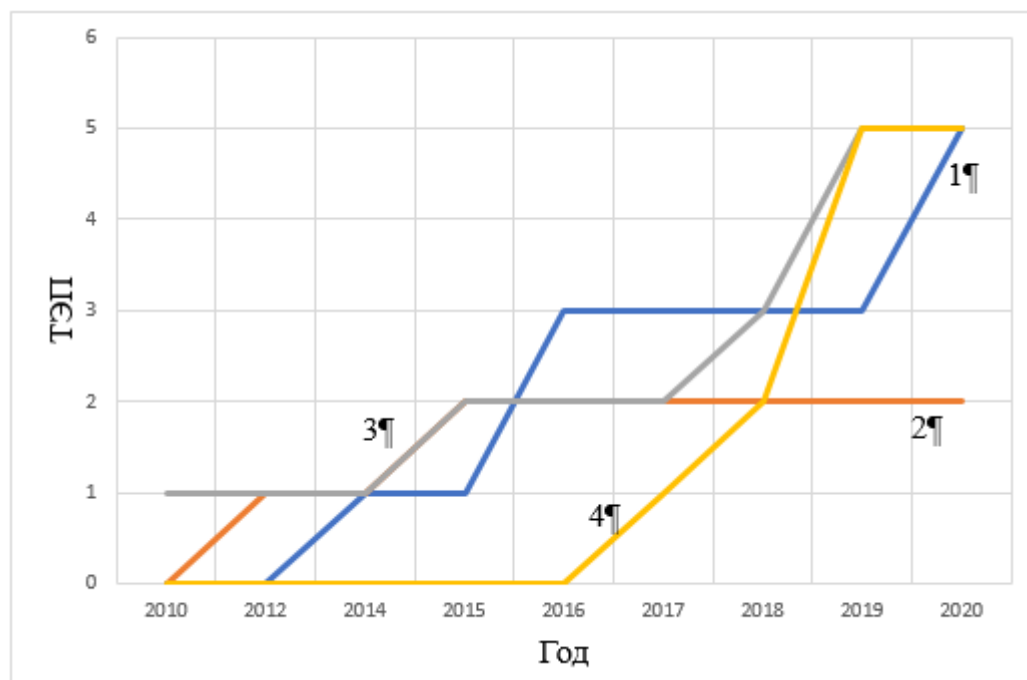
Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 13 наименований. Работа изложена на 84 страницах, содержит 30 рисунков.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, дана характеристика научной проблемы, сформулированы цели и задачи, показана научная новизна, апробация выполненных исследований, показана структура и объем материала, изложенного в диссертации.

В первой главе выполнен обзор существующих патентов и исследования на тему, связанную с вольтодобавочными каналами. Была составлена таблица используемых обозначений по международной патентной классификации.

На основе данных, была проведена работа по заинтересованности и актуальности темы в различных странах, на основе которых был составлен график динамики патентирования по данным направлениям.



1 - Добавление нового стабилизирующего вольтодобавочного устройства с фазным регулированием; 2 - Добавление нового стабилизирующего вольтодобавочного устройства с тиристорным управлением; 3 - Изменение способа управления вольтодобавочного устройства; 4 - Стабилизация напряжения через вольтодобавочный трансформатор.

Рисунок 1– Динамика патентования по техническим направлениям

По графику видно, что с недавнего времени начал эффективно показывать себя новый способ, в виде стабилизация напряжения через вольтодобавочный трансформатор.

Кривые описывающие ТЭП, связанные с использованием вольтодобавочных каналов имеют экспоненциальную форму. Это говорит о том, что в данной области

в ближайшее время возможно резкое улучшение соответствующего показателя. Этим направлениям внимание стало уделяться лишь в последние годы, поэтому общее количество патентов в данной области заметно ниже. В конце главы был проведен анализ конкуренции, основываясь на патентах.

Во второй главе были рассмотрены основные понятия вольтодобавочного канала. Были рассмотрены основные причины падения напряжения и перенапряжения в сети. Даны определения вольтодобавочного трансформатора, описан его принцип работы и применения и преимущества. Также были указаны общие технические требования к ним.

