


Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ИНСТИТУТ ГОРНОГО ДЕЛА, ГЕОЛОГИИ И ГЕОТЕХНОЛОГИИ
(институт)

ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ ГОРНО – МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО
ПРОИЗВОДСТВА
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 С.В. Кузьмин
подпись инициалы, фамилия

«14» 02 2017 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

21.05.04. Горное дело

(код и наименование специальности)

21.05.04.0010 Электрификация и автоматизация горного производства

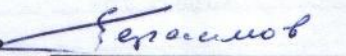
(код и наименование специализации)

Модернизация лабораторной работы по курсу «Электроснабжение горного производства». Разработка, монтаж, наладка и методическое обеспечение лабораторной работы «Исследование режимов работы двухтрансформаторных подстанций»

(тема)

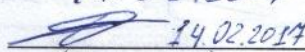
Пояснительная записка

Руководитель


(подпись, дата)

14.02.2017

Выпускник


(подпись, дата)

14.02.2017

доцент, к.т.н.

(должность, ученая степень)

А.И. Герасимов

(инициалы, фамилия)

О.Б. Дубровин

(инициалы, фамилия)

Красноярск 2017 г.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа на тему: «Модернизация лабораторной работы по курсу «Электроснабжение горного производства». Разработка, монтаж, наладка и методическое обеспечение лабораторной работы «Исследование и разработка автоматического управления режимами работы двухтрансформаторных подстанций», содержит 80 листов, 31 рисунок, 24 таблицы, 9 источников, 9 листов формата А1 графического материала.

АКТУАЛЬНОСТЬ, МОДЕРНИЗАЦИЯ СТЕНДА, ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА, МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ,

Объектом дипломного проектирования является лабораторная установка для изучения автоматического управления режимами работы двухтрансформаторных подстанций.

Цель работы: разработать лабораторную установку для проведения экспериментальных исследований режимов работы двухтрансформаторной подстанции. В процессе работы проведены: актуальность создания стенда; разработка структурной и принципиальной электрической схемы лабораторной установки; разработка комплекта рабочей документации для изготовления лабораторной установки; техническая реализация установки; экспериментальные исследования; выводы по результатам исследований; разработка методических указаний по выполнению лабораторных работ.

Использование установки в лабораторном практикуме поможет студентам в закреплении теоретических знаний по тематике лекционного материала дисциплины «Электроснабжение горного производства» .

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	5
1.Актуальность работы.....	6
2.Общие технические и проектные решения по модернизации лабораторной работы по курсу «Электроснабжение горных предприятий».....	10
2.1.Лаборатория по дисциплине «Электроснабжение горного производства».....	10
2.2.Лабораторный стенд «Исследование режимов работы двухтрансформаторной подстанции» до модернизации.....	12
2.3.Определение частей лабораторной установки требующих модернизации.....	14
2.4. Мероприятия по модернизации лабораторной установки.....	15
3. Модель подстанции – лабораторная установка «Исследование режимов работы двухтрансформаторных подстанций».....	18
3.1. Описание конструкции лабораторной установки.....	18
3.2.Назначение и принцип работы лабораторной установки.....	22
3.3.Технико-экономическое обоснование вариантов выбора трансформаторов.....	25
4. Методические указания «Исследование режимов работы двухтрансформаторных подстанций»	38
4.1. Теоретические сведения.....	38
4.2.Описание лабораторной установки	48
4.3. Ход выполнения работы.....	53
5.Безопасность жизнедеятельности	61
6. Экономическая часть.....	64
6.1. Сетевой график выполнения дипломной работы.....	64
6.2. Расчет затрат на материалы и оборудование.....	67
6.3. Расчет расходов по заработной плате персонала.....	68
6.4. Стоимость стенда.....	69
7. Заключение.....	71
Список используемых источников.....	72
Список сокращений.....	73
Отчёт о проделанной лабораторной работе.....	74

Введение

Капитальные затраты на систему электроснабжения в большой степени определяются заданной надежностью электроснабжения потребителей. Стремление обеспечить бесперебойное питание потребителей, отнесенных не только к особой и I категории, но и к II и III, приводит к 70 - 100 %-ному резервированию установленной мощности трансформаторов, сетей, коммутационной аппаратуры и т.д. Недогрузка трансформаторов в ряде случаев определяется схемой электроснабжения, требованиями высокой степени надежности питания потребителей электроэнергии. Так, например, часто крупный цех относят к I категории только потому, что в нем имеется несколько электроприемников этой категории.

При загрузке силового трансформатора на 30% нагрузочные потери примерно равны потерям холостого хода. В среднем на каждой трансформации теряется до 7% передаваемой мощности. Работа трансформатора в режиме холостого хода или близком к нему вызывает излишние потери электроэнергии не только в самом трансформаторе, но и по всей системе электроснабжения из-за низкого коэффициента мощности, что является большим недостатком, и влечет за собой увеличение затрат на электроэнергию.

После тщательного анализа данной проблемы было принято решение, осуществить модернизацию устаревшего стенда, представляющего собой модель двухтрансформаторной подстанции. А также произвести разработку системы автоматического управления, которая бы позволила управлять режимами работы двухтрансформаторных подстанций. В процессе модернизации была произведена замена устаревшего оборудования на новое, а также усовершенствование и упрощение цепей управления.

Для проведения лабораторных работ были разработаны и предложены методические указания как для ручного управления подстанцией, так и для автоматического режима работы. В методическом пособии приведена методика расчета параметров настройки схемы автоматического управления, которая имеет применение для трансформаторов любой мощности. В процессе проектирования были сняты экспериментальные данные доказывающие эффективность работы системы управления.

Для монтажа и наладки лабораторной установки в работе приведены монтажные схемы, возможные неисправности и пути их устранения.

Разработанный стенд поможет повысить уровень практических и теоретических навыков. Методическое пособие позволяет определить экономически целесообразные режимы работы для реальных трансформаторов, используемых в лабораторной установке и применить их на практике.

Модернизация лабораторного стенда проводилась творческим коллективом в состав которого входят студенты Окунь А.А и Дубровин О.Б. Работы проводились под руководством доцента, кандидата технических наук Герасимова Анатолия Игоревича. Идеи предложенные каждым из студентов внесли большой вклад в выполнение поставленной задачи.

1.Актуальность работы

До 2011 приём студентов на 1 курс ИГДГиГ ФГАОУ ВПО «СФУ» осуществлялся на специальность 140604 – «Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов» в соответствии с Государственным образовательным стандартом (ГОС) 140000 – Энергетика, энергетическое машиностроение и электротехника. В соответствии с ГОС на 5 курсе преподавалась специальная дисциплина ДС.Ф.5 – «Электрификация горных предприятий». Объем дисциплины представлен в таблице 1.1.

Таблица 1.1 - Объем дисциплины «Электрификация горных предприятий» и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего зачетных единиц (часов)	Семестр
		9
Общая трудоемкость дисциплины	4,86 (175)	4,86 (175)
Аудиторные занятия:	2,36 (85)	2,36 (85)
Лекции	1,4 (51)	1,4 (51)
Практические занятия (ПЗ)	0,5 (17)	0,5 (17)
Семинарские занятия (СЗ)	-	-
Лабораторные работы (ЛР)	0,5 (17)	0,5 (17)
Другие виды аудиторных занятий	-	-
Промежуточный контроль	Аттестации	Аттестации
Самостоятельная работа:	2,5 (90)	2,5 (90)
Изучение теоретического курса (ТО)	1,5 (49)	1,5 (49)
Курсовой проект (работа):	0,9 (35)	0,9 (35)
Расчетно-графические задания (РГЗ)	-	
Реферат	-	-
Задачи	-	-
Задания	-	-
Другие виды самостоятельной работы	0,2 (6)	0,2 (6)
Вид итогового контроля (зачет, экзамен)	Зачёт	Зачёт

По дисциплине выполнялись лабораторные работы (таблица 1.2).

Таблица 1.2 -Перечень лабораторных работ

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ, объем в часах
1	6	Исследование электрических сетей с режимом изолированной нейтраль. (2 часа)
2	7	Исследование удельного сопротивления грунта методом ступенчатого погружения электрода. (2 часа)
3	7	Исследование удельного сопротивления грунта методом вертикального электрического зондирования (ВЭЗ). (2 часа)
4	7	Исследование селективности трёхступенчатых защит в сети низкого напряжения. (2 часа)
5	2	Исследование электрического освещения объектов. (2 часа)
6	8	Исследование защиты от однофазных замыканий на землю на базе КРУ К-104М. (2 часа)
7	5	Изучение устройства комплектного высоковольтного К104М. (2 часа)
8	21	Исследование автоматических фидерных выключателей, магнитных пускателей, реле утечки и их совместной работы. (3 часа)

В 2011 г. введен новый стандарт по специальности 21.05.04 «Горное дело» специализации 21.05.04.0010 «Электрификация и автоматизация горного производства». Существенно изменились объёмы дисциплины (таблица 1.3): увеличилось число часов лабораторных занятий. В январе 2016 г. были подготовлены новые лабораторные работы представленные в таблице 1.4.

Таблица 1.3 - Объем дисциплины «Электроснабжение горного производства» и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего зачетных единиц (часов)	Семестры	
		9	10
Общая трудоемкость дисциплины	8 (288)	2,44 (88)	3,67 (132)
Аудиторные занятия:	3,28 (118)	1,42 (51)	1,42 (51)
Лекции	2,33 (84)	0,95 (34)	0,94 (28)
Практические занятия (ПЗ)	0,47 (17)	-	0,47 (14)

Продолжение таблицы 1.3

Семинарские занятия (СЗ)	-	-	
Лабораторные работы (ЛР)	0,47 (17)	0,47 (34)	-
Другие виды аудиторных занятий	-	-	
Промежуточный контроль	Аттестации	Аттестации	Аттестации
Самостоятельная работа:	3,72 (134)	1,03 (37)	1,42 (45)
Изучение теоретического курса (ТО)	2,69 (98)	1,03 (37)	1,42 (42)
Курсовой проект (работа):	1 (36)		
Расчетно-графические задания (РГЗ)	-		
Реферат	-	-	
Задачи	-	-	
Задания	-	-	
Экзамен			1 (36)
Другие виды самостоятельной работы			
Вид итогового контроля (зачет, экзамен)	1 (36) зач.экз	Зачет	1 (36) экз.

Таблица 1.4 - Перечень лабораторных работ «Электроснабжение горного производства» и виды учебной работы

№ п/п	№ раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ, объем в часах
1	6	Исследование электрических сетей с режимом изолированная нейтраль. (2 часа)
2	7	Исследование удельного сопротивления грунта методом ступенчатого погружения электрода. (2 часа)
3	7	Исследование удельного сопротивления грунта методом вертикального электрического зондирования (ВЭЗ). (2 часа)
4	7	Исследование селективности трёхступенчатых защит в сети низкого напряжения. (2 часа)
5	2	Исследование электрического освещения объектов. (2 часа)
6	8	Исследование защиты от однофазных замыканий на землю на базе КРУ К-104М. (2 часа). Изучение устройства комплектного высоковольтного К104М. (2 часа)

Продолжение таблицы 1.4

1	Исследование автоматических фидерных выключателей, магнитных пускателей, реле утечки и их совместной работы. (3 часа)
6	Исследование режимов работы двухтрансформаторных подстанций (3 часа)

Модернизация лабораторного стенда по дисциплине «Электроснабжение горных предприятий» является актуальным, так как количество часов на проведение лабораторных работ значительно увеличилось. Разработка стенда и методического пособия позволит более подробно изучить режимы работы двухтрансформаторных подстанций и получить ценные теоретические и практические навыки, а также позволит продолжить развитие лаборатории.

2. Общие технические и проектные решения по модернизации лабораторной работы по курсу «Электроснабжение горных предприятий»

2.1. Лаборатория по дисциплине «Электроснабжение горного производства»

Аудитория 109, в которой находится лаборатория, разделена на 3 помещения: аудитория 109а, коридор, аудитория 109б. Аудитория 109 находится в учебном корпусе "Института горного дела, геологии и геотехнологий" ФГАОУ ВО "СФУ" по адресу пер. Вузовский, 3. В аудитории 6 колонн, которые с перегородками и дверями условно делят её на 3 помещения. Лаборатория "Электроснабжение горного производства" размещается в помещении 109б и частично в коридоре.

В лаборатории находится 12 лабораторных установок, на которых можно проводить 16 лабораторных работ, из которых 4 лабораторные работы 4-х часовые, остальные 2-х часовые. Перечень лабораторных установок представлен в таблице 2.1.

Таблица 2.1- Перечень лабораторных установок по дисциплине «Электроснабжение горного производства»

1. Исследование электрических сетей с режимом изолированной нейтраль (IT)
2. Защита электроустановок сетей до 1000 В с режимами нейтрали TN-C и TN-S
3. УСТРОЙСТВО КОМПЛЕКТНОЕ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЕ СЕРИИ (КРУ) К-104М
4. Максимальная токовая защита и токовая отсечка силового трансформатора на базе КРУ К-104М
5. Исследование защиты от однофазных замыканий на землю на базе КРУ К-104М
6. Исследование приключательных пунктов и карьерных КРУ
7. Исследование автоматических фидерных выключателей (АФВ)
8. Исследование взрывобезопасного магнитного пускателя ПМВИР-41
9. Исследование взрывобезопасного магнитного пускателя ПВР-250
10. Исследование рудничного выключателя нормального исполнения ВРН-125
11. Исследование рудничного пускателя нормального исполнения ПРН-Б
12. Исследование аппарата осветительного АОШ-2,5

Электроснабжение лаборатории осуществляется по общеинститутской сети напряжением 380 В. с режимом нейтрали TN-C через распределительный шкаф ШР-1. План силовой сети лаборатории представлен на рисунке 2.1.

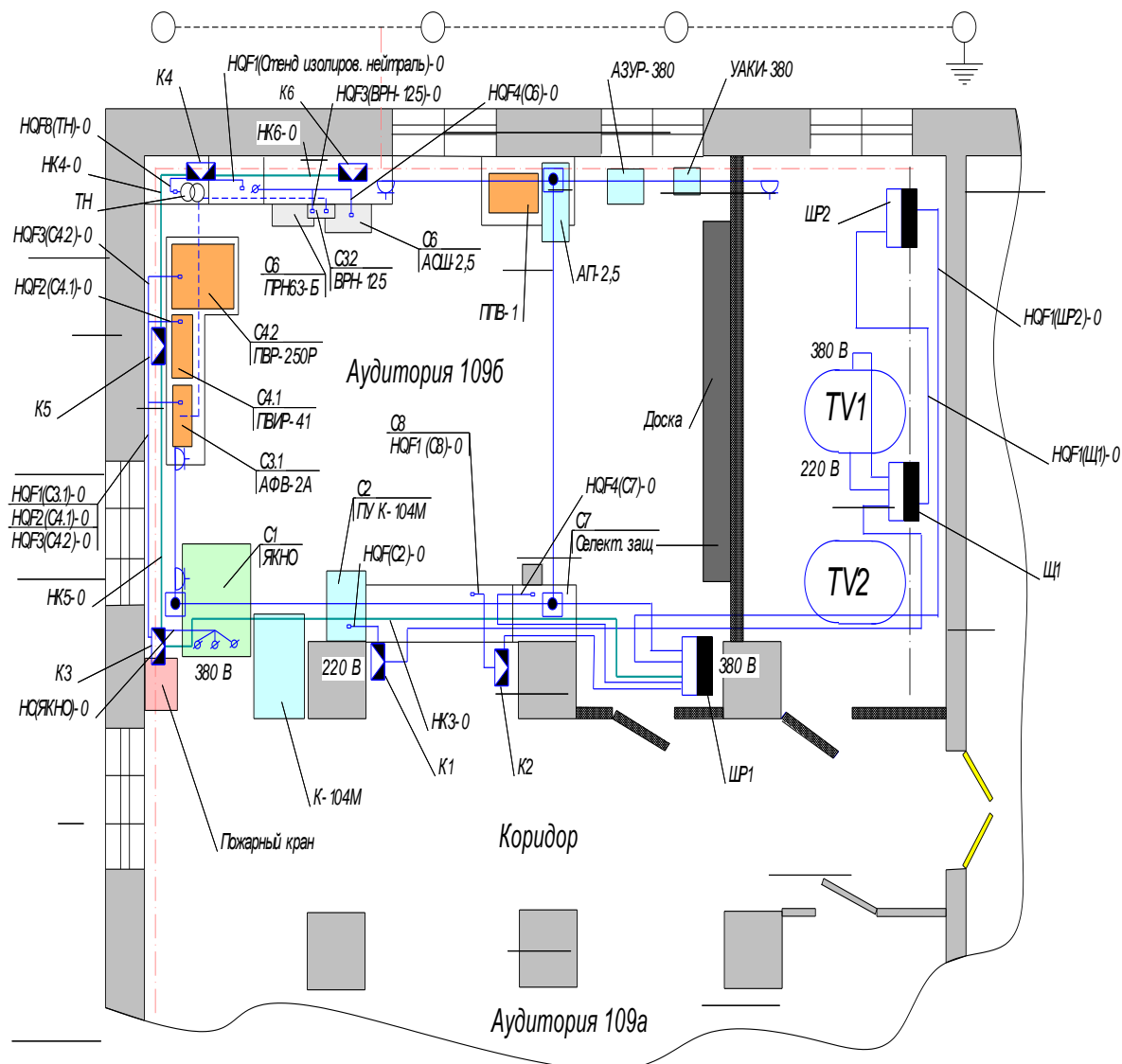


Рисунок 2.1 - План силовой сети аудитории 109б

От шкафа ШР-1 получают питание распределительные коробки К2–К6 и шкаф ШР2, находящийся в ограждении. От шкафа ШР2 питание поступает на щит Щ1, через который подключается трансформатор 380/220 В. Через щит Щ1 питание напряжением 220 В подаётся на распределительную коробку К1 и далее на лабораторную установку с высоковольтной ячейкой К-104М.

2.2 Лабораторный стенд «Исследование режимов работы двухтрансформаторной подстанции» до модернизации

Тщательно изучив перечень лабораторных работ и установок по дисциплине «Электроснабжение горного производства» было уставлено, что отсутствует возможность исследования режимов работы двухтрансформаторной подстанции. Поэтому было принято решение в качестве дипломной работы модернизировать устаревший лабораторный стенд, представляющий собой модель двухтрансформаторной подстанции. Внешний вид стенда до модернизации представлен на рисунке 2.2.



Рисунок 2.2 - Внешний вид стенда до модернизации.

Перечень оборудования лабораторной установки до модернизации представлен в таблице 2.2.

Лабораторная установка была демонтирована и находилась в разобранном состоянии, поэтому её эксплуатация была невозможна. Часть измерительных приборов и средств коммутации не функционировало. Высоковольтное оборудование было снято со стенда и находилась на хранении в складских помещениях.