Вольтодобавочный канал – это совокупность устройств и процессов в сети, которые обеспечивают регулирование напряжения в цепи. В случае падения напряжения в цепи ниже требуемого или превышения выше требуемого, то вольтодобавочный канал способствует регулированию до необходимого уровня. Процесс уменьшения завышенного напряжения в цепи называется волтоотбавкой, а процесс повышения напряжения до необходимого минимума – вольтодобавкой. Основным типом устройства в вольтодобавочном канале является вольтодобавочный трансформатор – трансформатор с регулируемым коэффициентом трансформации или с регулируемыми углами коммутации. В дополнении к нему, для регулирования работы такого трансформатора, в вольтодобавочном канале используют тиристорные регуляторы, а также дополнительные устройства измерения, которые и показывают повышение или понижения напряжения в цепи.

Одной из глобальных причин понижения напряжения является недостаточная мощность электрогенерации и электротрансформации в регионе. Недостаточное финансирование электрической отрасли с одной стороны и бурный рост потребления электроэнергии в последние годы с другой стороны приводит к проблемам с качеством электроснабжения.

Также часто бывает так, что к одному трансформатору было подключено определенное количество потребителей и проблем с качеством электроэнергии не было. Потом к этому же трансформатору или подстанции подключаются еще новые дома, и мощность его оказывается недостаточной, это приводит к понижению

напряжения во всей подключенной сети. Такое явление часто наблюдается в удаленных объектах в 180, 170, 160 и даже 150 Вольт там не редкость.

Причиной снижения напряжения на входе в может быть неравномерное распределение потребителей в распределительной сети или «перекос фаз». Как правило, такое явление наблюдается в сельской местности, в дачных поселках и частном секторе. В таких сетях подключаются к электросети по мере строительства новых объектов индивидуально. Часто при этом подключение идет по принципу «так удобно» или «этот провод ближе». В результате на одной «фазе» сети потребителей оказывается больше, чем на других. Напряжение в этой части электросети будет ниже.

По причинам возникновения перенапряжения подразделяются на:

- 1) внешние – от разрядов молнии (атмосферные перенапряжения) и от воздействия внешних источников;
- 2) внутренние – возникающие при резонансных явлениях, при авариях и при коммутациях элементов электрической цепи.

Внутренние перенапряжения по длительности и по причине возникновения делятся на квазистационарные и коммутационные.

Квазистационарные перенапряжения в свою очередь подразделяются на режимные, резонансные, феррорезонансные и параметрические. Режимные перенапряжения возникают при несимметричных коротких замыканиях на землю, а также при разгоне генератора в случае резкого сброса нагрузки. Резонансные перенапряжения имеют место при возникновении резонансных эффектов в линиях (при одностороннем питании линии), в электрических цепях при наличии реакторов. Феррорезонансные перенапряжения возникают в цепях с катушками с насыщенным магнитопроводом, что может быть, как на частоте 50 Гц, так и на высших гармониках, и на субгармониках. Особенностью феррорезонанса является скачкообразный вход в режим резонанса (триггерный эффект).

Коммутационные перенапряжения возникают при переходных процессах и быстрых изменениях режима работы сети (при работе коммутационных аппаратов, при коротких замыканиях и при прочих резких изменениях режима) за счет энер-

гии, запасенной в емкостных и индуктивных элементах. Наиболее часто такие перенапряжения имеют место при коммутациях линий, индуктивных элементов, конденсаторных батарей. Остановимся на них поподробней.

Коммутационные перенапряжения возникают при включении ненагруженной линии, при которых на квазистационарное перенапряжение за счет емкостного эффекта накладываются затухающие колебания на емкости и индуктивности линии, частота которых зависит от длины линии. Амплитуда колебательной составляющей максимальна при угле включения 90° или 270° , и величина ее составляет порядка двух амплитуд установившегося режима. При совпадении частоты собственных колебаний линии с частотой сети амплитуда колебательной составляющей может достигнуть десятикратной величины вынужденной составляющей.

Электрический вольтодобавочный трансформатор применяется по настоящее время, но термин относится только к серии специальных технических средств, обеспечивающие регулировку напряжения. По своей функциональности - это трансформатор с переменным коэффициентом трансформации. Вторичной обмоткой он подсоединяется последовательно в цепь и выступает в роли согласующего звена. ВТ используются для обеспечения качества электроэнергии в соответствии с необходимыми требованиями для определенной цепи. Так можно сказать, что их основное назначение — стабилизация и урегулирование уровня напряжения в сети. Также, при определенных условиях, модели ВТ могут выступить в роли компенсатора асимметричной нагрузки.

Алгоритм работы вольтодобавочного трансформатора основывается на изменении мощности. Они подсоединяются к источнику сети, без дополнительных элементов. Если мощностной коэффициент не достигает 0,8, то происходит компенсация реактивной мощности при помощи конденсаторов. При этом изменение режима можно включать в сети использование различных регуляторов и смену числа витков индуктора.

Основное предназначение устройства — это регулировка напряжений, если речь идет об одной конкретной линии или о целых группах линий. В тоже время нужно понимать, что рационально и пользование приборов только в сетях, в кото-

рых используется главный трансформатор без возможности регулировки под нагрузкой.

Использование вольтодобавочного трансформатора в распределительных сетях дает определенные преимущества:

- 1) минимальные денежные затраты на ввод в эксплуатацию дополнительного оборудования;
- 2) наличие приборов регуляции в том числе и восстановительных вариантов при компенсации ликвидации или включение аварийного режима;
- 3) включение режима аварийной работы.
- 4) минимизация негативных последствий при смене контакта или обрывания сигнала нулевого проводника;
- 5) снижение серьезности проблем, которые могут возникнуть при скачках напряжения в сети и работе пусковых механизмов;
- 6) увеличение защиты длинных линий электропередач за счет смены показателей мощности однофазных кз;
- 7) устранение скачков напряжения и асимметричности показателей в результате плохого и нерегулярного распределения фазовой нагрузки.

Существуют определенные усреднённые технические характеристики для вольтодобавочных трансформаторов. Их выбор связан с некоторыми трудностями и необходимостью сложных расчетов. Потребуется вычислять затраты с эффектом энергетических потерь в сетевом кабеле с учетом минимизации проводимых затрат:

1) При напряжении от 20 до 35 кВ

Категория размещения — 1,2, 3 и 4.

Климатическое исполнение У, УХЛ и ХЛ.

Основные технические требования:

- а) максимальные и минимальные температурные показатели — от плюс 40 до минус 60 при УХЛ и ХЛ1, при УХЛ4 -1;
- б) высота над уровнем моря — 1000 метров;
- в) сейсмостойкость — до 6 баллов;

- г) класс напряжения — 6, 10, 15, 20 и 35 кВ;
- д) номинальное напряжение — 6,6; 11; 17,5; 22 и 38,5 кВ;
- е) наибольшее рабочее напряжение — 7,2; 12; 17,5; 24 и 40,5 кВ;
- ж) номинальная проходная мощность — 10, 16, 25, 40, 63 МВ;
- и) максимальный нагрев обмоток — до 65 градусов;
- к) нагрузки и перегрузки — по ГОСТу 14209;
- л) давление бака — 50 кПа.

Должны обеспечивается конструкция вводом с демонтажем и плановым ремонтом, устанавливается трансформатор тока, используется масляная система охлаждения. Обязаны присутствовать система защита масла от соприкосновения с окружающим воздухом, устройства регуляции напряжения, устройство контроля масляного положения и защиты от примесей, перекачки и подъема.

2) При напряжении от 6 кВ до 20 кВ

Категория размещения — 1,2, 3 и 4.

Климатические исполнения У, УХЛ и ХЛ.

Основные технические требования:

а) максимальные и минимальные температурные показатели — от плюс 40 до минус 60 при УХЛ и ХЛ1, при УХЛ4 -1;

б) высота над уровнем моря — 1000 метров;

в) сейсмостойкость — до 6 баллов;

г) класс напряжения — 6, 10, 15, 20 кВ;

д) номинальное напряжение — 6; 10; 15 и 20 кВ;

е) наибольшее рабочее напряжение — 7,2; 12; 17,5; 24 кВ;

ж) номинальная проходная мощность — требования;

и) максимальный нагрев обмоток — до 65 градусов;

к) ток — 100, 150, 200, 300, 400, 500 и 600 А.