Таблица 2.2 - Перечень оборудования лабораторного стенда до модернизации

№	Количество, шт.	Оборудование
1	2	Трансформатор силовой ИВ-4 1/380/36
2	1	Блок резисторов трехфазный КФ22М
3		Трехфазный автотрансформатор РНТ220-12
4	1	Реле тока РТ40/10 У4
5	1	РТ40/10 УХЛ4
6	1	Контактор КМ2312-18
7	1	Контактор КМ2311-18
8	2	Контактор ПМЕ-211
9	1	Реле времени РВ-248
10	2	Промежуточное реле РПУ-2-М3
11	3	Промежуточное реле РПУ-1
12	1	Частотомер D-340
13	1	Амперметр Э30 до 5А
14	1	Амперметр Э30 до 20А
15	1	Амперметр Э30 до 5А
16	1	Амперметр Э378 до 30А
17	1	Амперметр Э30 до 50А
18	1	Фазометр Д342
19	2	Вольтметр Э30
20	4	Трансформатор тока И54М
21	1	Счетчик реактивной мощности СРЗУ-И44
22	1	Счетчик активной мощности САЗУ-И670
23	3	Автомат А3114-7
24	1	Автомат АЕ2043-10
25	2	Автомат АП50-3МТ
26	1	Трансформатор напряжения ОСМ1-0.1

2.3. Определение частей лабораторной установки, требующих модернизации

Прежде чем начать модернизацию лабораторной установки, требуется определить основные части требующие улучшения. Были выявлены критерии, по которым будет осуществляться усовершенствование лабораторного стенда. Список составленных критериев по модернизации установки представлен ниже:

- оборудование лабораторного стенда должно соответствовать современным технологиям;
- обеспечение простоты и надежности конструкции;
- информативность лабораторного стенда;
- рабочее пространство перед стендом не должно ограничивать количество студентов при проведении лабораторной работы;
- безопасность при проведении работы;
- простота монтажа и наладки лабораторного стенда.
- соблюдение единого стиля лаборатории.

Исходя из этих критериев были выделены следующие недостатки:

- ненадежная конструкция лицевой панели стенда;
- устаревшие измерительные приборы и коммутационные аппараты;
- отсутствие маркировок в цепях трехфазного тока и в цепях управления, что значительно усложняет монтаж и наладку установки;
- открытый доступ к токоведущим частям;
- отсутствие принципиальной схемы на лицевой панели стенда, что ухудшает понимание происходящих процессов в ходе работы;
- в связи с долгим сроком эксплуатации изоляция на соединительных проводах частично была нарушена.

Из перечисленного выше можно сделать вывод, что лабораторный стенд требует ряд доработок и нововведений.

2.4. Мероприятия по модернизации лабораторного стенда

В процессе модернизации были выполнены следующие работы:

Был осуществлен демонтаж лабораторного стенда. С учетом размеров оборудования произведена разработка макета лицевой панели стенда рисунок 2.3, использование которого позволило увеличить рабочее пространство.

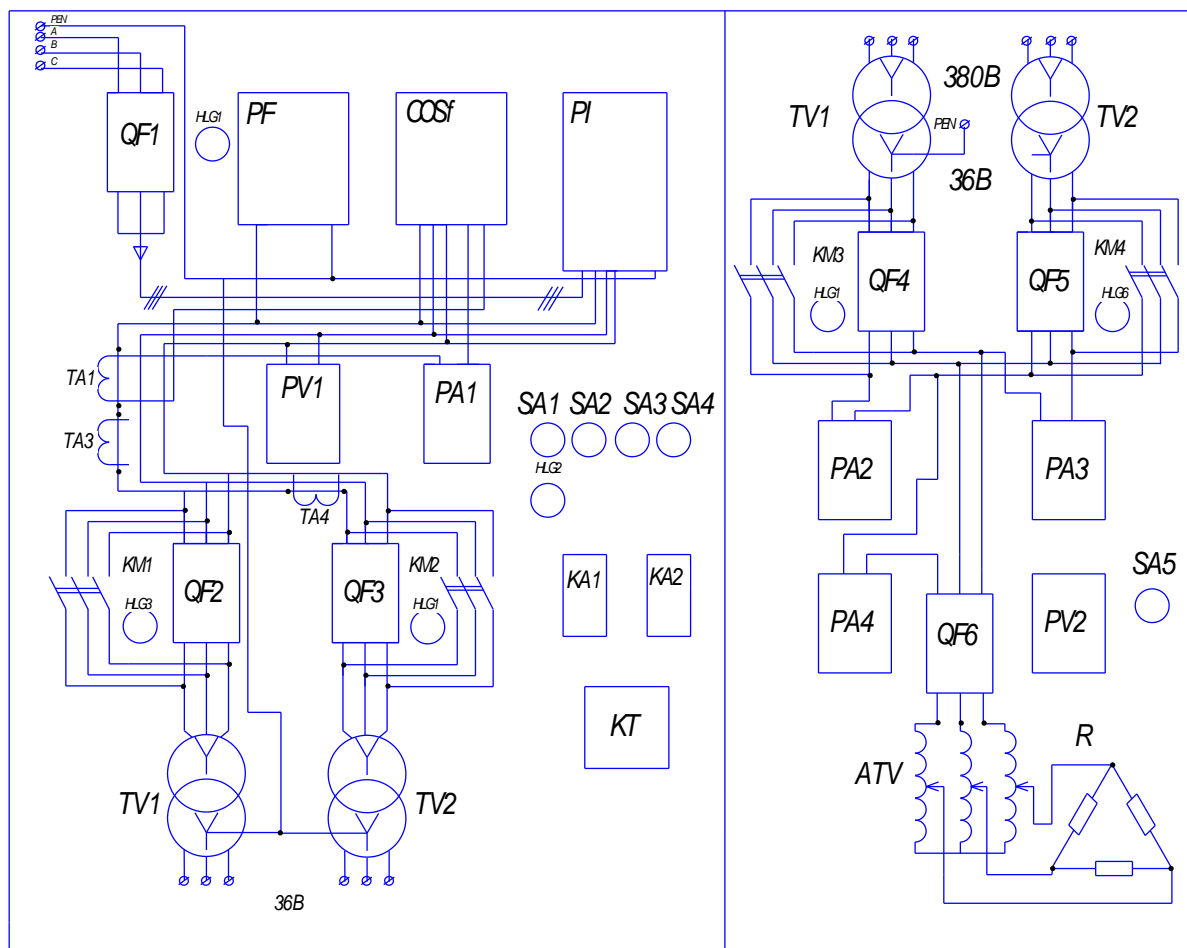


Рисунок 2.3 – макет лицевой панели стенда

Был сконструирован корпус лабораторного стенда с применением металлических уголков и листов ЛДСП. Стенд изготовлен в белом цвете чтоб не нарушать общий дизайн лаборатории.

Питание лабораторного стенда было решено осуществлять от коробки К2, которая получает электроэнергию напряжением 380 В от шкафа ШР1. Однолинейная схема шкафа ШР1 представлена на рисунке 2.4.

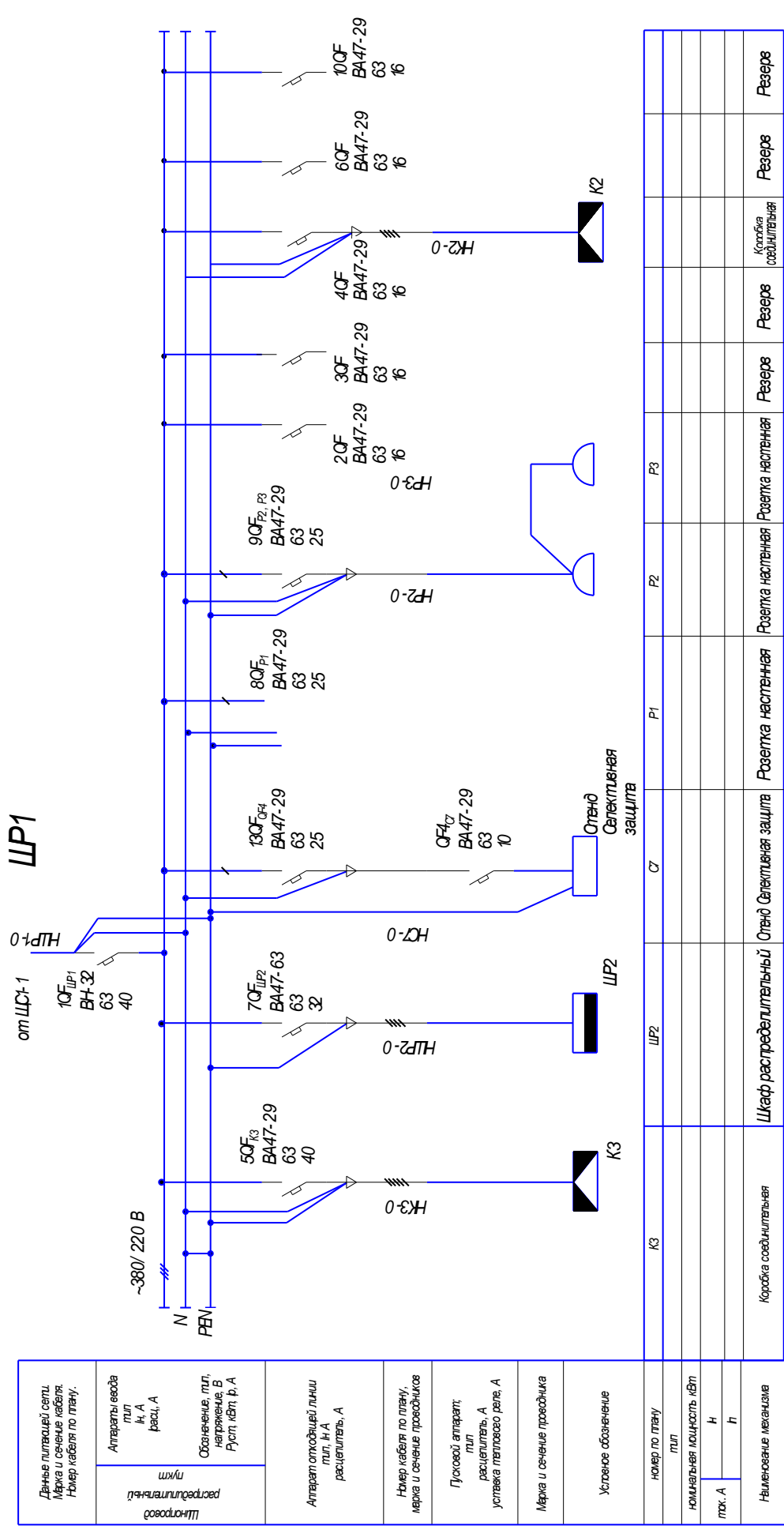


Рисунок 2.4 – Однолинейная схема шкафа ЩР1

Были приобретены новые измерительные приборы (амперметры и вольтметры прямого включения, счетчик активной и реактивной электроэнергии) и коммутационные аппараты. Перечень приобретенного оборудования представлен в таблице 2.3.

Таблица 2.3- Перечень приобретенного оборудования

Наименование материала	Ед. изм.	Количество
Амперметр Э365	шт.	4
Вольтметр Э377	шт.	2
Счетчик Меркурий 230ART01	шт.	1
Лампочки Цветные -220В	шт.	6
Автомат ВА-47-29	шт.	6

Был произведен монтаж оборудования. В процессе монтажа были промаркированы соединительные провода трехфазных цепей и цепей измерения. На лицевую часть стенда была нанесена принципиальная схема электроустановки.

3. Модель подстанции – лабораторная установка «Исследование режимов работы двухтрансформаторных подстанций»

3.1 Описание конструкции лабораторной установки

Стенд «Исследование режимов работы двухтрансформаторных подстанций». Рабочее место - СФУ, Институт горного дела, геологии и геотехнологии, учебный корпус, кафедра ЭГМП, аудитория № 109 б.

Внешний вид лицевой панели стенда «показан на рисунке 3.1.



Рисунок 3.1 – Внешний вид лицевой панели стенда «Исследование режимов работы двухтрансформаторных подстанций»

На рисунке 3.2 показан внешний вид обратной стороны панели стенда «Исследование режимов работы двухтрансформаторных подстанций»



Рисунок 3.2 – внешний вид обратной стороны панели стенда «Исследование режимов работы двухтрансформаторных подстанций»

Стенд изготовлен из современных экологически чистых материалов.

Лицевая панель стенда представляет собой лист ЛДСП21 закрепленный в металлическом каркасе. Лицевая панель служит для установки измерительных приборов, выключателей, элементов схемы управления. Лицевая панель

состоит из двух частей, одна из которых может откидываться для монтажа и наладки трехфазных цепей и цепей управления, она имеет размеры 1080x1380мм. Вторая часть стационарная и имеет размеры 714x1380мм. Общие габаритные размеры лицевой панели стенда 1794x1380мм.

На лицевой панели управления стенда «Исследование режимов работы двухтрансформаторных подстанций» расположены:

- 1) Автоматические выключатели $QF1, QF2, QF3, QF4, QF5, QF6$;
- 2) Амперметры $PA1, PA2, PA3, PA4$;
- 3) Вольтметры $PV1, PV2$;
- 4) Реле тока $KA1, KA2$ (РТ40/1);
- 5) Реле времени KT ;
- 6) Переключатели ($SA2, SA3, SA4, SA5$);
- 7) Тумблер $SA1$;
- 8) Лампы сигнализации (HLG);

На внутренней части лицевой панели расположены:

- 1) Контактор ПМЕ 211
- 2) Промежуточные реле $KL1, KL2, KL3, KL4, KL5$
- 3) Трансформаторы тока $TA3, TA4$.

Так же с задней стороны лицевой панели расположен стеллаж для оборудования, имеющего большой вес. На данном стеллаже установлены:

- 1) Два трехфазных понижающих трансформатора;
- 2) Трехфазный автотрансформатор
- 3) Блок резисторов

Полный перечень оборудования лабораторной представлен в таблице 3.1.

С лицевой стороны доступ к токоведущим частям полностью ограничен конструктивным исполнением стенда из изоляционного материала. Все токоведущие части стендов выполнены в двойной изоляции. С тыльной стороны расположено железное ограждение в виде решетки.

Помещение, в котором установлены стенды, имеет окрашенные в светло-бежевый цвет стены. Пол – деревянный, покрытый линолеумом, способ уборки - влажный.

Система отопления - централизованное, вид теплоносителя - горячая вода до 85⁰С.

Помещение, в котором установлены стенды имеет температуру окружающего воздуха +25⁰С при относительной влажности 45%. Вентиляция помещения - естественная. С помощью окон обеспечивается кратность

воздухообмена при скорости движения воздуха до 0,5 м/с согласно ГОСТ 30494.

Таблица 3.1 – перечень оборудования лабораторного стенда

Наименование оборудования	Количество, штук	Модель оборудования
Трехфазный понижающий трансформатор	2	ИВ-4 1/380/36 УХЛ2
Трехфазный автотрансформатор	1	РНТ-220-12
Блок резисторов трехфазный	1	КФ22-М
Автоматический выключатель	6	ВА47-29
Трансформатор тока	2	И54М
Контактор	4	ПМЕ 211
Амперметр прямого включения	4	Э365
Вольтметр прямого включения	2	Э377
Фазометр	1	Д342
Частотомер	1	Д340
Счетчик активной реактивной электроэнергии	1	Меркурий 230 ART01
Токовое реле	2	РТ40/10
Реле промежуточное	5	РПУ2-М3
Реле времени	1	РВ245
Лампа сигнальная	6	AD-22DS
Тумблер двухпозиционный	1	1221
Переключатель двухпозиционный	4	ПС-22

С лицевой стороны доступ к токоведущим частям полностью ограничен конструктивным исполнением стенда из изоляционного материала. Все токоведущие части стендов выполнены в двойной изоляции. С тыльной стороны расположено железное ограждение в виде решетки.

Помещение, в котором установлены стенды, имеет окрашенные в светло-бежевый цвет стены. Пол – деревянный, покрытый линолеумом, способ уборки - влажный.

Система отопления - централизованное, вид теплоносителя - горячая вода до 85⁰С.

Помещение, в котором установлены стенды имеет температуру окружающего воздуха +25⁰С при относительной влажности 45%. Вентиляция помещения - естественная. С помощью окон обеспечивается кратность воздухообмена при скорости движения воздуха до 0,5 м/с согласно ГОСТ 30494.

3.2 Назначение и принцип работы лабораторной установки

Стенд предназначен для проведения лабораторной работы, по исследованию режимов работы двухтрансформаторной подстанции, принципиальная схема лабораторной установки представлена на рисунке 3.3. Проведение данной лабораторной работы позволяет:

Изучить как изменяются потери мощности при различной нагрузке трансформаторов, работающих как по отдельности, так и параллельно.

Изучить принцип работы системы автоматического управления режимами работы трансформаторов.

Выбрать наиболее целесообразный режим работы для модели подстанции.

Рассчитать параметры работы схемы автоматического управления и применить на практике.

Лабораторная установка «Исследование режимов работы двухтрансформаторных подстанций» получает питание от коробки К2, в свою очередь коробка К2 получает электроэнергию напряжением 380В. От шкафа ШР1. Однолинейная схема шкафа ШР1 представлена на рисунке 3.4.

Принципиальная схема лабораторной установки представлена на рисунке

Трансформаторы *TV1* и *TV2* могут работать по отдельности, так же могут быть включены на параллельную работу. Они работают на общую активно индуктивную нагрузку, которая состоит из автотрансформатора *ATV* и блока резисторов КФ22-М. При вращении регулировочной рукоятки автотрансформатора *ATV* изменяется нагрузка в связи с изменением его коэффициента трансформации.

Электроэнергия напряжением 380 В. подводится кабелем от коробки К2 через выключатель *QF1* к лабораторному стенду. При включении выключателя *QF1* в цепях измерения стенда появится напряжение, загорается сигнальная лампа *HLG1*. На измерительных приборах со стороны высокого напряжения трансформаторов *TV1* и *TV2* отобразятся показания измеряемых величин: частота, напряжение, коэффициент мощности. Трансформатор *TV1*

подключаются в работу с высокой стороны выключателем $QF2$. Соответственно $TV2$ подключается в работу с высокой стороны выключателем $QF3$. При включении трансформаторов на параллельную работу включаются одновременно два выключателя $QF2$ и $QF3$.