Устанавливаются требования к отдельным составным частям механизма.

Установка блока управления индивидуальна.

3) При напряжении 0,4 кВ

Категория размещения — 1,2, 3 и 4,

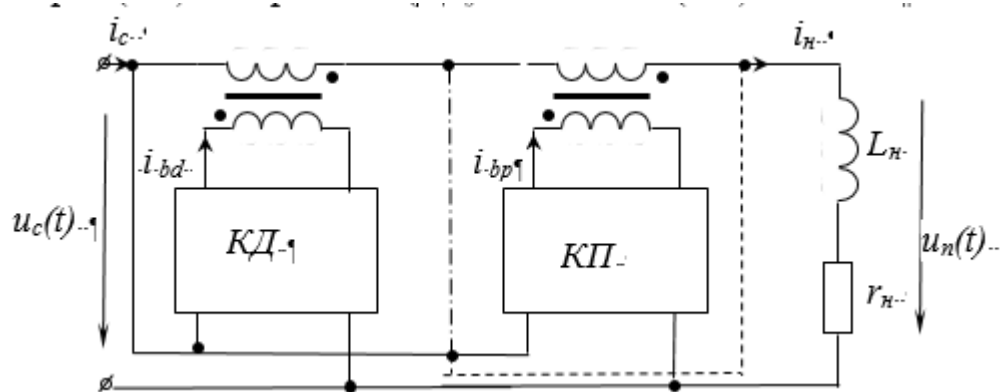
Климатическое исполнение – стандартное.

Основные технические требования:

- а) класс напряжения — 6, 10, 15 кВ;
- б) наибольшее рабочее напряжение — 6, 10, 15 кВ;
- в) нагрузки и перегрузки — по ГОСТу 14209;
- г) давление бака — 50 кПа;
- д) заземление М12.

В третьей главе указаны изначальные данные схемы. Проанализированы возможные варианты подключений и произведен расчет параметров вольтодобавочных трансформаторов трансформатора.

Разработка вольтодобавочного канала будет производиться для однофазной системы с нагрузкой 10 кВА и напряжением 220 В. В системе скачки напряжения варьируется до 30%. Для регулирования было предложено установить вольтодобавочный канал с двумя вольтодобавочными каналами. Первый трансформатор будет регулировать при дискретной системе, второй при плавной. Плавный канал имеет ограничение по диапазону регулирования напряжения. Его коэффициент трансформации не может быть больше 0,1, то есть он может регулировать напряжение не больше $\pm 10\%$.



$u_n(t)$ - напряжение (В) на нагрузке, $u_c(t)$ – напряжение сети (В),

r_n, L_n – сопротивление и индуктивность нагрузки

Рисунок 2 – Общая схема двухканального вольтодобавочного регулятора переменного напряжения

Приведенная характеристика на рисунке 3 (желтая кривая) показывает, что напряжение нагрузки U_n , о.е, находится на уровне номинального (1.0) в диапазоне изменения напряжения сети U_c , о.е, от 0.77 до 1.43.

Рассматриваемый регулятор с таким подключением обмоток возбуждения может компенсировать отклонения напряжения сети в большую сторону на 43 %, а в меньшую – только на 23 %.

Такой регулятор не сможет скомпенсировать отклонения напряжения сети в меньшую сторону на 30 %. Зато отклонения в большую сторону он сможет компенсировать на 43 % вместо 30 %. Общий размах компенсации отклонений составляет: $-23 \% + 43 \%$.

На рисунке 4 уже видно, что диапазоны D- и D+ одинаковы и равны ± 0.3 . Характеристика имеет симметричный вид при компенсации отклонений.

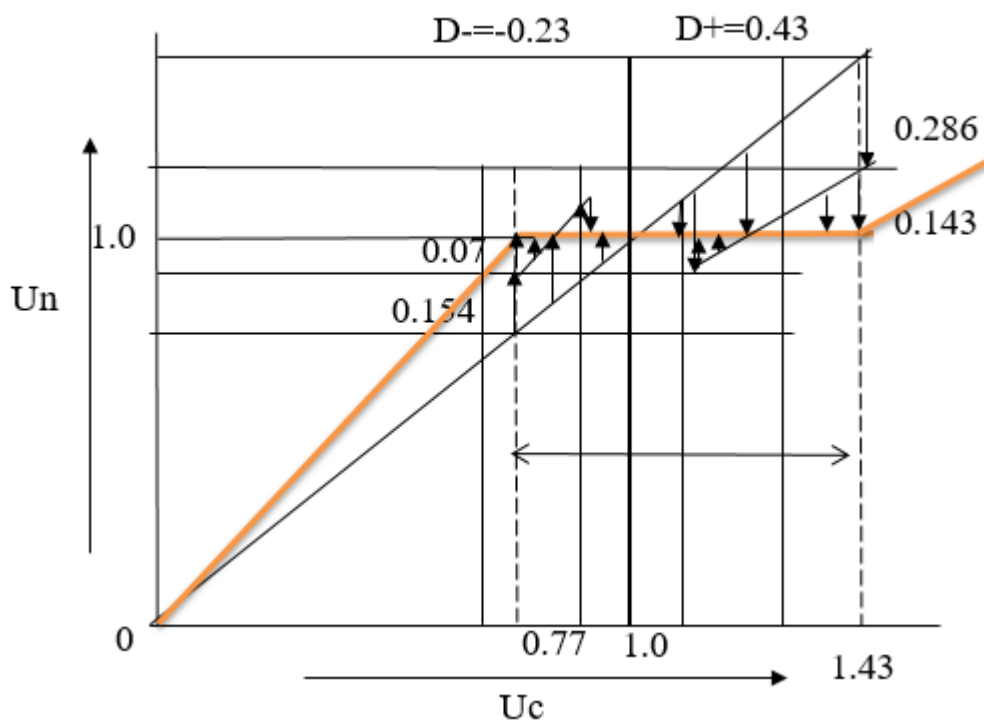


Рисунок 3– Характеристика двухканального регулятора с подключением обмоток возбуждения к сети (штриховые линии)