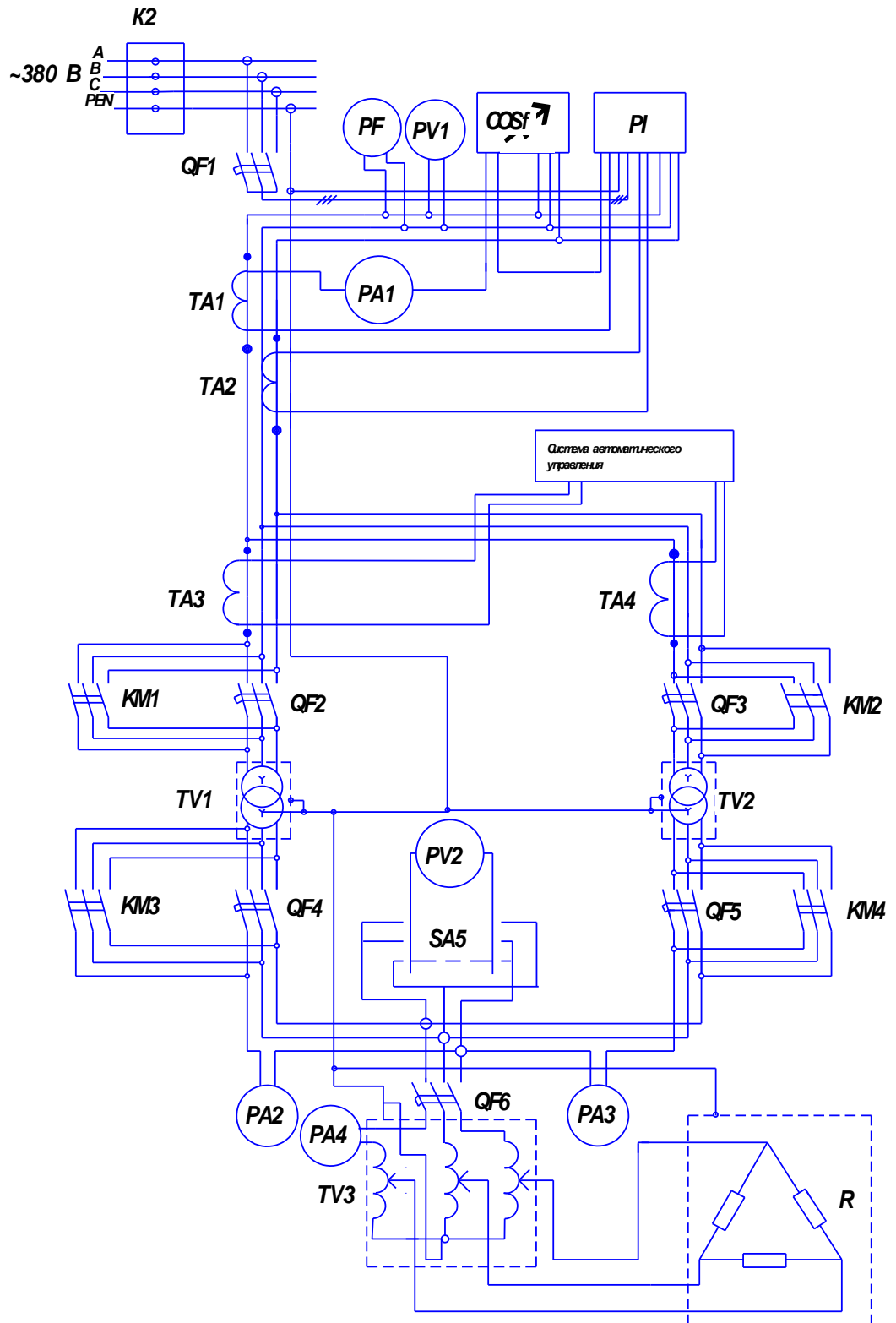


Рисунок 3.3 – Принципиальная схема лабораторной установки

Нагрузка трансформаторов подключается выключателями $QF4$, $QF5$, $QF6$. При работе под нагрузкой одного трансформатора $TV1$ должны быть включены выключатели $QF3$, $QF4$, $QF6$. При работе под нагрузкой трансформатора $TV2$ должны быть включены выключатели $QF3$, $QF5$, $QF6$. Следует учесть, если работа осуществляется на одном трансформаторе, то питание второго трансформатора должно быть отключено, так как это повлечет за собой дополнительные потери холостого хода ненагруженного трансформатора. При включении выключателя $QF4$ или $QF5$ вольтметр $PV2$ отображает значение напряжения вторичной цепи, при помощи переключателя $SA5$ можно измерить линейные напряжения между разными фазами. При параллельной работе трансформаторов $TV1$ и $TV2$ под нагрузкой должны быть включены все выключатели.

Для увеличения нагрузки ручка автотрансформатора ATV вращается по часовой стрелке, при этом, растёт ток нагрузки, который можно отслеживать по амперметрам. При работе трансформатора $TV1$ свои показания показывают амперметры $PA2$ и $PA4$, при работе $TV2$ амперметры $PA3$ и $PA4$, при параллельной работе трансформаторов каждый амперметр отображает показания.

Номинальный вторичный ток одного трансформатора $TV1$ и $TV2$ составляет 16А. при нагрузках соответственно 0%; 25%; 50%; 75%; 100%; 125% измеряемые токи каждого трансформатора соответственно должны быть 0А; 4А; 8А; 12А; 16А; 20А. При параллельной работе двух трансформаторов с указанными нагрузками общий суммарный ток должен быть соответственно в два раза больше.

3.3 Технико-экономическое обоснование вариантов выбора трансформаторов

Оптимальное число трансформаторов и их мощность находят по минимуму приведенных затрат (тыс. руб):

$$Z = \sum_{i=1}^N (E_H + E_{ai}) K_i + C_0 \Delta W_a n 10^{-3} \quad (3.1)$$

где N - число трансформаторов и коммутационных аппаратов;
 E_H - коэффициент эффективности капитальных вложений ($E_H=0,12$);
 E_{ai} - норма амортизационных отчислений;
 K_i - стоимость i -го трансформатора или коммутационного аппарата, тыс.руб;
 C_0 - стоимость одного кВт.ч электроэнергии;
 ΔW_a - годовые потери электроэнергии (кВт.ч) в одном трансформаторе;
 n - число трансформаторов.

$$\Delta W_a = \Delta P'_{xx} T_0 + \Delta P'_{кз} \beta^2 T_p \quad (3.2)$$

где $\Delta P'_{xx}$ и $\Delta P'_{кз}$ приведенные потери мощности холостого хода и короткого замыкания в трансформаторе, кВт;
 T_0 - число часов присоединения трансформатора к сети в течение года $T_0 = 2400$ ч, при двух — $T_0 = 5400$ ч; при трех — $T_0 = 8400$ ч.;
 T_p - годовое число часов максимума;
 β - коэффициент загрузки трансформатора:

$$\beta = \frac{S_{расч}}{S_T n} \quad (3.3)$$

$\Delta P'_{xx}$ - приведенные активные потери холостого хода, кВт:

$$\Delta P'_{xx} = \Delta P_{xx} + k_{пп} \Delta Q_{xx} \quad (3.4)$$

ΔQ_{xx} - реактивные потери мощности холостого хода, квар:

$$\Delta Q_{xx} = S_H \frac{I_{xx}\%}{100} \quad (3.5)$$

Приведенные активные потери короткого замыкания, кВт:

$$\Delta P'_{кз} = \Delta P_{кз} + k_{пп} \Delta Q_{кз} \quad (3.6)$$

где $\Delta Q_{кз}$ – реактивные потери мощности короткого замыкания, квар:

$$\Delta Q_{кз} = S_H \frac{U_{кз}\%}{100} \quad (3.7)$$

$k_{пп}$ - коэффициент повышения потерь активной мощности в связи с передачей реактивной мощности приведены в таблице 4.1.

Таблица 3.2- Коэффициент изменения потерь в трансформаторе

Характеристика трансформатора и системы электроснабжения	кпп, кВт/квар	
	Трансформаторы, питающиеся непосредственно от шин подстанции	0,02
Сетевые трансформаторы, питающиеся от электростанций на генераторном напряжении	0,07	0,04
Понижающие трансформаторы 110/35/10 кВ, питающиеся от районных сетей	0,1	0,06
Понижающие трансформаторы 6 - 10/0,4 кВ, питающиеся от районных сетей	0,15	0,1

Полученные величины приведенных активных потерь активной мощности $\Delta P'_{xx}$ и $\Delta P'_{кз}$ подставляют в выражение для ΔW_a и далее определяют приведенные затраты Z .

В упрощенных расчетах допускается выбирать трансформаторы по приведенным потерям активной мощности в них:

$$\Delta P'_T = \Delta P'_{xx} + \beta^2 \Delta P'_{кз} \quad (3.8)$$

Выбирают вариант с наименьшими $\Delta P'_m$
 $\Delta P'_m$ зависят от коэффициента загрузки β и числа трансформаторов (см. рисунок 2).

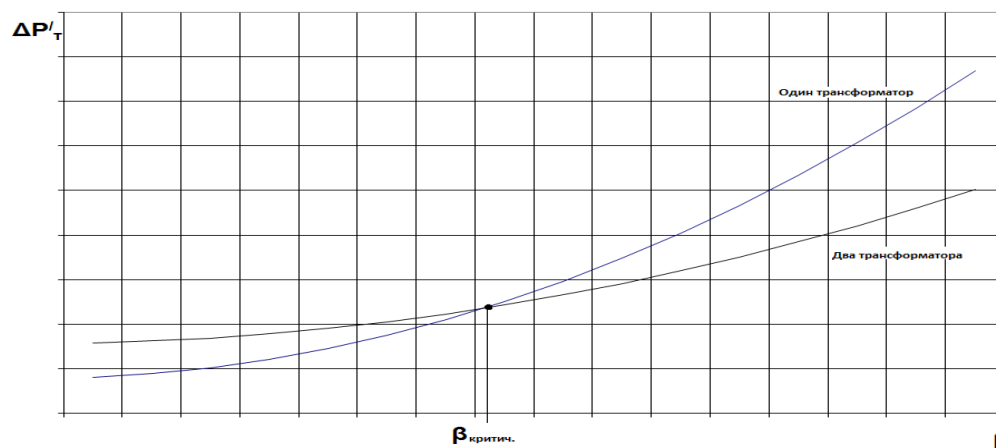


Рисунок 3.5 - Зависимость приведенных потерь активной мощности в трансформаторах от их загрузки и числа

Величина критического коэффициента загрузки $\beta_{\text{критич.}}$, при котором необходимо перейти на работу двух трансформаторов определяется из выражения:

$$\Delta P_{\text{ХХ}} + \kappa_{\text{ПП}} Q_{\text{ХХ}} + \beta^2 (\Delta P_{\text{КЗ}} + \kappa_{\text{ПП}} \Delta Q_{\text{КЗ}}) = 2 [\Delta P_{\text{ХХ}} + \kappa_{\text{ПП}} Q_{\text{ХХ}} + \frac{\beta^2}{4} (\Delta P_{\text{КЗ}} + \kappa_{\text{ПП}} \Delta Q_{\text{КЗ}})] \quad (3.9)$$

откуда

$$\beta = \beta_{\text{критич}} = \sqrt{2} \sqrt{\frac{\Delta P_{\text{ХХ}} + \kappa_{\text{ПП}} Q_{\text{ХХ}}}{\Delta P_{\text{КЗ}} + \kappa_{\text{ПП}} \Delta Q_{\text{КЗ}}}} \quad (3.10)$$

В таблице 3.3. приведены расчеты потерь активной мощности в трансформаторах типа ТМ для мощностей от 25 кВА до 2500 кВА. Именно такие трансформаторы применяются на подстанциях в цехах предприятий. Потеря мощности определены для однострансформаторных и для двухтрансформаторных подстанций при коэффициенте загрузки от 0 до 1.6.

По расчетным значениям приведенных потерь активной мощности в трансформаторах в зависимости от коэффициента загрузки были построены кривые для однострансформаторных и двухтрансформаторных подстанций. Пересечения кривых позволили получить точки коэффициента загрузки трансформаторов, при которых целесообразно переходить на иное число трансформаторов

Построение кривых позволили обнаружить, что с ростом мощности трансформаторов оптимальный коэффициент загрузки, при котором следует переключаться на иное число трансформаторов уменьшается. По зависимостям коэффициента загрузки от мощности трансформаторов было получено уравнение регрессии. Результаты приведены в таблице 3.3.

Таблица 3.3- Расчет потери активной мощности в одном и в двух трансформаторах подстанции

	S _{нт} кВт	ΔR _л кВт	ΔQ _ж квар	ΔR _{кз} кВт	ΔQ _{кз} квар	U _{кз} %	I _л %	ΔP _т кВт	ΔR _{л.прив} кВт	к _з	к _{оп}	ΔR _{к.прив} кВт	ΔP _{т.прив} кВт	Для 2-х трансф. ΔP _{т.прив} кВт
ТМ-25	25	0,17	0,8	0,6	1,125	4,5	3,2	0,17	0,29	0	0,15	0,769	0,290	0,580
ТМ-25	25	0,17	0,8	0,6	1,125	4,5	3,2	0,176	0,29	0,1	0,15	0,769	0,298	0,584
ТМ-25	25	0,17	0,8	0,6	1,125	4,5	3,2	0,194	0,29	0,2	0,15	0,769	0,321	0,595
ТМ-25	25	0,17	0,8	0,6	1,125	4,5	3,2	0,224	0,29	0,3	0,15	0,769	0,359	0,615
ТМ-25	25	0,17	0,8	0,6	1,125	4,5	3,2	0,266	0,29	0,4	0,15	0,769	0,413	0,642
ТМ-25	25	0,17	0,8	0,6	1,125	4,5	3,2	0,32	0,29	0,5	0,15	0,769	0,482	0,676
ТМ-25	25	0,17	0,8	0,6	1,125	4,5	3,2	0,386	0,29	0,6	0,15	0,769	0,567	0,718
ТМ-25	25	0,17	0,8	0,6	1,125	4,5	3,2	0,464	0,29	0,7	0,15	0,769	0,667	0,768
ТМ-25	25	0,17	0,8	0,6	1,125	4,5	3,2	0,554	0,29	0,8	0,15	0,769	0,782	0,826
ТМ-25	25	0,17	0,8	0,6	1,125	4,5	3,2	0,656	0,29	0,9	0,15	0,769	0,913	0,891
ТМ-25	25	0,17	0,8	0,6	1,125	4,5	3,2	0,77	0,29	1	0,15	0,769	1,059	0,964
ТМ-25	25	0,17	0,8	0,6	1,125	4,5	3,2	0,896	0,29	1,1	0,15	0,769	1,220	1,045
ТМ-25	25	0,17	0,8	0,6	1,125	4,5	3,2	1,034	0,29	1,2	0,15	0,769	1,397	1,134
ТМ-25	25	0,17	0,8	0,6	1,125	4,5	3,2	1,184	0,29	1,3	0,15	0,769	1,589	1,230
ТМ-25	25	0,17	0,8	0,6	1,125	4,5	3,2	1,346	0,29	1,4	0,15	0,769	1,797	1,333
ТМ-25	25	0,17	0,8	0,6	1,125	4,5	3,2	1,52	0,29	1,5	0,15	0,769	2,020	1,445
ТМ-25	25	0,17	0,8	0,6	1,125	4,5	3,2	1,706	0,29	1,6	0,15	0,769	2,258	1,564
ТМ-40	40	0,24	1,2	0,88	1,8	4,5	3	0,24	0,42	0	0,15	1,150	0,420	0,840
ТМ-40	40	0,24	1,2	0,88	1,8	4,5	3	0,2488	0,42	0,1	0,15	1,150	0,432	0,846
ТМ-40	40	0,24	1,2	0,88	1,8	4,5	3	0,2752	0,42	0,2	0,15	1,150	0,466	0,863
ТМ-40	40	0,24	1,2	0,88	1,8	4,5	3	0,3192	0,42	0,3	0,15	1,150	0,524	0,892
ТМ-40	40	0,24	1,2	0,88	1,8	4,5	3	0,3808	0,42	0,4	0,15	1,150	0,604	0,932
ТМ-40	40	0,24	1,2	0,88	1,8	4,5	3	0,46	0,42	0,5	0,15	1,150	0,708	0,984
ТМ-40	40	0,24	1,2	0,88	1,8	4,5	3	0,5568	0,42	0,6	0,15	1,150	0,834	1,047
ТМ-40	40	0,24	1,2	0,88	1,8	4,5	3	0,6712	0,42	0,7	0,15	1,150	0,984	1,122
ТМ-40	40	0,24	1,2	0,88	1,8	4,5	3	0,8032	0,42	0,8	0,15	1,150	1,156	1,208
ТМ-40	40	0,24	1,2	0,88	1,8	4,5	3	0,9528	0,42	0,9	0,15	1,150	1,352	1,306
ТМ-40	40	0,24	1,2	0,88	1,8	4,5	3	1,12	0,42	1	0,15	1,150	1,570	1,415
ТМ-40	40	0,24	1,2	0,88	1,8	4,5	3	1,3048	0,42	1,1	0,15	1,150	1,812	1,536
ТМ-40	40	0,24	1,2	0,88	1,8	4,5	3	1,5072	0,42	1,2	0,15	1,150	2,076	1,668
ТМ-40	40	0,24	1,2	0,88	1,8	4,5	3	1,7272	0,42	1,3	0,15	1,150	2,364	1,812
ТМ-40	40	0,24	1,2	0,88	1,8	4,5	3	1,9648	0,42	1,4	0,15	1,150	2,674	1,967
ТМ-40	40	0,24	1,2	0,88	1,8	4,5	3	2,22	0,42	1,5	0,15	1,150	3,008	2,134
ТМ-40	40	0,24	1,2	0,88	1,8	4,5	3	2,4928	0,42	1,6	0,15	1,150	3,364	2,312
ТМ-63	63	0,36	1,764	1,28	2,835	4,5	2,8	0,36	0,6246	0	0,15	1,705	0,625	1,249
ТМ-63	63	0,36	1,764	1,28	2,835	4,5	2,8	0,3728	0,6246	0,1	0,15	1,705	0,642	1,258
ТМ-63	63	0,36	1,764	1,28	2,835	4,5	2,8	0,4112	0,6246	0,2	0,15	1,705	0,693	1,283
ТМ-63	63	0,36	1,764	1,28	2,835	4,5	2,8	0,4752	0,6246	0,3	0,15	1,705	0,778	1,326
ТМ-63	63	0,36	1,764	1,28	2,835	4,5	2,8	0,5648	0,6246	0,4	0,15	1,705	0,897	1,386
ТМ-63	63	0,36	1,764	1,28	2,835	4,5	2,8	0,68	0,6246	0,5	0,15	1,705	1,051	1,462
ТМ-63	63	0,36	1,764	1,28	2,835	4,5	2,8	0,8208	0,6246	0,6	0,15	1,705	1,238	1,556
ТМ-63	63	0,36	1,764	1,28	2,835	4,5	2,8	0,9872	0,6246	0,7	0,15	1,705	1,460	1,667
ТМ-63	63	0,36	1,764	1,28	2,835	4,5	2,8	1,1792	0,6246	0,8	0,15	1,705	1,716	1,795
ТМ-63	63	0,36	1,764	1,28	2,835	4,5	2,8	1,3968	0,6246	0,9	0,15	1,705	2,006	1,940
ТМ-63	63	0,36	1,764	1,28	2,835	4,5	2,8	1,64	0,6246	1	0,15	1,705	2,330	2,102
ТМ-63	63	0,36	1,764	1,28	2,835	4,5	2,8	1,9088	0,6246	1,1	0,15	1,705	2,688	2,281
ТМ-63	63	0,36	1,764	1,28	2,835	4,5	2,8	2,2032	0,6246	1,2	0,15	1,705	3,080	2,477
ТМ-63	63	0,36	1,764	1,28	2,835	4,5	2,8	2,5232	0,6246	1,3	0,15	1,705	3,506	2,690
ТМ-63	63	0,36	1,764	1,28	2,835	4,5	2,8	2,8688	0,6246	1,4	0,15	1,705	3,967	2,920
ТМ-63	63	0,36	1,764	1,28	2,835	4,5	2,8	3,24	0,6246	1,5	0,15	1,705	4,461	3,168
ТМ-63	63	0,36	1,764	1,28	2,835	4,5	2,8	3,6368	0,6246	1,6	0,15	1,705	4,990	3,432