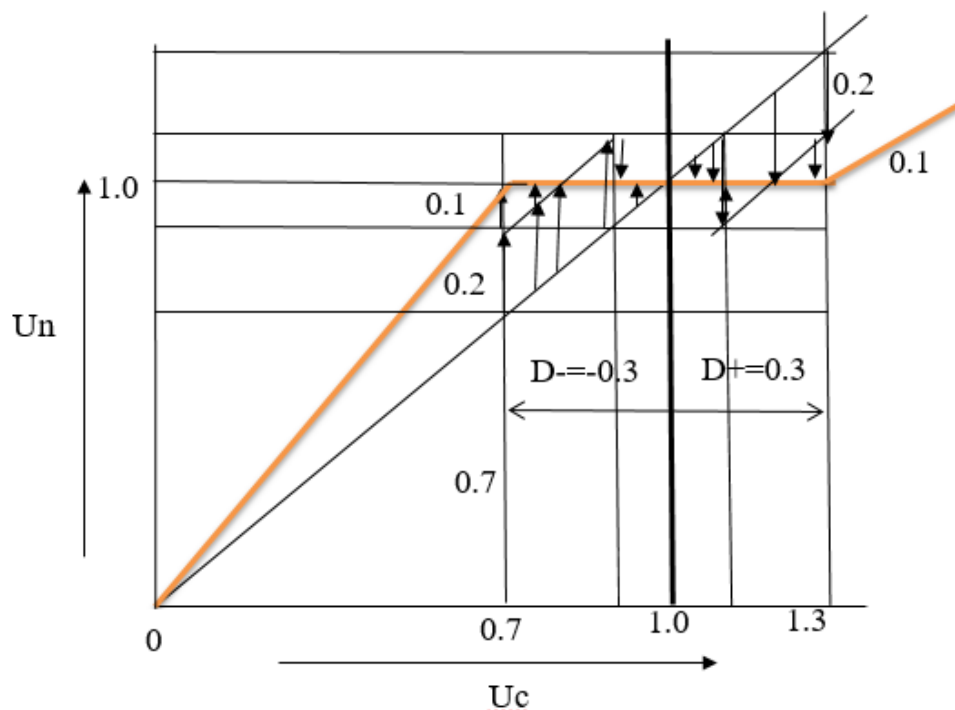


Рисунок 4 – Характеристика двухканального регулятора с подключением обмоток возбуждения к нагрузке (сплошные линии)

Общий анализ характеристик рисунков 3 и 4 показывает, что в зоне напряжения сети U_c меньше 1.0 (точка 0.9) существует такой режим, когда КД переходит в короткую, а КП – из режима полной вольтоотбавки в режим полной вольтодобавки.

Такой же режим наблюдается и во второй зоне (точка 1.1), когда КД переходит в вольтоотбавку, а КП – переключается аналогично первому случаю.

Рассмотренное явление затруднит работу регулятора, если в рассмотренных точках будет наблюдаться качание напряжения сети. Каналы КД и КП будут постоянно переключаться, и будут наблюдаться колебания напряжения нагрузки $\pm 10\%$. Чтобы избежать этого явления необходимо применять триггерный эффект, то есть смещать срабатывание переключений при качаниях.

После проведены расчеты по методике расчетов трансформаторов малой мощности. Все основные данные представлены в таблицах 1 и 2

Таблица 1 – Основные данные трансформатора ВТ с КД

Величина	Значение	Величина	Значение
$k_{ВТ}$	0.2	n_B	17
$P_{ВТ.П}$, ВА	2000	n_c	7
I_C , А	45.45	δ_B м ²	$19.3 \cdot 10^{-3}$
U_C , В	44	δ_c м ²	$30.3 \cdot 10^{-3}$
I_B , А	9.09	а, м	$50 \cdot 10^{-3}$
U_B , В	220	б, м	$75 \cdot 10^{-3}$
$q_{врасч}$, м ²	$3.63 \cdot 10^{-3}$	с, м	$23 \cdot 10^{-3}$
$q_{врасч}$, м ²	$18.18 \cdot 10^{-3}$	h, м	$46 \cdot 10^{-3}$
$d_{врасч}$, м	$2.15 \cdot 10^{-3}$	r_c Ом	0.012
$d_{срасч}$, м	$4.8 \cdot 10^{-3}$	r_B Ом,	0.343
$Q_{ст.полн}$, м ²	$3.69 \cdot 10^{-3}$	$L_{ВД}$	0.00754
E_B , В	198	$L_{сд}$	0.00325
E_C , В	48.4	G_M , кг	4.25
$E_{ВИТ}$, В	1.51	$G_{ст}$, кг	5.9
W_B	130	I_0 , А	0.15
W_C	32	$P_{ст}$, Вт/кг	29.5
$U_{с0}$, В	48.4	P_M , Вт/кг	31.9

Таблица 2 – Основные данные трансформатора ВТ с КП

Величина	Значение	Величина	Значение
$k_{ВТ}$	0.1	n_B	27
$P_{ВТ.П}$, ВА	1000	n_c	7
I_C , А	45.45	δ_B м ²	$13.6 \cdot 10^{-3}$
U_C , В	44	δ_c м ²	$24.2 \cdot 10^{-3}$
I_B , А	4.54	а, м	$54 \cdot 10^{-3}$
U_B , В	220	б, м	$54 \cdot 10^{-3}$
$q_{врасч}$, м ²	$1.81 \cdot 10^{-3}$	с, м	$17 \cdot 10^{-3}$
$q_{врасч}$, м ²	$18.18 \cdot 10^{-3}$	h, м	$50 \cdot 10^{-3}$
$d_{врасч}$, м	$1.52 \cdot 10^{-3}$	r_c Ом	0.0077
$d_{срасч}$, м	$4.8 \cdot 10^{-3}$	r_B Ом,	0.899