Продолжение таблицы 3.3

	S _{яг} кВт	ΔP _{лх} кВт	ΔQ _{жк} квар	ΔP _{кз} кВт	ΔQ _{кз} квар	U _{кз} %	I _{лх} %	ΔP _г кВт	ΔP _{лх} прив кВт	к _з	к _{оп}	ΔP _{кз} прив кВт	ΔP _г прив кВт	Для 2-х трансф. ΔP _г прив кВт
TM-100	100	0,49	2,6	1,97	4,5	4,5	2,6	0,49	0,88	0	0,15	2,645	0,880	1,760
TM-100	100	0,49	2,6	1,97	4,5	4,5	2,6	0,5097	0,88	0,1	0,15	2,645	0,906	1,773
TM-100	100	0,49	2,6	1,97	4,5	4,5	2,6	0,5688	0,88	0,2	0,15	2,645	0,986	1,813
TM-100	100	0,49	2,6	1,97	4,5	4,5	2,6	0,6673	0,88	0,3	0,15	2,645	1,118	1,879
TM-100	100	0,49	2,6	1,97	4,5	4,5	2,6	0,8052	0,88	0,4	0,15	2,645	1,303	1,972
TM-100	100	0,49	2,6	1,97	4,5	4,5	2,6	0,9825	0,88	0,5	0,15	2,645	1,541	2,091
TM-100	100	0,49	2,6	1,97	4,5	4,5	2,6	1,1992	0,88	0,6	0,15	2,645	1,832	2,236
TM-100	100	0,49	2,6	1,97	4,5	4,5	2,6	1,4553	0,88	0,7	0,15	2,645	2,176	2,408
TM-100	100	0,49	2,6	1,97	4,5	4,5	2,6	1,7508	0,88	0,8	0,15	2,645	2,573	2,606
TM-100	100	0,49	2,6	1,97	4,5	4,5	2,6	2,0857	0,88	0,9	0,15	2,645	3,022	2,831
TM-100	100	0,49	2,6	1,97	4,5	4,5	2,6	2,46	0,88	1	0,15	2,645	3,525	3,083
TM-100	100	0,49	2,6	1,97	4,5	4,5	2,6	2,8737	0,88	1,1	0,15	2,645	4,080	3,360
TM-100	100	0,49	2,6	1,97	4,5	4,5	2,6	3,3268	0,88	1,2	0,15	2,645	4,689	3,664
TM-100	100	0,49	2,6	1,97	4,5	4,5	2,6	3,8193	0,88	1,3	0,15	2,645	5,350	3,995
TM-100	100	0,49	2,6	1,97	4,5	4,5	2,6	4,3512	0,88	1,4	0,15	2,645	6,064	4,352
TM-100	100	0,49	2,6	1,97	4,5	4,5	2,6	4,9225	0,88	1,5	0,15	2,645	6,831	4,736
TM-100	100	0,49	2,6	1,97	4,5	4,5	2,6	5,5332	0,88	1,6	0,15	2,645	7,651	5,146
TM-160	160	0,73	4,16	2,65	7,2	4,5	2,4	0,73	1,354	0	0,15	3,730	1,354	2,708
TM-160	160	0,73	4,16	2,65	7,2	4,5	2,4	0,7565	1,354	0,1	0,15	3,730	1,391	2,727
TM-160	160	0,73	4,16	2,65	7,2	4,5	2,4	0,836	1,354	0,2	0,15	3,730	1,503	2,783
TM-160	160	0,73	4,16	2,65	7,2	4,5	2,4	0,9685	1,354	0,3	0,15	3,730	1,690	2,876
TM-160	160	0,73	4,16	2,65	7,2	4,5	2,4	1,154	1,354	0,4	0,15	3,730	1,951	3,006
TM-160	160	0,73	4,16	2,65	7,2	4,5	2,4	1,3925	1,354	0,5	0,15	3,730	2,287	3,174
TM-160	160	0,73	4,16	2,65	7,2	4,5	2,4	1,684	1,354	0,6	0,15	3,730	2,697	3,379
TM-160	160	0,73	4,16	2,65	7,2	4,5	2,4	2,0285	1,354	0,7	0,15	3,730	3,182	3,622
TM-160	160	0,73	4,16	2,65	7,2	4,5	2,4	2,426	1,354	0,8	0,15	3,730	3,741	3,902
TM-160	160	0,73	4,16	2,65	7,2	4,5	2,4	2,8765	1,354	0,9	0,15	3,730	4,375	4,219
TM-160	160	0,73	4,16	2,65	7,2	4,5	2,4	3,38	1,354	1	0,15	3,730	5,084	4,573
TM-160	160	0,73	4,16	2,65	7,2	4,5	2,4	3,9365	1,354	1,1	0,15	3,730	5,867	4,965
TM-160	160	0,73	4,16	2,65	7,2	4,5	2,4	4,546	1,354	1,2	0,15	3,730	6,725	5,394
TM-160	160	0,73	4,16	2,65	7,2	4,5	2,4	5,2085	1,354	1,3	0,15	3,730	7,658	5,860
TM-160	160	0,73	4,16	2,65	7,2	4,5	2,4	5,924	1,354	1,4	0,15	3,730	8,665	6,363
TM-160	160	0,73	4,16	2,65	7,2	4,5	2,4	6,6925	1,354	1,5	0,15	3,730	9,747	6,904
TM-160	160	0,73	4,16	2,65	7,2	4,5	2,4	7,514	1,354	1,6	0,15	3,730	10,903	7,482
TM-250	250	0,945	4,16	3,7	11,25	4,5	2,3	0,982	1,569	0,1	0,15	5,388	1,623	3,165
TM-250	250	0,945	4,16	3,7	11,25	4,5	2,3	1,093	1,569	0,2	0,15	5,388	1,785	3,246
TM-250	250	0,945	4,16	3,7	11,25	4,5	2,3	1,278	1,569	0,3	0,15	5,388	2,054	3,380
TM-250	250	0,945	4,16	3,7	11,25	4,5	2,3	1,537	1,569	0,4	0,15	5,388	2,431	3,569
TM-250	250	0,945	4,16	3,7	11,25	4,5	2,3	1,87	1,569	0,5	0,15	5,388	2,916	3,811
TM-250	250	0,945	4,16	3,7	11,25	4,5	2,3	2,277	1,569	0,6	0,15	5,388	3,509	4,108
TM-250	250	0,945	4,16	3,7	11,25	4,5	2,3	2,758	1,569	0,7	0,15	5,388	4,209	4,458
TM-250	250	0,945	4,16	3,7	11,25	4,5	2,3	3,313	1,569	0,8	0,15	5,388	5,017	4,862
TM-250	250	0,945	4,16	3,7	11,25	4,5	2,3	3,942	1,569	0,9	0,15	5,388	5,933	5,320
TM-250	250	0,945	4,16	3,7	11,25	4,5	2,3	4,645	1,569	1	0,15	5,388	6,957	5,832
TM-250	250	0,945	4,16	3,7	11,25	4,5	2,3	5,422	1,569	1,1	0,15	5,388	8,088	6,397
TM-250	250	0,945	4,16	3,7	11,25	4,5	2,3	6,273	1,569	1,2	0,15	5,388	9,327	7,017
TM-250	250	0,945	4,16	3,7	11,25	4,5	2,3	7,198	1,569	1,3	0,15	5,388	10,674	7,690
TM-250	250	0,945	4,16	3,7	11,25	4,5	2,3	8,197	1,569	1,4	0,15	5,388	12,129	8,418
TM-250	250	0,945	4,16	3,7	11,25	4,5	2,3	9,27	1,569	1,5	0,15	5,388	13,691	9,199
TM-250	250	0,945	4,16	3,7	11,25	4,5	2,3	10,417	1,569	1,6	0,15	5,388	15,361	10,034

Продолжение таблицы 3.3

	S _{шт} кВт	ΔP _{лх} кВт	ΔQ _{лх} квар	ΔP _{кз} кВт	ΔQ _{кз} квар	U _{кз} %	I _{лх} %	ΔP _т кВт	ΔP _{лхприв} кВт	к _э	Ю _{шт}	ΔP _{кзприв} кВт	ΔP _{т.прив} кВт	Для 2-х трансф. ΔP _{т.прив} кВт
TM-400	400	1,2	4,16	5,5	18	4,5	2,1	1,255	1,824	0,1	0,15	8,200	1,906	3,689
TM-400	400	1,2	4,16	5,5	18	4,5	2,1	1,42	1,824	0,2	0,15	8,200	2,152	3,812
TM-400	400	1,2	4,16	5,5	18	4,5	2,1	1,695	1,824	0,3	0,15	8,200	2,562	4,017
TM-400	400	1,2	4,16	5,5	18	4,5	2,1	2,08	1,824	0,4	0,15	8,200	3,136	4,304
TM-400	400	1,2	4,16	5,5	18	4,5	2,1	2,575	1,824	0,5	0,15	8,200	3,874	4,673
TM-400	400	1,2	4,16	5,5	18	4,5	2,1	3,18	1,824	0,6	0,15	8,200	4,776	5,124
TM-400	400	1,2	4,16	5,5	18	4,5	2,1	3,895	1,824	0,7	0,15	8,200	5,842	5,657
TM-400	400	1,2	4,16	5,5	18	4,5	2,1	4,72	1,824	0,8	0,15	8,200	7,072	6,272
TM-400	400	1,2	4,16	5,5	18	4,5	2,1	5,655	1,824	0,9	0,15	8,200	8,466	6,969
TM-400	400	1,2	4,16	5,5	18	4,5	2,1	6,7	1,824	1	0,15	8,200	10,024	7,748
TM-400	400	1,2	4,16	5,5	18	4,5	2,1	7,855	1,824	1,1	0,15	8,200	11,746	8,609
TM-400	400	1,2	4,16	5,5	18	4,5	2,1	9,12	1,824	1,2	0,15	8,200	13,632	9,552
TM-400	400	1,2	4,16	5,5	18	4,5	2,1	10,495	1,824	1,3	0,15	8,200	15,682	10,577
TM-400	400	1,2	4,16	5,5	18	4,5	2,1	11,98	1,824	1,4	0,15	8,200	17,896	11,684
TM-400	400	1,2	4,16	5,5	18	4,5	2,1	13,575	1,824	1,5	0,15	8,200	20,274	12,873
TM-400	400	1,2	4,16	5,5	18	4,5	2,1	15,28	1,824	1,6	0,15	8,200	22,816	14,144
TM-630	630	1,56	4,16	8,5	34,65	5,5	2	1,645	2,184	0,1	0,15	13,698	2,321	4,436
TM-630	630	1,56	4,16	8,5	34,65	5,5	2	1,9	2,184	0,2	0,15	13,698	2,732	4,642
TM-630	630	1,56	4,16	8,5	34,65	5,5	2	2,325	2,184	0,3	0,15	13,698	3,417	4,984
TM-630	630	1,56	4,16	8,5	34,65	5,5	2	2,92	2,184	0,4	0,15	13,698	4,376	5,464
TM-630	630	1,56	4,16	8,5	34,65	5,5	2	3,685	2,184	0,5	0,15	13,698	5,608	6,080
TM-630	630	1,56	4,16	8,5	34,65	5,5	2	4,62	2,184	0,6	0,15	13,698	7,115	6,834
TM-630	630	1,56	4,16	8,5	34,65	5,5	2	5,725	2,184	0,7	0,15	13,698	8,896	7,724
TM-630	630	1,56	4,16	8,5	34,65	5,5	2	7	2,184	0,8	0,15	13,698	10,950	8,751
TM-630	630	1,56	4,16	8,5	34,65	5,5	2	8,445	2,184	0,9	0,15	13,698	13,279	9,915
TM-630	630	1,56	4,16	8,5	34,65	5,5	2	10,06	2,184	1	0,15	13,698	15,882	11,217
TM-630	630	1,56	4,16	8,5	34,65	5,5	2	11,845	2,184	1,1	0,15	13,698	18,758	12,655
TM-630	630	1,56	4,16	8,5	34,65	5,5	2	13,8	2,184	1,2	0,15	13,698	21,908	14,230
TM-630	630	1,56	4,16	8,5	34,65	5,5	2	15,925	2,184	1,3	0,15	13,698	25,333	15,942
TM-630	630	1,56	4,16	8,5	34,65	5,5	2	18,22	2,184	1,4	0,15	13,698	29,031	17,792
TM-630	630	1,56	4,16	8,5	34,65	5,5	2	20,685	2,184	1,5	0,15	13,698	33,003	19,778
TM-630	630	1,56	4,16	8,5	34,65	5,5	2	23,32	2,184	1,6	0,15	13,698	37,250	21,901
TM-1000	1000	2,45	4,16	12,2	55	5,5	1,4	2,572	3,074	0,1	0,15	20,450	3,279	6,250
TM-1000	1000	2,45	4,16	12,2	55	5,5	1,4	2,938	3,074	0,2	0,15	20,450	3,892	6,557
TM-1000	1000	2,45	4,16	12,2	55	5,5	1,4	3,548	3,074	0,3	0,15	20,450	4,915	7,068
TM-1000	1000	2,45	4,16	12,2	55	5,5	1,4	4,402	3,074	0,4	0,15	20,450	6,346	7,784
TM-1000	1000	2,45	4,16	12,2	55	5,5	1,4	5,5	3,074	0,5	0,15	20,450	8,187	8,704
TM-1000	1000	2,45	4,16	12,2	55	5,5	1,4	6,842	3,074	0,6	0,15	20,450	10,436	9,829
TM-1000	1000	2,45	4,16	12,2	55	5,5	1,4	8,428	3,074	0,7	0,15	20,450	13,095	11,158
TM-1000	1000	2,45	4,16	12,2	55	5,5	1,4	10,258	3,074	0,8	0,15	20,450	16,162	12,692
TM-1000	1000	2,45	4,16	12,2	55	5,5	1,4	12,332	3,074	0,9	0,15	20,450	19,639	14,430
TM-1000	1000	2,45	4,16	12,2	55	5,5	1,4	14,65	3,074	1	0,15	20,450	23,524	16,373
TM-1000	1000	2,45	4,16	12,2	55	5,5	1,4	17,212	3,074	1,1	0,15	20,450	27,819	18,520
TM-1000	1000	2,45	4,16	12,2	55	5,5	1,4	20,018	3,074	1,2	0,15	20,450	32,522	20,872
TM-1000	1000	2,45	4,16	12,2	55	5,5	1,4	23,068	3,074	1,3	0,15	20,450	37,635	23,428
TM-1000	1000	2,45	4,16	12,2	55	5,5	1,4	26,362	3,074	1,4	0,15	20,450	43,156	26,189
TM-1000	1000	2,45	4,16	12,2	55	5,5	1,4	29,9	3,074	1,5	0,15	20,450	49,087	29,154
TM-1000	1000	2,45	4,16	12,2	55	5,5	1,4	33,682	3,074	1,6	0,15	20,450	55,426	32,324

Продолжение таблицы 3.3

	S _{шт} кВт	ΔP _{лх} кВт	ΔQ _{лх} квар	ΔP _{кв} кВт	ΔQ _{кв} квар	U _{кв} %	I _{лх} %	ΔP _т кВт	ΔP _{лх.прив} кВт	кз	кшп	ΔP _{кз.прив} кВт	ΔP _{т.прив} кВт	Для 2-х трансф. ΔP _{т.прив} кВт
TM-1600	1600	3,3	4,16	18	88	5,5	1,3	3,48	3,924	0,1	0,15	31,200	4,236	8,004
TM-1600	1600	3,3	4,16	18	88	5,5	1,3	4,02	3,924	0,2	0,15	31,200	5,172	8,472
TM-1600	1600	3,3	4,16	18	88	5,5	1,3	4,92	3,924	0,3	0,15	31,200	6,732	9,252
TM-1600	1600	3,3	4,16	18	88	5,5	1,3	6,18	3,924	0,4	0,15	31,200	8,916	10,344
TM-1600	1600	3,3	4,16	18	88	5,5	1,3	7,8	3,924	0,5	0,15	31,200	11,724	11,748
TM-1600	1600	3,3	4,16	18	88	5,5	1,3	9,78	3,924	0,6	0,15	31,200	15,156	13,464
TM-1600	1600	3,3	4,16	18	88	5,5	1,3	12,12	3,924	0,7	0,15	31,200	19,212	15,492
TM-1600	1600	3,3	4,16	18	88	5,5	1,3	14,82	3,924	0,8	0,15	31,200	23,892	17,832
TM-1600	1600	3,3	4,16	18	88	5,5	1,3	17,88	3,924	0,9	0,15	31,200	29,196	20,484
TM-1600	1600	3,3	4,16	18	88	5,5	1,3	21,3	3,924	1	0,15	31,200	35,124	23,448
TM-1600	1600	3,3	4,16	18	88	5,5	1,3	25,08	3,924	1,1	0,15	31,200	41,676	26,724
TM-1600	1600	3,3	4,16	18	88	5,5	1,3	29,22	3,924	1,2	0,15	31,200	48,852	30,312
TM-1600	1600	3,3	4,16	18	88	5,5	1,3	33,72	3,924	1,3	0,15	31,200	56,652	34,212
TM-1600	1600	3,3	4,16	18	88	5,5	1,3	38,58	3,924	1,4	0,15	31,200	65,076	38,424
TM-1600	1600	3,3	4,16	18	88	5,5	1,3	43,8	3,924	1,5	0,15	31,200	74,124	42,948
TM-1600	1600	3,3	4,16	18	88	5,5	1,3	49,38	3,924	1,6	0,15	31,200	83,796	47,784
TM-2500	2500	4,6	4,16	25	137,5	5,5	1	4,85	5,224	0,1	0,15	45,625	5,680	10,676
TM-2500	2500	4,6	4,16	25	137,5	5,5	1	5,6	5,224	0,2	0,15	45,625	7,049	11,361
TM-2500	2500	4,6	4,16	25	137,5	5,5	1	6,85	5,224	0,3	0,15	45,625	9,330	12,501
TM-2500	2500	4,6	4,16	25	137,5	5,5	1	8,6	5,224	0,4	0,15	45,625	12,524	14,098
TM-2500	2500	4,6	4,16	25	137,5	5,5	1	10,85	5,224	0,5	0,15	45,625	16,630	16,151
TM-2500	2500	4,6	4,16	25	137,5	5,5	1	13,6	5,224	0,6	0,15	45,625	21,649	18,661
TM-2500	2500	4,6	4,16	25	137,5	5,5	1	16,85	5,224	0,7	0,15	45,625	27,580	21,626
TM-2500	2500	4,6	4,16	25	137,5	5,5	1	20,6	5,224	0,8	0,15	45,625	34,424	25,048
TM-2500	2500	4,6	4,16	25	137,5	5,5	1	24,85	5,224	0,9	0,15	45,625	42,180	28,926
TM-2500	2500	4,6	4,16	25	137,5	5,5	1	29,6	5,224	1	0,15	45,625	50,849	33,261
TM-2500	2500	4,6	4,16	25	137,5	5,5	1	34,85	5,224	1,1	0,15	45,625	60,430	38,051
TM-2500	2500	4,6	4,16	25	137,5	5,5	1	40,6	5,224	1,2	0,15	45,625	70,924	43,298
TM-2500	2500	4,6	4,16	25	137,5	5,5	1	46,85	5,224	1,3	0,15	45,625	82,330	49,001
TM-2500	2500	4,6	4,16	25	137,5	5,5	1	53,6	5,224	1,4	0,15	45,625	94,649	55,161
TM-2500	2500	4,6	4,16	25	137,5	5,5	1	60,85	5,224	1,5	0,15	45,625	107,880	61,776
TM-2500	2500	4,6	4,16	25	137,5	5,5	1	68,6	5,224	1,6	0,15	45,625	122,024	68,848