Продолжение таблицы 2

$Q_{\text{ст.полн}}, \text{M}^2$	$2.87 \cdot 10^{-3}$	$L_{\text{ВД}}$	0.009
$E_{\text{В}}, \text{В}$	198	$L_{\text{сд}}$	0.0019
$E_{\text{с}}, \text{В}$	24.2	$G_{\text{М}}, \text{кг}$	2.81
$E_{\text{ВИТ}}, \text{В}$	1.51	$G_{\text{СТ}}, \text{кг}$	4.63
$W_{\text{В}}$	205	$I_0, \text{А}$	0.122
$W_{\text{с}}$	25	$P_{\text{СТ}}, \text{Вт/кг}$	23.14
$U_{\text{с0}}, \text{В}$	24.2	$P_{\text{М}}, \text{Вт/кг}$	21.02

В четвертой главе составлена система уравнений на основе схемы подключения на рисунке 2 и на её основе проведены математические моделирования в системе MathCAD

Моделирование произведено на математической модели, составленной по универсальной системе уравнений для всех вариантов, где первое уравнение отражает второй закон Кирхгофа для нагрузки, а второе и третье - второй закон Кирхгофа для ВТ с КП и ВТ с КД соответственно. Четвертое и пятое уравнения – закон полного тока для ВТ с КП и ВТ с КД соответственно. Шестое и седьмое уравнения - характеристику намагничивания материала сердечника вольтодобавочного трансформатор

$$\bar{u}_c(\bar{t}) = (\bar{L}_{\text{сд}} + \bar{L}_{\text{сп}}) \frac{d\bar{i}_H}{d\bar{t}} + (\bar{r}_{\text{сд}} + \bar{r}_{\text{сп}}) \bar{i}_H + \bar{k}_{\text{ВТД}} \frac{d\bar{\Phi}_D}{d\bar{t}} + \bar{k}_{\text{ВТП}} \frac{d\bar{\Phi}_\Pi}{d\bar{t}} +$$

$$+ (\bar{L}_H) \frac{d\bar{i}_H}{d\bar{t}} + \bar{r}_H \bar{i}_H$$

$$F \bar{u}_{1D}(\bar{t}) = (\bar{L}_{\text{ВД}}) \frac{d\bar{i}_{\text{ВД}}}{d\bar{t}} + \bar{r}_{\text{ВД}} \bar{i}_{\text{ВД}} + \frac{d\bar{\Phi}_D}{d\bar{t}}$$

$$F \bar{u}_{1\Pi}(\bar{t}) = (\bar{L}_{\text{ВП}}) \frac{d\bar{i}_{\text{ВП}}}{d\bar{t}} + \bar{r}_{\text{ВП}} \bar{i}_{\text{ВП}} + \frac{d\bar{\Phi}_\Pi}{d\bar{t}}$$

$$\bar{i}_{0d} = \bar{i}_{\text{ВД}} + \bar{k}_{\text{ВТД}} \bar{i}_H$$

$$\bar{i}_{0p} = \bar{i}_{\text{ВП}} + \bar{k}_{\text{ВТП}} \bar{i}_H$$

$$\bar{\Phi}_D = \bar{\Phi}_D(\bar{i}_{0d})$$

$$\bar{\Phi}_\Pi = \bar{\Phi}_\Pi(\bar{i}_{0p})$$

На рисунке 4 представлен полный алгоритм математической блок-схемы данного цикла работы. В первом блоке вводятся данные. Во втором блоке вводится режим работы, в нашем случае первый режим это закоротка. В третьем блоке идет расчет необходимых величин методом Рунге – Кутта до установленного периода времени. В четвертом вводится режим работы плавной ступени регулирования и углы регулирования. Пятый блок аналогичен третьему. И в шестом блоке выводится итоговые функции искомых величин.