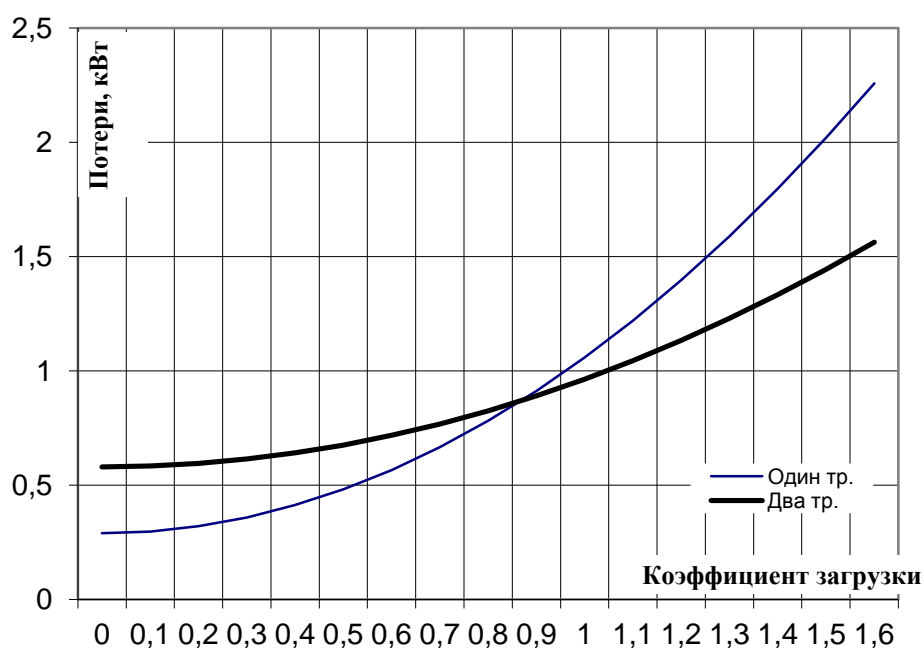


Рисунок 3.6 – Приведенные потери в ТМ-25

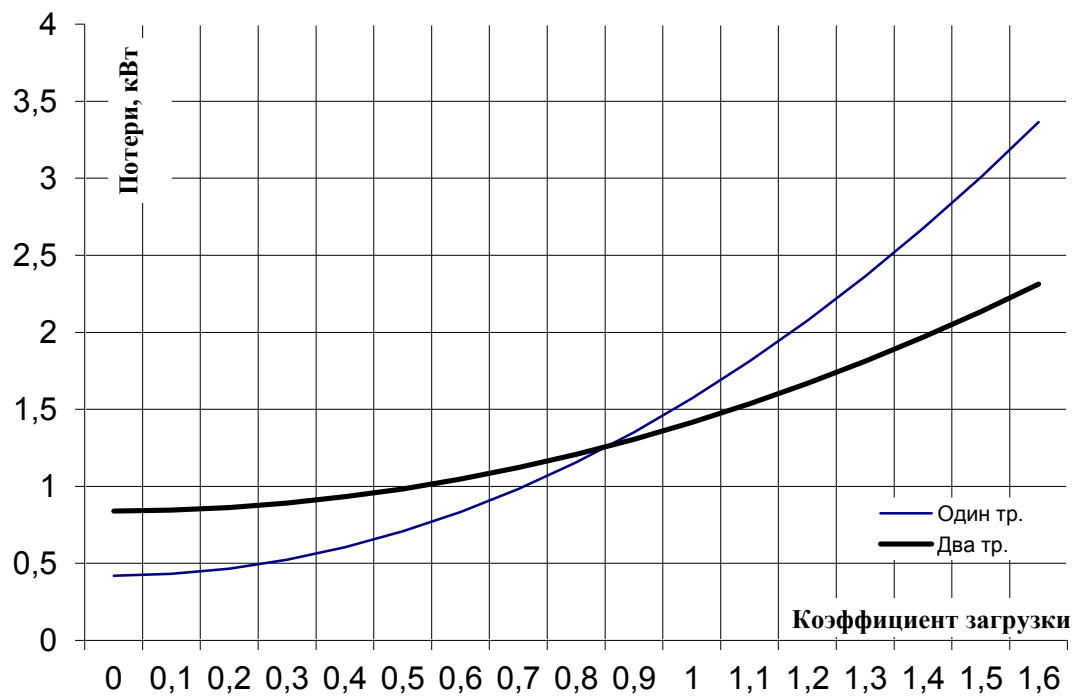


Рисунок 3.7 – Приведенные потери в ТМ-40

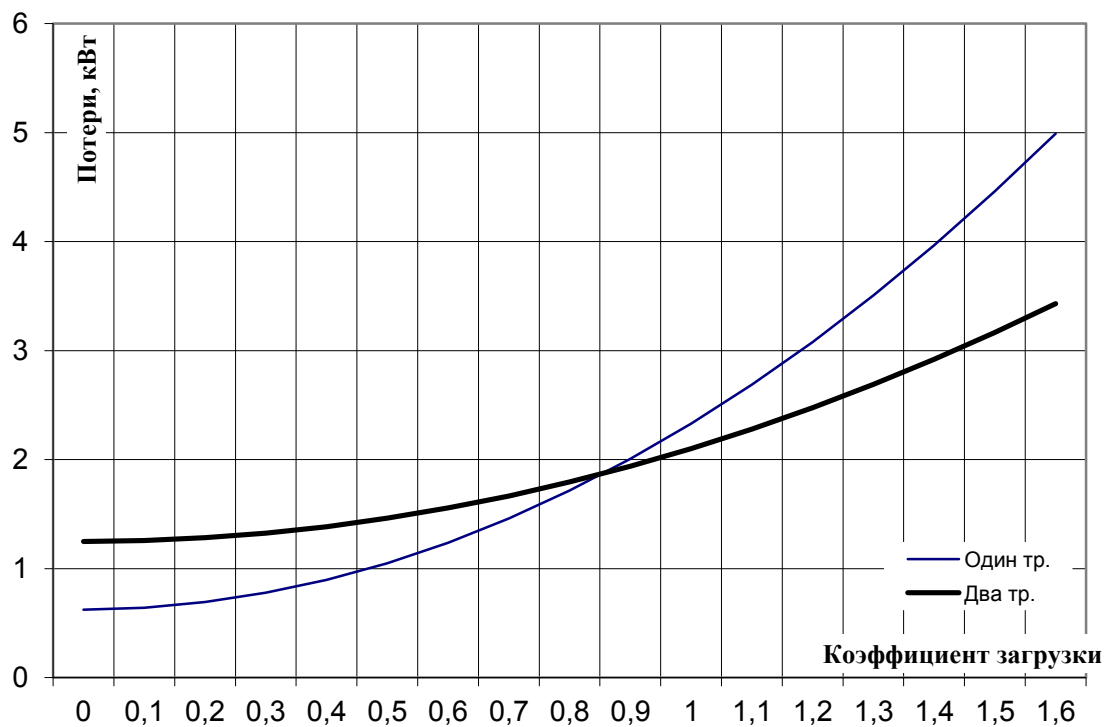


Рисунок 3.8 – Приведенные потери в ТМ-63

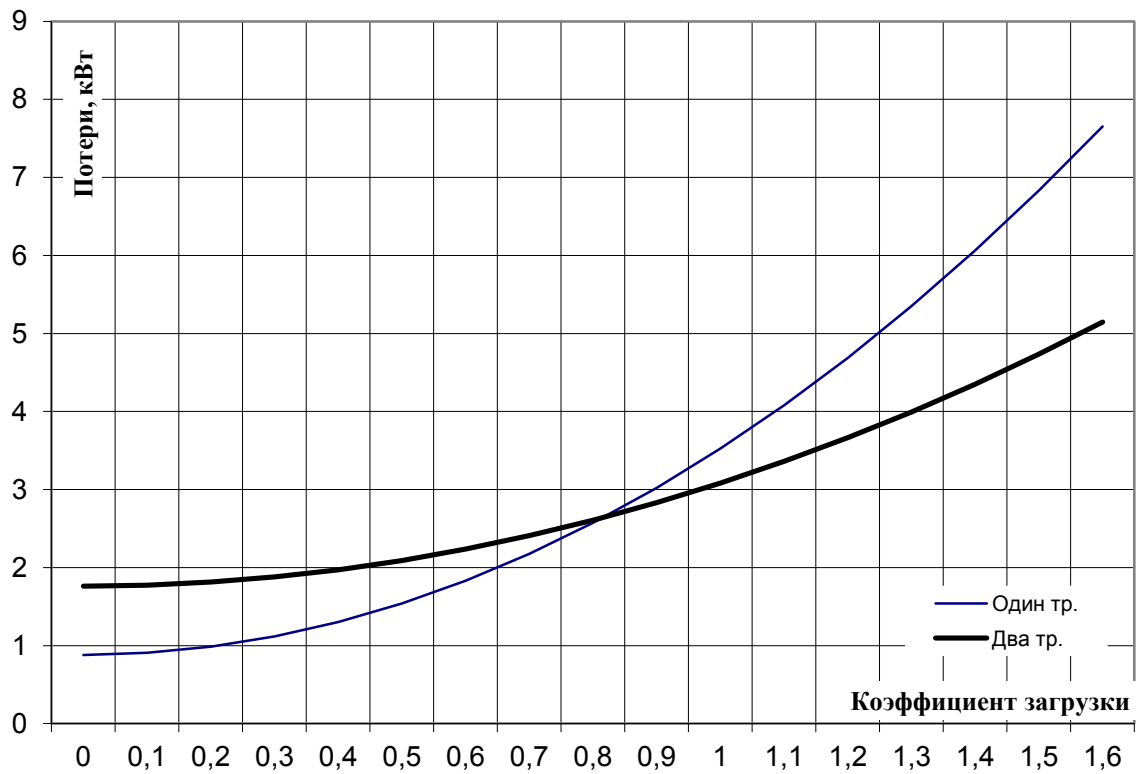


Рисунок 3.9 – Приведенные потери в ТМ-100

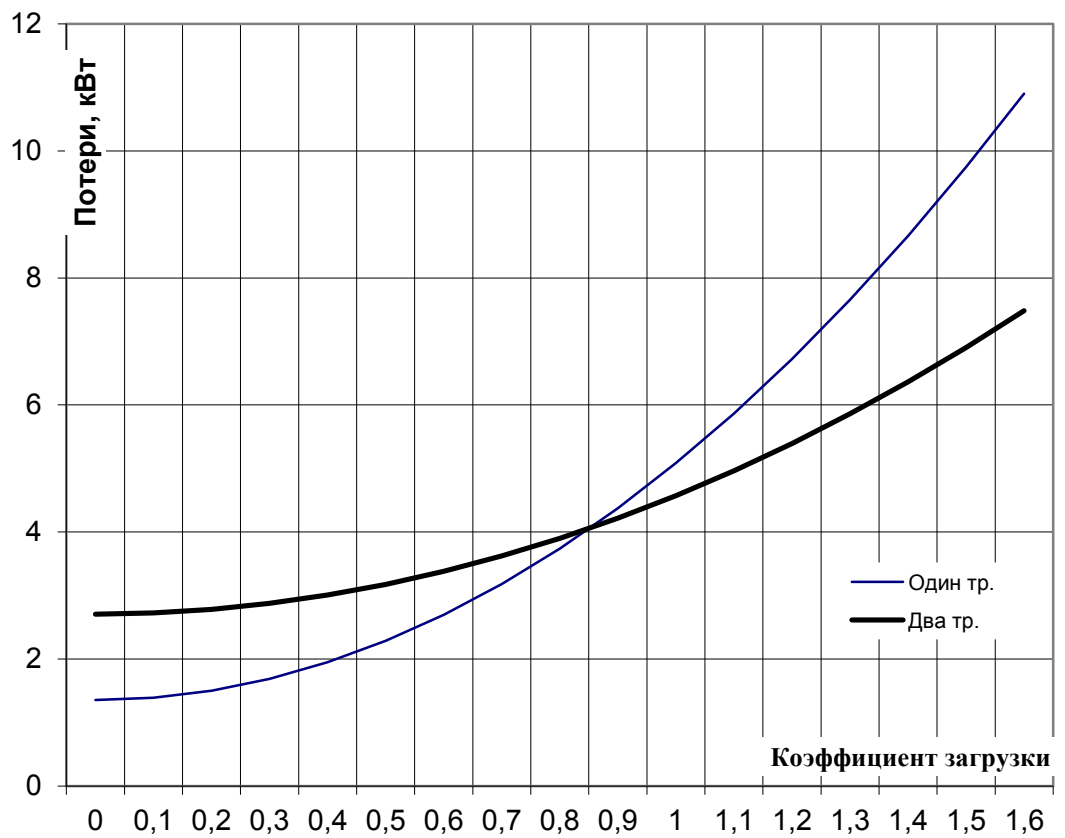


Рисунок 3.10 – Приведенные потери в ТМ-160

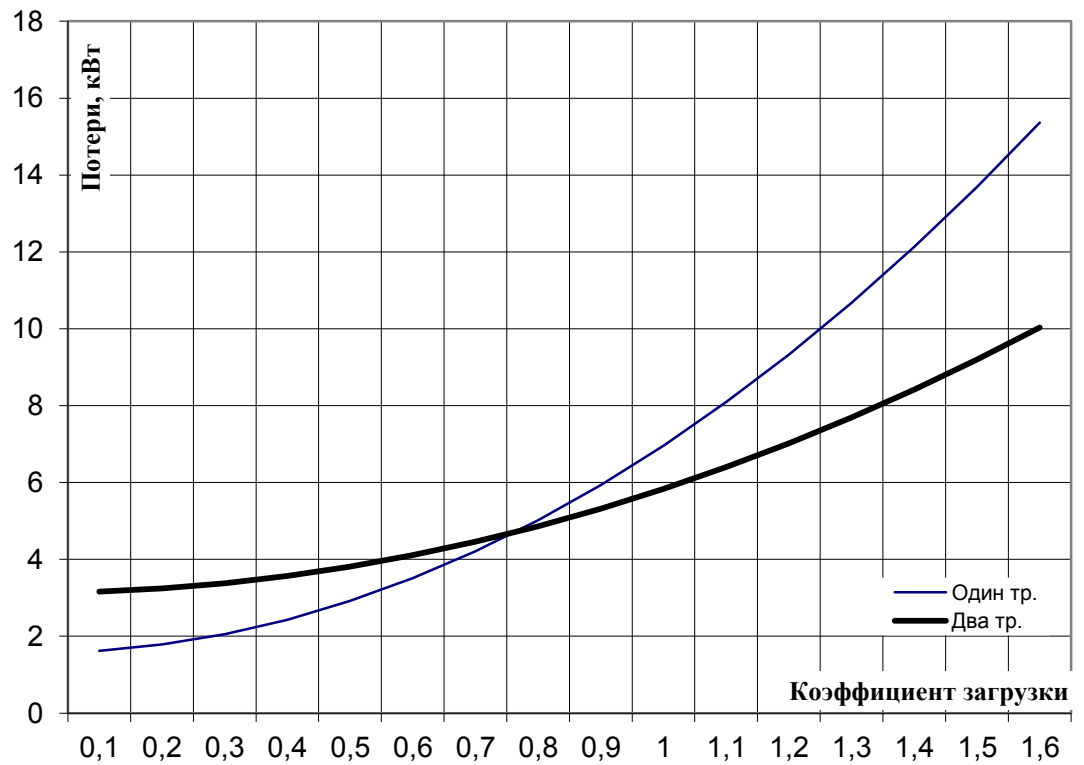


Рисунок 3.11 – Приведенные потери в ТМ-160

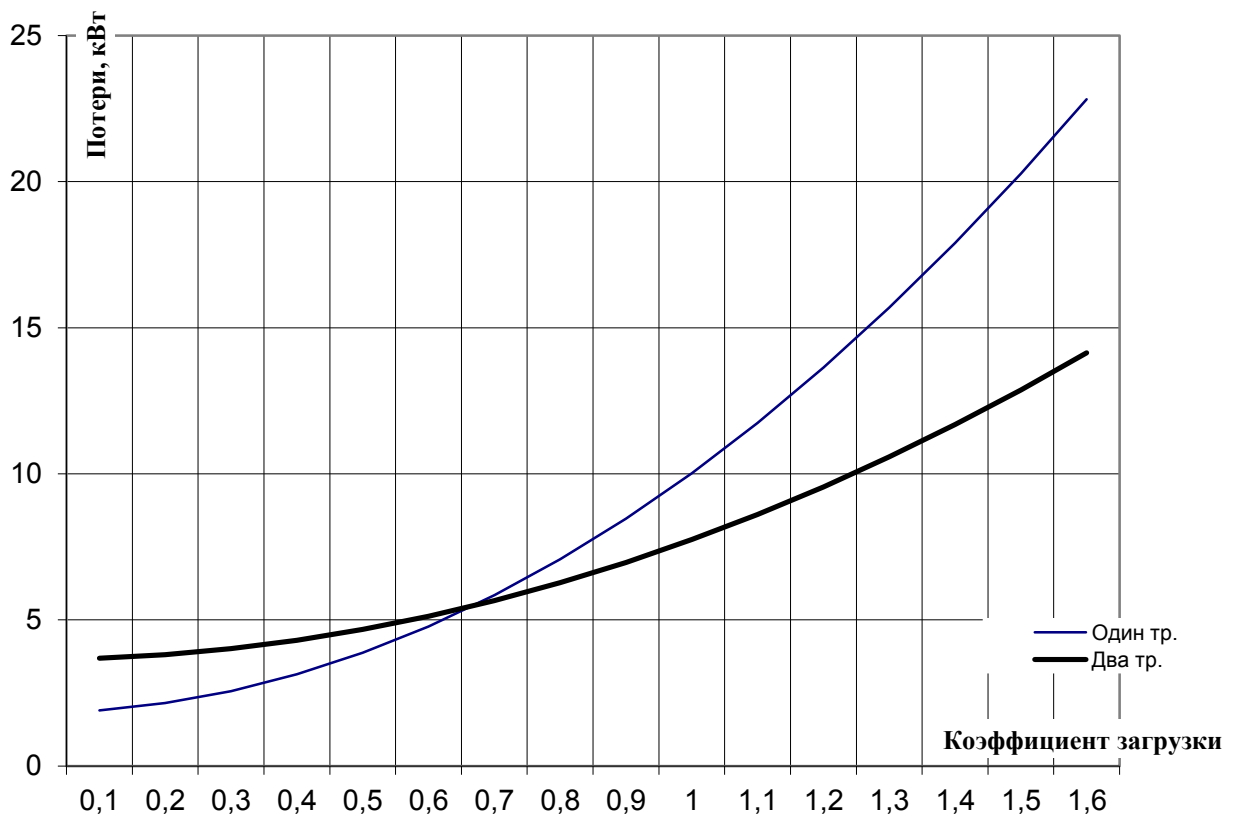


Рисунок 3.12 – Приведенные потери в ТМ-250

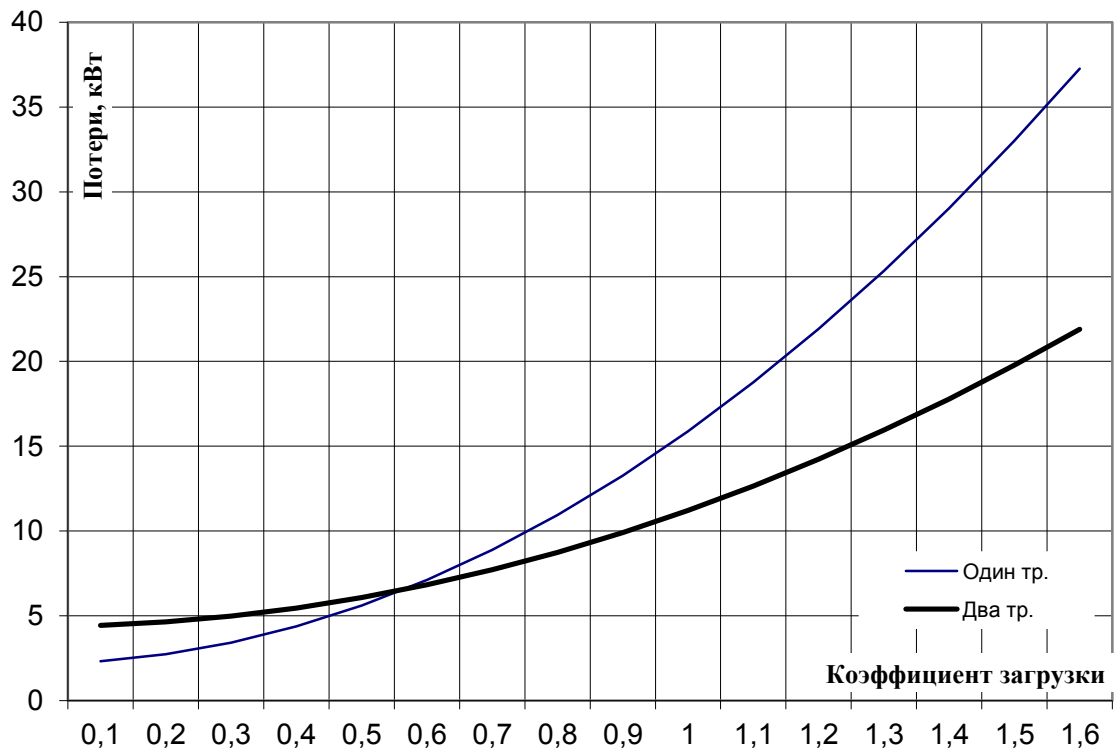


Рисунок 3.13 – Приведенные потери в ТМ-630

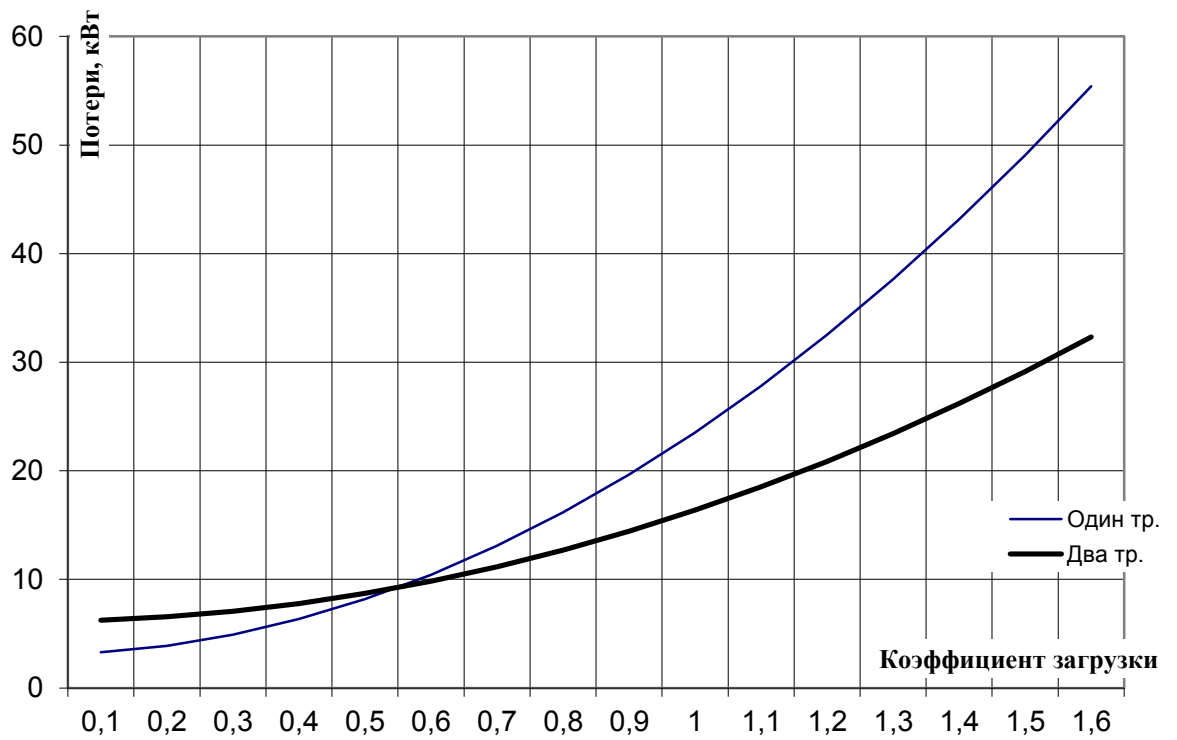


Рисунок 3.14 – Приведенные потери в ТМ-1000

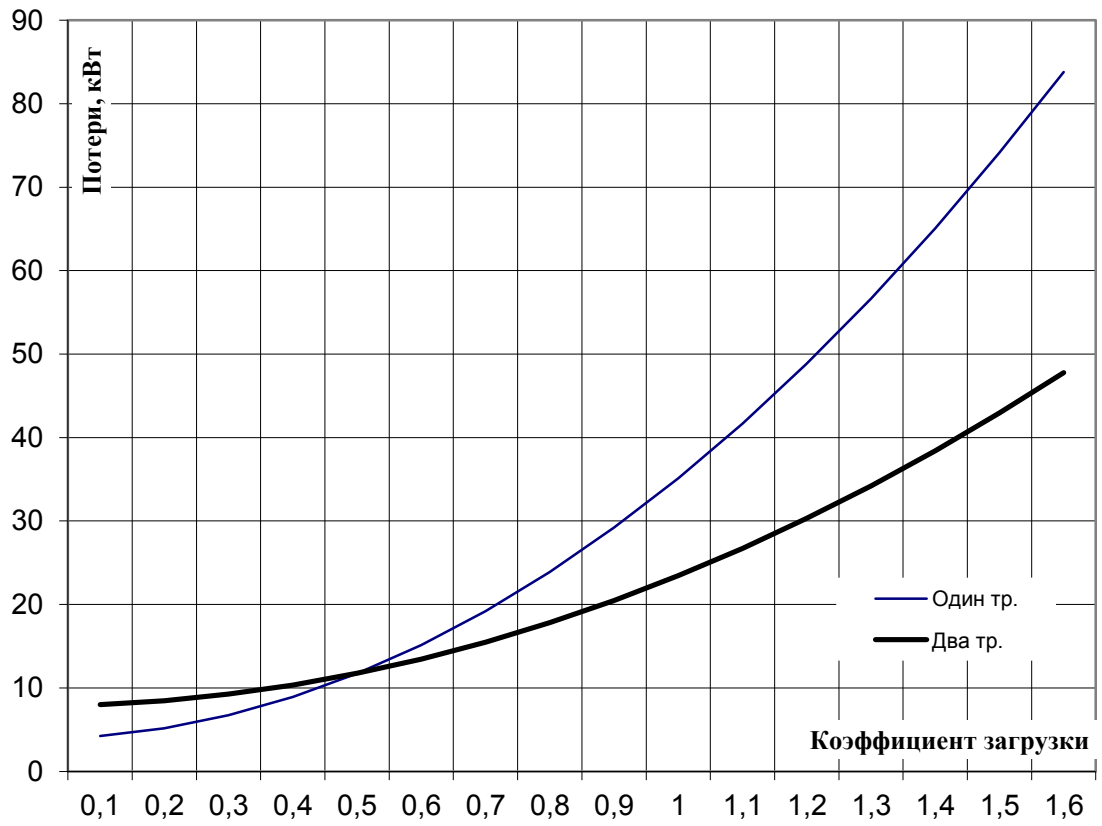


Рисунок 3.15 – Приведенные потери в ТМ-1600

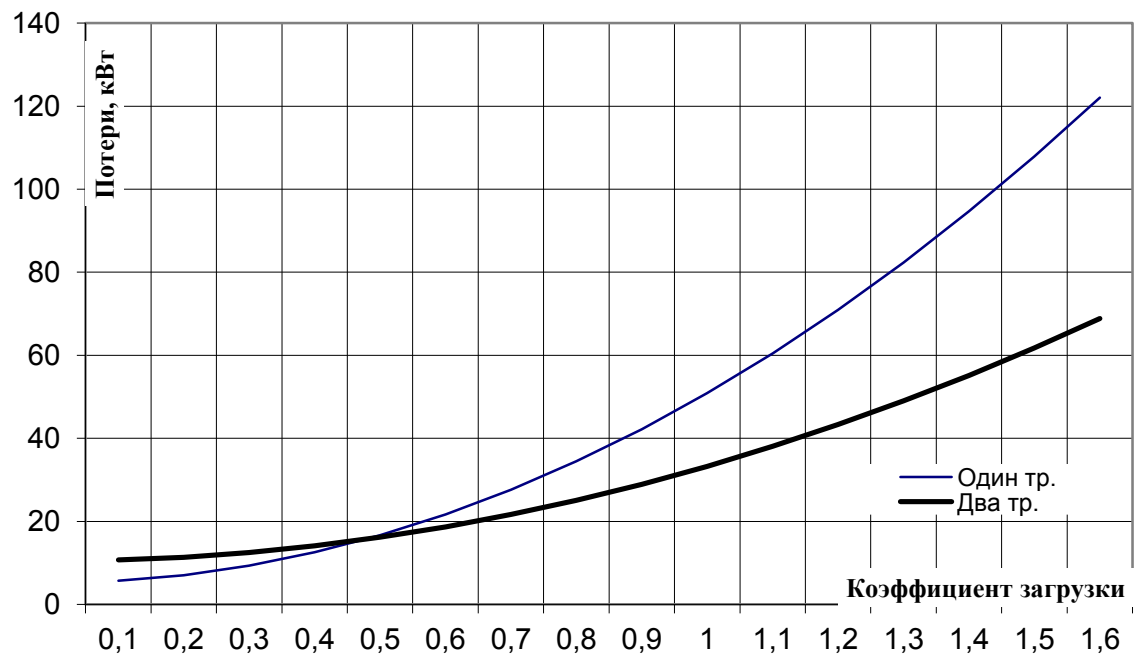


Рисунок 3.16 – Приведенные потери в ТМ-2500

Таблица 3.3 – Зависимости коэффициента загрузки от мощности трансформатора типа ТМ и расчет уравнения регрессии.

Номер I	"X" -Мощность трансформатора S_i , кВА	"Y", k_{zi}	"XY", $S_i \cdot k_{zi}$	"X" ² , S_i^2	"y" ² , k_{zi}^2
1	25	0,92	23	625	0,8464
2	40	0,9	36	1600	0,81
3	63	0,92	57,96	3969	0,8464
4	100	0,87	87	10000	0,7569
5	160	0,89	142,4	25600	0,7921
6	250	0,81	202,5	62500	0,6561
7	400	0,71	284	160000	0,5041
8	630	0,61	384,3	396900	0,3721
9	1000	0,6	600	1000000	0,36
10	1600	0,55	880	2560000	0,3025
11	2500	0,52	1300	6250000	0,2704
Сумма:	6768	8,3	3997,16	10471194	6,517

Коэффициенты уравнения регрессии: $a=0,86279118$, $b=-0.0001759$

Уравнение регрессии $K_z = 0,8628 - 0,00018 \cdot S_{\text{Тном}}$

Коэффициент корреляции: $r = -0,8762047$

Критерий Стьюдента: $t = 5,45424593$

По таблицам справочной литературы: $t_{0,025,9} = 2,26$. Так как $5,45 > 2,26$, то между $S_{\text{Тном}}$ и k_{zi} существует тесная обратная корреляционная связь, близкая к линейной.

При коэффициенте загрузки трансформаторов $k_{zi} < K_{зр}$ экономически выгодно отключать один трансформатор на двухтрансформаторной подстанции. При коэффициенте загрузки трансформаторов $k_{zi} > K_{зр}$ экономически выгодно работать с двумя трансформаторами.

4.Методические указания «Исследование режимов работы двухтрансформаторных подстанций»

Цель работы

1. Изучить принципиальные схемы низковольтных подстанции.
2. Изучить режимы работы двухтрансформаторной подстанции.
3. Исследовать зависимости коэффициента мощности, напряжения вторичной цепи, приведенных потерь мощности от загрузки трансформаторов подстанций.
3. Исследовать и разработать экономичные режимы работы двухтрансформаторных подстанций.

4.1 Теоретические сведения

Условия параллельной работы трансформаторов

Низковольтные подстанции бывают однострансформаторные и двухтрансформаторные. Трансформаторы двухтрансформаторных подстанций получают питание от разных распределительных устройств или от разных секций шин распределительных устройств высокого напряжения (рис. 1). Секционные выключатели распределительных устройств низкого напряжения (РУНН) двухтрансформаторных подстанций как правило должны быть выключены, т. к. оборудование РУНН выбирается по токам КЗ при одном трансформаторе. Однако в производственных условиях не редки случаи, когда из-за больших нагрузок трансформаторы должны работать параллельно, т. е. при включенном секционном выключателе.

Параллельной работой двух или нескольких трансформаторов называется работа при параллельном соединении не менее чем двух основных обмоток одного из них с таким же числом основных обмоток другого трансформатора (других трансформаторов).

В целях правильного распределения нагрузки между параллельно работающими трансформаторами пропорционально их номинальным мощностям параллельная работа двух обмоточных трансформаторов рекомендуется для случаев:

- равенства номинальных первичных и вторичных напряжений (допускается разность коэффициентов трансформации не более $\pm 0,5 \%$);
- тождественности групп соединения обмоток;
- равенства напряжений КЗ (допускается отклонение не более чем на $\pm 10 \%$ средней величины).

При несоблюдении первого и второго условий в обмотках трансформаторов возникают уравнивающие токи, которые в отдельных случаях, особенно при несовпадении групп, могут достигнуть и даже превысить значения тока КЗ. Несоблюдение третьего условия приводит к тому, что общая нагрузка распределяется между трансформаторами непропорционально их номинальным мощностям. Рекомендуется, чтобы отношение номинальных мощностей параллельно работающих трансформаторов не превышало 3:1.

Если первые два условия соблюдены, то вторичные ЭДС параллельно включенных трансформаторов будут равны по величине и по фазе и поэтому будут уравнивать друг друга. В противном случае уже на холостом ходу возникает уравнивающий ток I_v . Этот ток, складываясь с током нагрузки, вызывает неравномерное распределение нагрузки, а также дополнительные потери и нагрев трансформаторов. При большой разнице ЭДС ток I_v может быть опасным для трансформаторов. Соблюдение третьего условия обеспечивает равномерное распределение токов между трансформаторами при нагрузке.

На трансформаторных подстанциях может быть установлено несколько параллельно работающих трансформаторов. Это обусловлено следующими причинами:

- условиями обеспечения надежности электроснабжения путем резервирования;
- необходимостью расширения подстанции;
- уменьшением потерь при малых нагрузках путем отключения части параллельно работающих трансформаторов.

-Параллельное включение трехфазных трансформаторов осуществляется по схеме, приведенной на рисунке 4.1. При ручном управлении ввод в работу второго трансформатора осуществляется секционным выключателем. При автоматическом управлении, включение осуществляется контакторами, установленными параллельно выключателям, подающим питание на трансформатор.

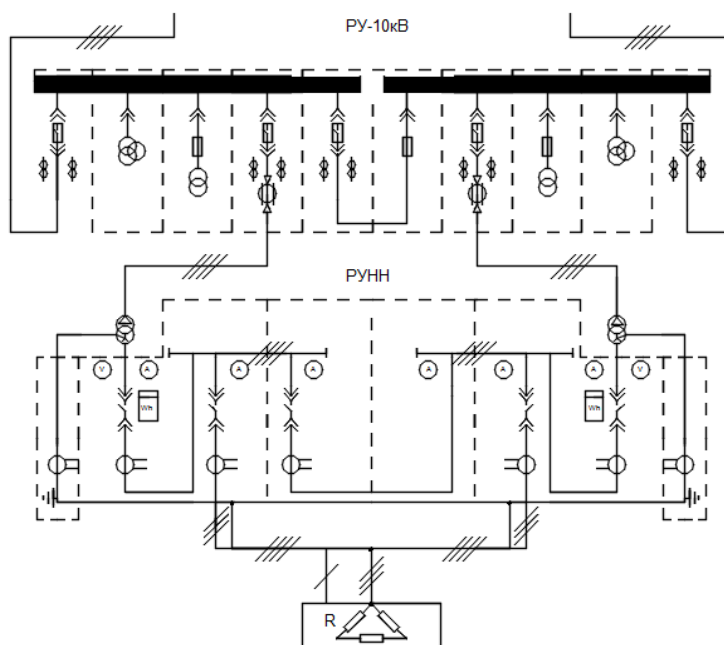


Рисунок 4.1. - Принципиальная схема двухтрансформаторной цеховой подстанции с двумя параллельно включенными трансформаторами

Потери мощности и электроэнергии в трансформаторах

Одной из основных характеристик любого трансформатора является, прежде всего, величина напряжения обмоток и передаваемая трансформатором мощность. Процесс передачи мощности от одной обмотки к другой осуществляется электромагнитным путём, при этом не вся мощность, поступающая из питающей электрической сети, передаётся в нагрузку, недошедшую мощность принято называть потерями.

Так как силовой трансформатор, является статическим электромагнитным устройством (отсутствуют механические потери), то все потери в трансформаторе – это потери активной мощности. Они формируются в магнитной системе, обмотках и других частях трансформатора в процессе различных режимов его эксплуатации.

Величина потерь мощности в силовом трансформаторе – является одной из основных характеристик экономичности конструкции трансформатора. Суммарные потери мощности в силовом трансформаторе складываются из потерь, образующихся при работе трансформатора в режиме холостого хода и в режиме под нагрузкой.