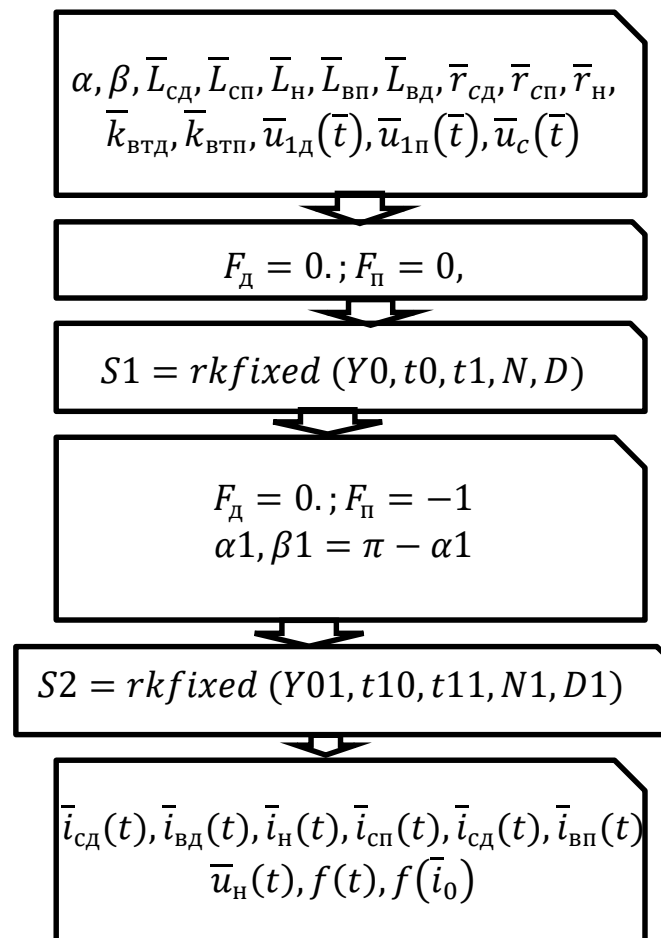


Рисунок 5 – Блок-схема алгоритма математического моделирования для работы закоротка-вольтодобавка

Из полученных функций были составлены графики ток, потоков и напряжений. На рисунке 5 – представлен график напряжения и тока нагрузки от времени. В начальный период значение напряжения установлено на 0.9 о.е. Это модулирует падение напряжения в сети на 10%. В течение периода, система работает на пониженном напряжении. Начиная со следующего периоде, идет подключение ВТ с

плавным регулированием в режиме «вольтодобавка». С его включением, в системе напряжение регулируется до нормального для системы значения 1 о.е. Таким образом ВТ с КП регулирует напряжение на 10%. Так же с включением ВТ в сети повышается ток на нагрузке.



Рисунок 4.3 – Зависимости тока и напряжения нагрузки от времени работы при режиме из закоротки в плавную вольтодобавку

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты диссертационной работы заключаются в следующем:

1) Обоснована актуальность темы посредством исследования различных патентов, связанных с ней, а также тенденции развития и конкуренции в данной тематике.

2) Исследованы основные понятия вольтодобавочного канала. Дано определение вольтодобавочного канала, какие устройства используются в вольтодобавочном канале и где применяются. Были приведены преимущества данных устройств и описаны общие технические требования к ним.

3) Проведена выборка среди возможных подключений двухканального вольтодобавочного канала к однофазной схеме, проведена разбор их характеристик напряжения и выбрана оптимальная

4) На основе выбранной схемы, рассчитаны трансформаторы, определены их габариты, основные электрические свойства и свойства материалов. Проведены проверки для рассчитанных трансформаторов.

5) Составлены системы уравнений для математического моделирования режимов работы. На основе уравнений промоделированы различные возможные варианты работы при различных исходных данных системы.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1 Акимов А.В., Двухканальный вольтодобавочный регулятор переменного напряжения для удаленных объектов с электросетью ограниченной мощности / А.В. Акимов, А. Ф. Сочелев // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: материалы VI Всероссийская национальная научная конференция молодых ученых, Комсомольск-на-Амуре, 10-14 апреля 2023 г. : в 4 ч. / редкол. : Э. А. Дмитриев (отв. ред.) [идр.]. – Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУВО «КНАГУ», 2023. – Ч. 1. – с. 355-358