В справочной литературе приводятся характеристики трансформаторов: ΔP_{xx} - активные потери холостого хода, кВт; $\Delta P_{кз}$ - потери короткого замыкания, кВт; I_H - номинальный ток, А; I_{xx} - ток холостого хода, А; $S_{ТН}$ - номинальная мощность трансформатора, кВА; $U_{кз}\%$ - напряжение короткого замыкания, %. Потери короткого замыкания численно равны потерям активной мощности в трансформаторе при его номинальной загрузке.

Кроме активных потерь в трансформаторах имеют место реактивные потери, которые в каталогах не приводятся, но их можно вычислить по выражениям:

реактивные потери холостого хода, квар:

$$\Delta Q_{xx} = \sqrt{\left(\frac{I_{xx} S_H}{100}\right)^2 - P_{xx}^2} \approx S_H \frac{I_{xx}}{100}; \quad (4.1)$$

реактивные потери короткого замыкания, квар:

$$\Delta Q_{кз} = 3I_H^2 X_T \approx \Delta Q_{xx} = S_H \frac{I_{xx}\%}{100} \quad (4.2)$$

При номинальной нагрузке потери мощности в трансформаторе составляют:

Активные

$$\Delta P_T = \Delta P_{xx} + \Delta P_{кз}, \text{ кВт}; \quad (4.3)$$

Реактивные

$$\Delta Q_T = \Delta Q_{xx} + \Delta Q_{кз}, \text{ квар.} \quad (4.4)$$

Активные и реактивные потери мощности в трансформаторах зависят от их загрузки - коэффициента загрузки β :

$$\beta = \frac{S_{т.факт}}{S_{т.н}} \quad (4.5)$$

где $S_{т.факт}$ - фактическая нагрузка на трансформатор, кВА.

При нагрузке, отличающейся от номинальной:

активные потери, кВт

$$\Delta P_T = \Delta P_{xx} + \beta^2 \Delta P_{кз} \quad (4.6)$$

реактивные, квар

$$\Delta Q_T = \Delta Q_{xx} + \beta^2 \Delta Q_{кз} \quad (4.7)$$

Технико-экономическое обоснование вариантов выбора трансформаторов

Оптимальное число трансформаторов и их мощность находят по минимуму приведенных затрат (тыс. руб):

$$Z = \sum_{i=1}^N (E_n + E_{ai}) K_i + C_0 \Delta W_a n 10^{-3} \quad (4.8)$$

где N - число трансформаторов и коммутационных аппаратов;

E_n - коэффициент эффективности капитальных вложений ($E_n=0,12$);

E_{ai} - норма амортизационных отчислений;

K_i - стоимость i -го трансформатора или коммутационного аппарата, тыс.руб;

C_0 - стоимость одного кВт.ч электроэнергии;

ΔW_a - годовые потери электроэнергии (кВт.ч) в одном трансформаторе;

n - число трансформаторов.

$$\Delta W_a = \Delta P'_{xx} T_0 + \Delta P'_{кз} \beta^2 T_p \quad (4.9)$$

где P'_{xx} и $\Delta P'_{кз}$ приведенные потери мощности холостого хода и короткого замыкания в трансформаторе, кВт;

T_0 - число часов присоединения трансформатора к сети в течение года $T_0 = 2400$ ч, при двух — $T_0 = 5400$ ч; при трех — $T_0 = 8400$ ч.;

T_p - годовое число часов максимума;

β - коэффициент загрузки трансформатора:

$$\beta = \frac{S_{\text{расч}}}{S_{Tn}} \quad (4.10)$$

$\Delta P'_{xx}$ -приведенные активные потери холостого хода, кВт:

$$\Delta P'_{xx} = \Delta P_{xx} + \kappa_{пп} \Delta Q_{xx} \quad (4.11)$$

ΔQ_{xx} - реактивные потери мощности холостого хода, квар:

$$\Delta Q_{xx} = S_H \frac{I_{xx}\%}{100} \quad (4.12)$$

Приведенные активные потери короткого замыкания, кВт:

$$\Delta P'_{кз} = \Delta P_{кз} + \kappa_{пп} \Delta Q_{кз} \quad (4.13)$$

где, $\Delta Q_{кз}$ – реактивные потери мощности короткого замыкания, квар:

$$\Delta Q_{кз} = S_H \frac{U_{кз}\%}{100} \quad (4.14)$$

$\kappa_{пп}$ - коэффициент повышения потерь активной мощности в связи с передачей реактивной мощности приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1- Коэффициент изменения потерь в трансформаторе

Характеристика трансформатора и системы электроснабжения	кпп, кВт/квар	
	Трансформаторы, питающиеся непосредственно от шин подстанции	0,02
Сетевые трансформаторы, питающиеся от электростанций на генераторном напряжении	0,07	0,04
Понижающие трансформаторы 110/35/10 кВ, питающиеся от районных сетей	0,1	0,06
Понижающие трансформаторы 6 - 10/0,4 кВ, питающиеся от районных сетей	0,15	0,1

Полученные величины приведенных активных потерь активной мощности $\Delta P'_{\text{xx}}$ и $P'_{\text{кз}}$ подставляют в выражение для ΔW_a и далее определяют приведенные затраты Z .

В упрощенных расчетах допускается выбирать трансформаторы по приведенным потерям активной мощности в них:

$$\Delta P'_T = \Delta P'_{\text{xx}} + \beta^2 \Delta P'_{\text{кз}} \quad (4.15)$$

Выбирают вариант с наименьшими $\Delta P'_T$

$\Delta P'_T$ зависят от коэффициента загрузки β и числа трансформаторов, график зависимости представлен на рисунке 4.2.

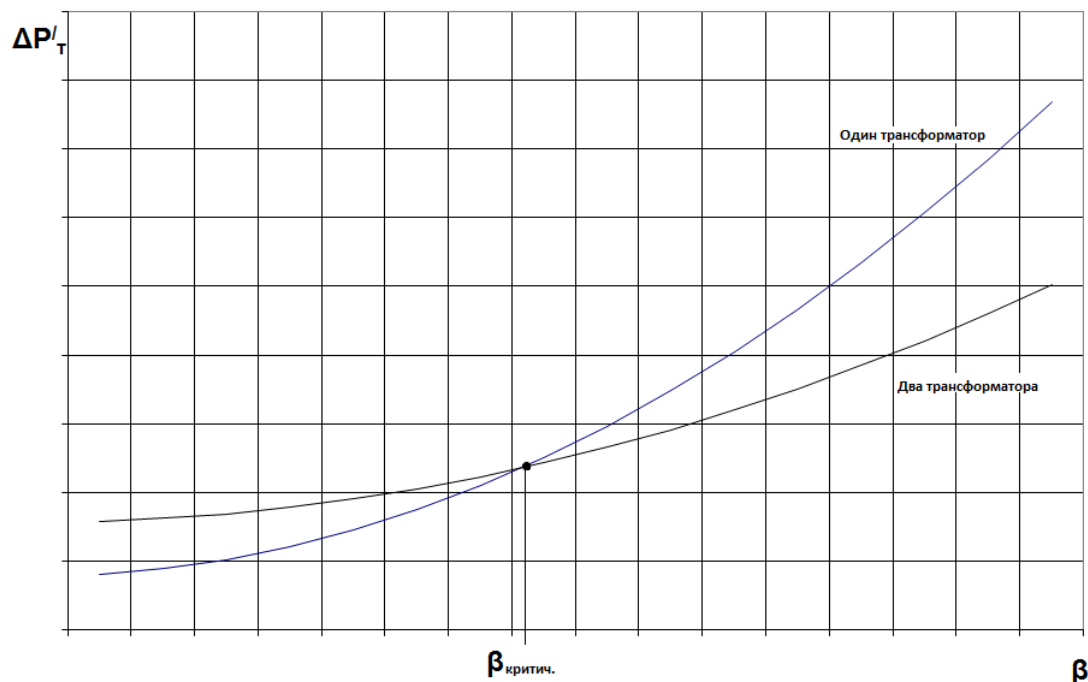


Рисунок 4.2 - Зависимость приведенных потерь активной мощности в трансформаторах от их загрузки и числа

Величина критического коэффициента загрузки $\beta_{\text{критич.}}$, при котором необходимо перейти на работу двух трансформаторов определяется из выражения:

$$\Delta P_{\text{xx}} + \kappa_{\text{пп}} Q_{\text{xx}} + \beta^2 (\Delta P_{\text{кз}} + \kappa_{\text{пп}} \Delta Q_{\text{кз}}) = 2 \left[\Delta P_{\text{xx}} + \kappa_{\text{пп}} Q_{\text{xx}} + \frac{\beta^2}{4} (\Delta P_{\text{кз}} + \kappa_{\text{пп}} \Delta Q_{\text{кз}}) \right] \quad (4.16)$$

откуда

$$\beta = \beta_{\text{критич}} = \sqrt{2} \sqrt{\frac{\Delta P_{\text{xx}} + \kappa_{\text{пп}} Q_{\text{xx}}}{\Delta P_{\text{кз}} + \kappa_{\text{пп}} \Delta Q_{\text{кз}}}} \quad (4.17)$$

Оптимальный режим работы двухтрансформаторных подстанций должен поддерживаться путём изменения числа работающих трансформаторов по минимуму приведенных потерь мощности. Оптимальный коэффициент загрузки $\beta_{\text{опт}}$ определяется по графику зависимости приведенных потерь от коэффициента загрузки трансформаторов (рисунок 4.4), для точки пересечения кривых приведенных потерь активной мощности однитрансформаторного режима и двухтрансформаторного режима.

Автоматизация режимов работы подстанции

Для уменьшения потерь электроэнергии на трансформаторных подстанциях предлагается использовать устройства автоматического управления режимами работы трансформаторов. Схема автоматического управления представлена на рисунке 4.3

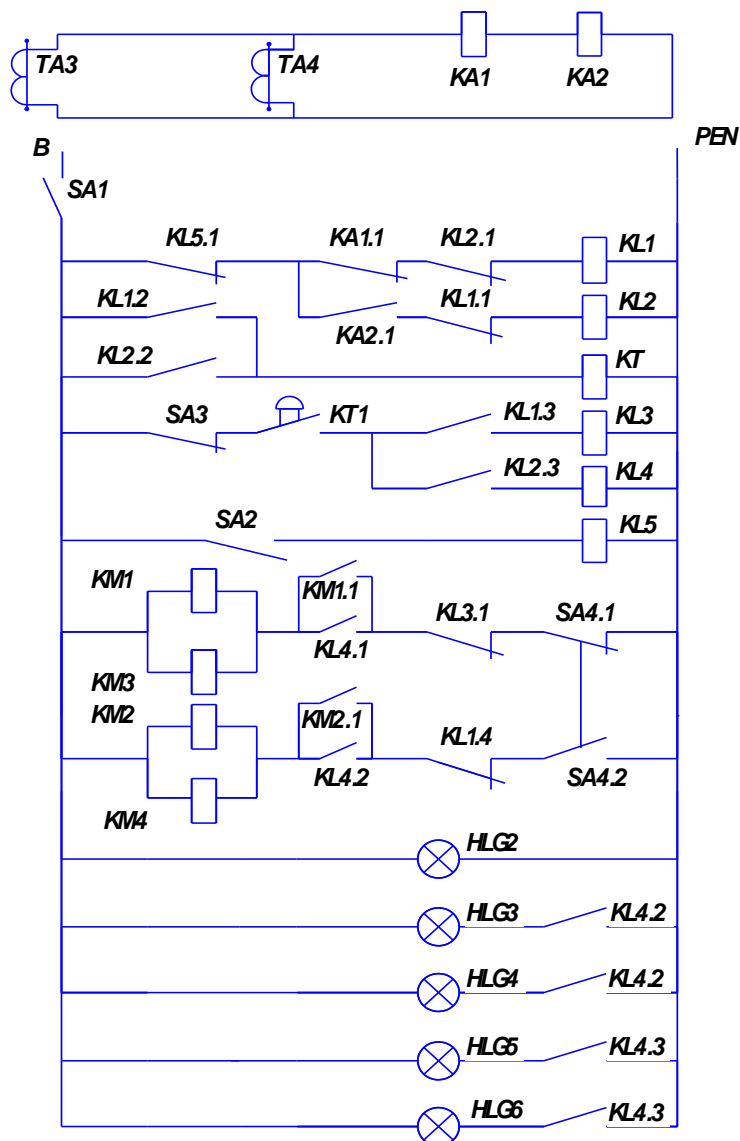


Рисунок 4.3 - Схема устройства автоматического отключения и включения трансформаторов

Основными элементами схемы являются реле тока: *КА1* — минимальное; *КА2* — максимальное.

Реле *КА1* замыкает свои контакты *КА1.1* при снижении нагрузки на трансформатор, тем самым образует цепь на отключение второго трансформатора.

Реле тока *КА2* замыкает свои контакты *КА2.1* при увеличении нагрузки на трансформатор, тем самым замыкает цепь на включение второго трансформатора.

Для выбора и расчета тока срабатывания реле, следует определить оптимальный коэффициент загрузки при котором будет осуществляться автоматическое переключение с однотрансформаторного режима работы на двухтрансформаторный режим и наоборот. Оптимальный коэффициент загрузки можно определить по графику зависимости приведенных потерь от нагрузки для исследуемого трансформатора (рисунок 4.4).

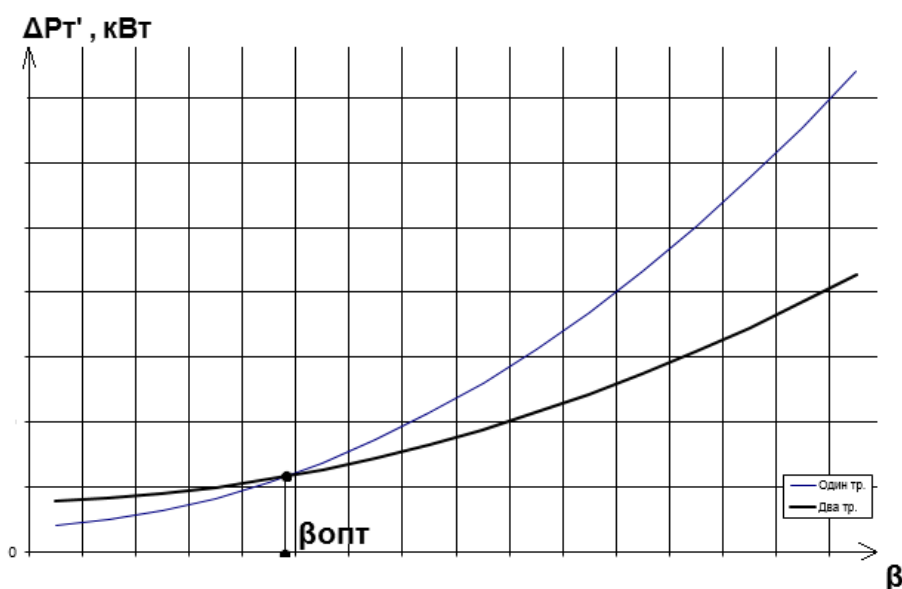


Рисунок 4.4 - График зависимости приведённых потерь от коэффициента загрузки

Нагрузка на трансформатор при оптимальном коэффициенте загрузки рассчитывается по формуле:

$$S_{\beta_{\text{опт}}} = S_{\text{м.ном}} \beta_{\text{опт}} \quad (4.18)$$

где $\beta_{\text{опт}}$ - оптимальный коэффициент загрузки; $S_{\text{м.ном}}$ — номинальная мощность трансформатора, кВт.

Ток трансформатора со стороны высокого напряжения при $\beta_{\text{опт}}$:

$$I_{\text{расч}} = \frac{S_{\beta_{\text{опт}}}}{\sqrt{3} \cdot U_{1\text{ном}}} \quad (4.19)$$

где $U_{1\text{НОМ}}$ – номинальное напряжение с высокой стороны трансформатора, кВ.

Ток срабатывания реле рассчитывается с учетом коэффициента отстройки и коэффициента трансформации трансформатора тока:

$$I_{c.p1} = I_{\text{расч}} / (k_{\text{отс}} K_{\text{ТТ}}) \quad (4.20)$$

$$I_{c.p2} = (I_{\text{расч}} k_{\text{отс}}) / K_{\text{ТТ}} \quad (4.21)$$

где $k_{\text{отс}} = 1,05 \div 1,1$ - коэффициент отстройки; $K_{\text{ТТ}} = 0.5$ - коэффициент трансформации измерительного трансформатора тока.

Токи возврата рассчитываются по формулам:

$$I_{в.p1} = k_{в1} I_{c.p1} \quad (4.22)$$

$$I_{в.p2} = k_{в2} I_{c.p2} \quad (4.23)$$

где $k_{в1} = 1,1 \div 1,05$; $k_{в2} = 0,9 \div 0,95$ - коэффициенты возврата соответствующих реле;

Для исключения одновременного срабатывания реле $КА 1$ и $КА2$ должны быть выполнены условия:

$$I_{c.p1} \leq I_{в.p2}$$

$$I_{c.p2} \geq I_{в.p1}$$

Токи срабатывания и токи возврата реле зависят от расчётного тока (рисунок 4.5). Фактические токи срабатывания могут отличаться от рассчитанных токов за счет коэффициента отстройки и погрешности приборов релейной защиты.

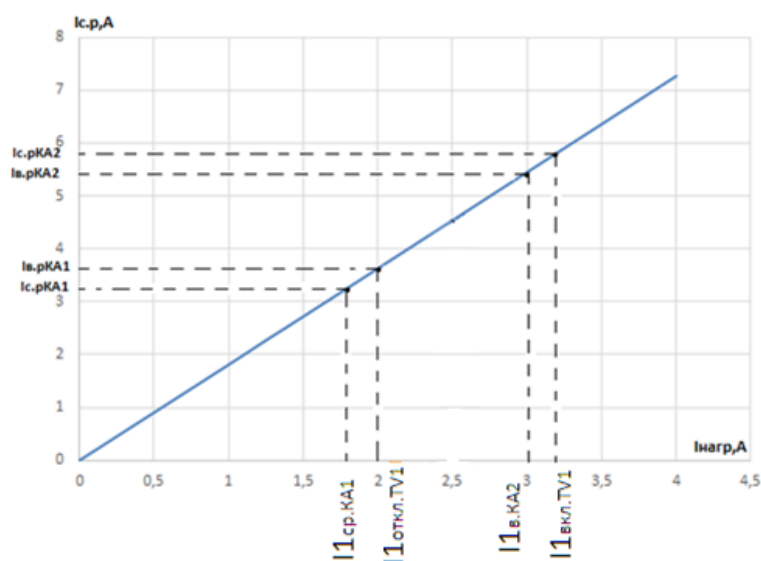


Рисунок 4.5 - Зависимость токов в реле от токов нагрузки при включенном трансформаторе TV2 и автоматическом управлении трансформатором TV1.

Так же на рисунке 4.6 представлен график зависимости приведенных потерь от коэффициента загрузки и числа работающих трансформаторов при срабатывании соответствующих реле. Точки переключения режимов работы трансформаторов и срабатывания реле представлены в таблице 4.2

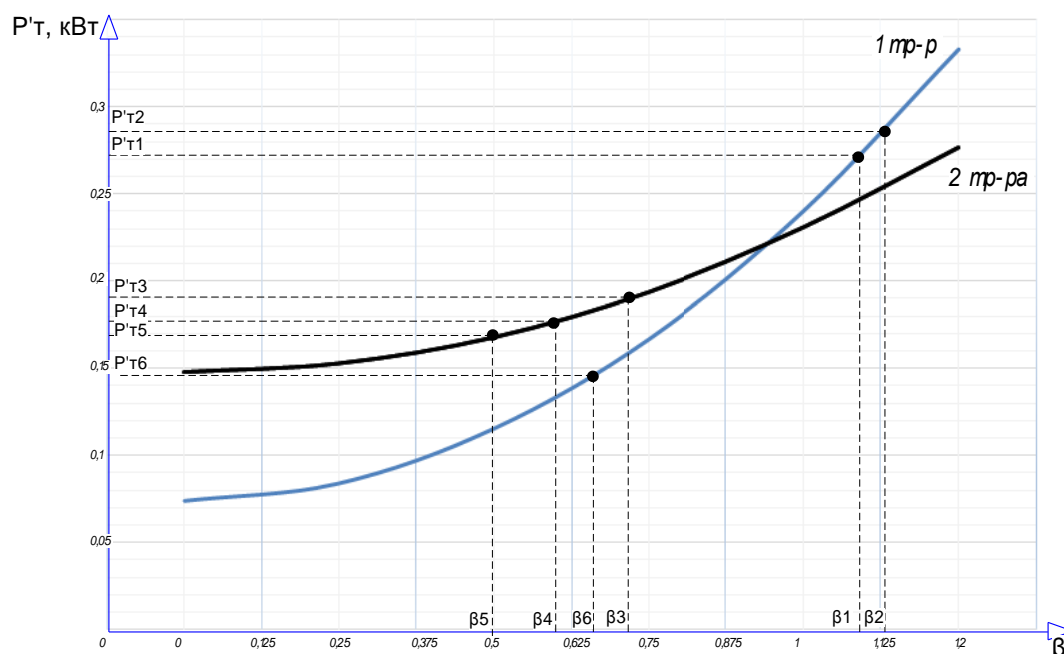


Рисунок 4.6 – График зависимости приведенных потерь от коэффициента загрузки и числа работающих трансформаторов

Таблица 4.2 – Точки переключения режимов работы трансформаторов и срабатывания реле

Коэффициент загрузки	Наименование процесса
β_1	Сработало реле <i>КА1</i> , подготавливается цепь на включение второго трансформатора
β_2	Сработало реле <i>КА2</i> , коэффициент загрузки достиг точки переключения на двухтрансформаторный режим
β_3	Подключился второй трансформатор
β_4	Произошел возврат реле <i>КА2</i> , подготавливается цепь на отключение второго трансформатора
β_5	Произошел возврат реле <i>КА1</i> , коэффициент загрузки достиг точки переключения на однострансформаторный режим
β_6	Отключился второй трансформатор

4.2 Описание лабораторной установки

Лабораторная установка представляет собой действующую модель небольшой понижающей подстанции (рисунок 4.7).

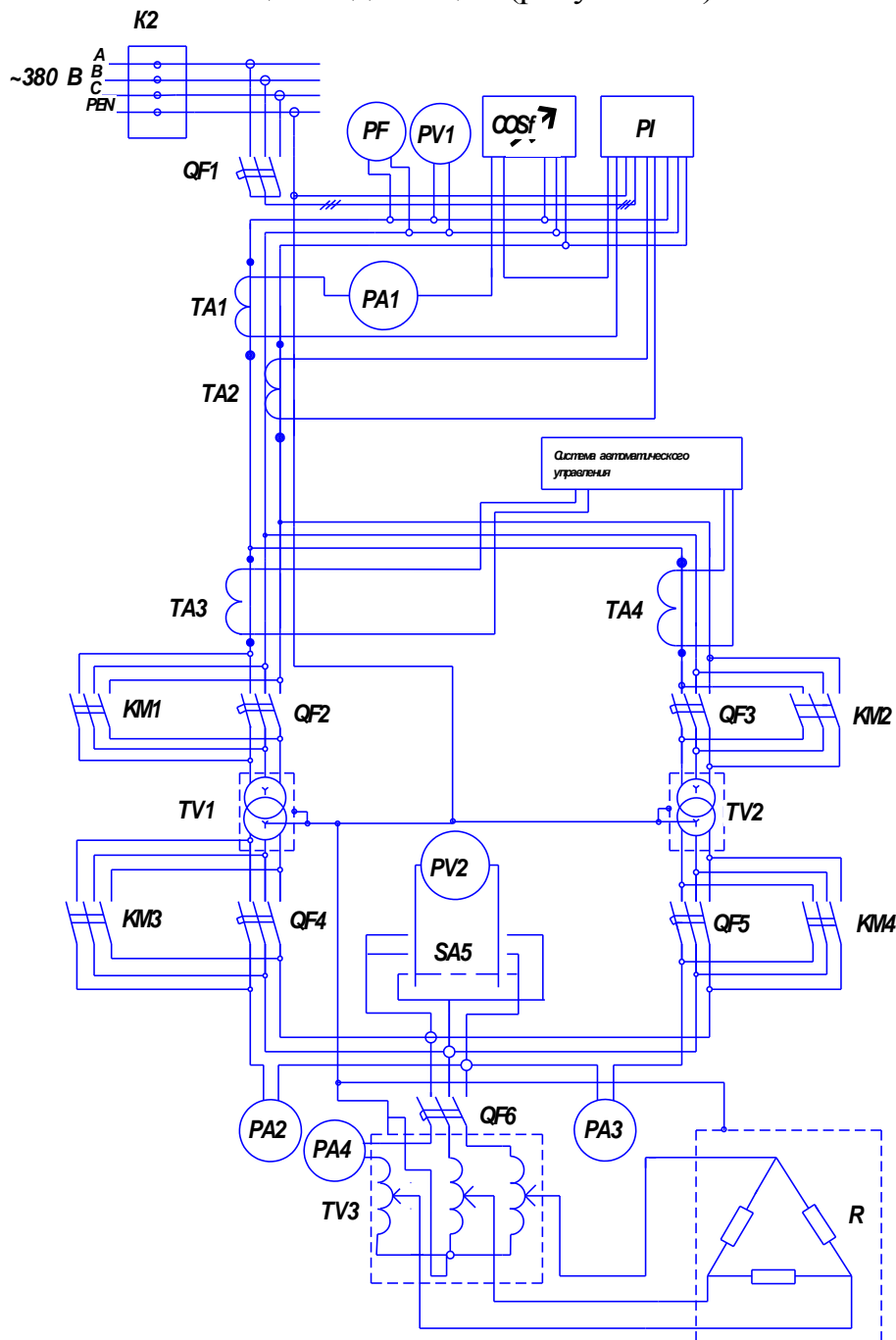


Рисунок 4.7 - Принципиальная схема лабораторного стенда

Перечень оборудования

1. Два понижающих трансформатора $TV1$ и $TV2$ - ИВ-4 1/380/36 УХЛ2, $S_{\text{НОМ}}=1\text{кВа}$; схема соединения обмоток звезда-звезда с нулевым проводом; $I_{\text{НОМ.Н.Н}}=16\text{А.}$, $I_{\text{НОМ.В.Н}}=1,52\text{А.}$, $I_{\text{XX}}=20\%$; $U_{\text{кЗ}}=5,5\%$; $\Delta P_{\text{XX}}=0,057\text{ кВт.}$; $\Delta P_{\text{кЗ}}=0,186\text{ кВт.}$, масса 29,5 кг;

2. Автотрансформатор трехфазный *ATV*- (РНТ-220-12) Частота автотрансформатора -50Гц, Напряжение питания сети 127/220, пределы регулировки выходного напряжения на 2-х вводах 0...250В, ток устройства на выходе 32/40А.

3. Блок сопротивлений трехфазный - КФ22-М, $P_{\text{НОМ}}=4,6$ кВт, $I_{\text{НОМ}}=63$ А, $R=1,15$ Ом.

4. Вводной автоматический выключатель *QF1* - ВА47-29 класс токоограничения 3, $I_{\text{НОМ}}=16$ А., номинальная отключающая способность 4,5 кА.

5. Два автоматических выключателя на стороне высокого напряжения *QF2* и *QF3* - ВА47-29 трехполюсный, класс токоограничения 3, $I_{\text{НОМ}}=10$ А., номинальная отключающая способность 4,5 кА.

6. Два автоматических выключателя на стороне низкого напряжения *QF3* и *QF4* - ВА47-29 трехполюсный, класс токоограничения 3, $I_{\text{НОМ}}=20$ А., номинальная отключающая способность 4,5 кА.

7. Автоматический выключатель служащий для подключения и отключения нагрузки *QF6* - ВА47-29 трехполюсный, класс токоограничения 3, $I_{\text{НОМ}}=50$ А., номинальная отключающая способность 4,5 кА.

8. Трансформаторы тока *TA3*, *TA4* - И54М. Первичные токи 0,5; 1; 2; 5; 10; 20; 50; А. Вторичный ток 5 А. Коэффициент трансформации $K_{\text{ТТ}}=0.5$. Класс точности 0.2; Номинальное первичное напряжение 660В., трансформаторы *TA1*, *TA2* указанные на схеме в работе не используются так как измерительные приборы, рассчитаны на прямое подключение.

9. Контактры *KM1*, *KM2*, *KM3*, *KM4* - ПМЕ 211 $U_{\text{НОМ}}=380$ В., $I_{\text{НОМ}}=25$ А., $U_{\text{НОМ.К.В}}=220$ В.

Измерительные приборы:

10. Амперметры прямого включения *PA1*, *PA2*, *PA3* Э365 на ток 10; 30; 30; 50А. соответственно, класс точности 1,5.

11. Вольтметры прямого включения типа *PV1*, *PV2* – ЭВ377, класс точности 1,5.

12. Фазометр $\cos\varphi$ - Д342, $U_{\text{НОМ}}=380$ В, $I_{\text{НОМ}}=5$ А, класс точности 2,5.

13. Частотомер *PF* - Д340, $U_{\text{НОМ}}=380$ В, класс точности 1.

14. Счетчик активной реактивной электроэнергии МЕРКУРИЙ 230АТ прямого включения $U_{\text{НОМ}}=380$ В, $I_{\text{НОМ}}=5$ А., $I_{\text{МАХ}}=50$ А., класс точности 1. Данный счетчик имеет расширенный диапазон измеряемых величин, которые выбираются длительным нажатием на кнопку ©. МЕРКУРИЙ 230АТ имеет возможность измерять частоту питающей сети, коэффициент мощности, напряжение, ток, потребляемую активную и реактивную мощности.

В схеме автоматического включения и отключения трансформаторов используются:

15. Токовые реле *KA1* и *KA2* - РТ40/10 УХЛ2 $I_{\text{Н}}=10$ А., количество контактных групп $n=2$.

16. Промежуточные реле *KL1*, *KL2*, *KL3*, *KL4*, *KL5* - РПУ2-М3 $U_{\text{НОМ}}=220$ В количество контактных групп $n=8$, номинальный ток контактов 6А.

17. Реле времени KT - РВ245 $U_{\text{ном}}=220\text{В}$, диапазон уставок 0-3,5 сек.
18. В качестве индикации используются лампы $HLG1$, $HLG2$, $HLG3$, $HLG4$, $HLG5$, $HLG6$ серии AD-22DS $U_{\text{ном}}=220\text{В}$.
19. Переключатели $SA2$, $SA3$, $SA4$, $SA5$ - ПС-22 $I_{\text{ном}}=10\text{А}$.
20. Тумблер $SA1$ – 1221 вкл.- откл. 2 группы контактов TDM, $I_{\text{ном}}=10\text{А}$.

Описание работы принципиальной схемы лабораторной установки Трёхфазные цепи

Трансформаторы $TV1$ и $TV2$ могут работать по отдельности, так же могут быть включены на параллельную работу. Они работают на общую активно индуктивную нагрузку, которая состоит из автотрансформатора ATV и блока резисторов КФ22-М. При вращении регулировочной рукоятки автотрансформатора ATV изменяется нагрузка на трансформаторах $TV1$, $TV2$ в связи с изменением коэффициента трансформации ATV .

При включении выключателя $QF4$ в шкафу ШР1 электроэнергия напряжением 380 В поступает на распределительную коробку К2. При включении на стенде выключателя $QF1$ электроэнергия от распределительной коробки К2 поступает в трёхфазные электрические цепи лабораторной установки: в цепях измерения стенда появляется напряжение, загорается сигнальная лампа $HLG1$. На измерительных приборах со стороны высокого напряжения трансформаторов $TV1$ и $TV2$ отобразятся показания измеряемых величин: частота, напряжение, коэффициент мощности. Трансформатор $TV1$ подключаются в работу с высокой стороны выключателем $QF2$. Соответственно $TV2$ подключается в работу с высокой стороны выключателем $QF3$. При включении трансформаторов на параллельную работу включаются одновременно два выключателя $QF2$ и $QF3$.

Нагрузка трансформаторов подключается выключателями $QF4$, $QF5$, $QF6$. При работе под нагрузкой одного трансформатора $TV1$ должны быть включены выключатели $QF3$, $QF4$, $QF6$. При работе под нагрузкой трансформатора $TV2$ должны быть включены выключатели $QF3$, $QF5$, $QF6$. Следует учесть, если работа осуществляется на одном трансформаторе, то питание второго трансформатора должно быть отключено, так как это повлечет за собой дополнительные потери холостого хода ненагруженного трансформатора. При включении выключателя $QF4$ или $QF5$ вольтметр $PV2$ отображает значение напряжения вторичной цепи, при помощи переключателя $SA5$ можно измерить линейные напряжения между разными фазами. При параллельной работе трансформаторов $TV1$ и $TV2$ под нагрузкой должны быть включены все выключатели.

Для увеличения нагрузки ручка автотрансформатора ATV вращается по часовой стрелке, при этом, растёт ток нагрузки, который можно отслеживать по амперметрам. При работе трансформатора $TV1$ снимаются показания (I_1 , I_2 , I_4) амперметров $PA1$, $PA2$, $PA4$; при работе $TV2$ (I_1 , I_3 , I_4) амперметров $PA1$, $PA3$, $PA4$; при параллельной работе трансформаторов снимаются показания всех амперметров.

Номинальный вторичный ток одного трансформатора лабораторной установки $TV1$ и $TV2$ составляет 16 А: при нагрузках соответственно 0%, 25%, 50%, 75, 100%, 125% измеряемые токи каждого трансформатора должны быть 0 А; 4 А; 8 А; 12 А; 16 А; 20 А. При параллельной работе двух трансформаторов с указанными нагрузками общий суммарный ток I_4 должен быть в два раза больше тока одного трансформатора.

Схема автоматического управления

Включение схемы автоматического управления (рисунок 5) режимами работы трансформаторов осуществляется тумблером $SA1$. О включении схемы сигнализирует лампа $HLG2$.

Переключатель $SA2$ включаем в положение «0». При включении $SA2$ в положение 1 схема управления автоматически выводится из работы.

Переключатель $SA3$ осуществляет включение, и отключение контактов реле времени. $SA3$ ставится в положение 1.

С помощью переключателя $SA4$ осуществляется выбор трансформатора, на котором будет осуществляться автоматическое управление:

— переключатель $SA4$ установлен в положение 1 — трансформатор $TV1$ находится в автоматическом режиме;

— переключатель $SA4$ установлен в положение 2 — трансформатор $TV2$ находится в автоматическом режиме.

Пусковыми элементами схемы управления служат реле тока: $KA1$ — минимальное; $KA2$ — максимальное. Реле подключены через трансформаторы тока $TA3$ и $TA4$ с коэффициентом трансформации $K_{ТТ} = 0,5$. Оба реле включены на сумму токов параллельно работающих трансформаторов. При оптимальном коэффициенте загрузки трансформаторов оба реле держат свои контакты в следующих положениях:

$KA1$ — разомкнутыми; замыкаются при снижении нагрузки (тока) до такой величины при которой коэффициент загрузки равен $\beta = \beta_5$ (смотреть рисунок 4.6 методических указаний);

$KA2$ — разомкнутыми; замыкаются при увеличении тока до такой величины, при которой коэффициент загрузки равен $\beta = \beta_2$ (смотреть рисунок 4.6 методических указаний).

В режиме автоматического управления один из трансформаторов включается в работу выключателями, а второй включается и отключается автоматической схемой управления.

При включенном выключателями $QF1$, $QF3$, $QF5$, $QF6$ под нагрузку трансформаторе $TV2$ осуществляется автоматическое управление трансформатором $TV1$. Переключатель $SA4$ ставится в положение 1, $SA2$ в положение «0», $SA3$ в положение 1.

При росте нагрузки, ток со стороны высокого напряжения увеличивается, со вторичных цепей трансформаторов тока $TA3$, $TA4$ ($K_{ТТ} = 0,5$), ток приходит на токовые реле, при достижении определенного значения $I_{расч}$ при котором $\beta = \beta_2$ (смотреть рисунок 4.6 методических указаний) срабатывает реле $KA2$, замыкает

свой контакт $KA2.1$ и получает питание катушка реле $KL2$, которое создаёт следующие изменения в схеме:

- 1) при размыкании контактов $KL2.1$ разрывается цепь питания катушки реле $KL1$;
- 2) контакты $KL2.2$ замыкаются, подается питание на катушку реле KT ;
- 3) замыкаются контакты $KL2.3$, подготавливается цепь на включение одного из трансформаторов. По истечении заданного времени замыкается контакт $KT1$;
- 4) получает питание катушки реле $KL4$, которое замыкает свои контакты $KL 4.1$ и $KL 4.2.$, при этом в свою очередь образуются цепи питания катушек контакторов $KM1$, $KM3$, подключенных параллельно выключателям $QF2$, $QF4$, соответственно;
- 5) подключается трансформатор $TV1$ при этом коэффициент загрузки становится равным: $\beta=\beta_3$ (смотреть рисунок 4.6 методических указаний), загораются сигнальные лампы $HLG3$, $HLG5$.

При снижении нагрузки трансформаторов, ток со стороны высокого напряжения уменьшается до определенного значения $I_{расч}$ при котором коэффициент загрузки $\beta=\beta_5$ (смотреть рисунок 4.6 методических указаний), срабатывает реле $KA1$, замыкает свой контакт $KA1.1$ и получает питание катушка реле $KL1$, которое создаёт следующие изменения:

- 1) размыкается контакт $KL1.1$ разрывает цепь питания катушки реле $KL2$;
- 2) при замыкании контакта $KL 1.2$ образуется цепь питания катушки реле времени KT ;
- 3) замыкается контакт $KL 1.3$, тем самым подготавливает цепь на отключение трансформатора $TV1$;
- 4) по истечению заданного времени замыкается контакт $KT1$, получает питание катушка реле $KL3$, которая размыкает свой контакт $KL3.1$, и образует цепь на отключение контакторов $KM1$, $KM3$.
- 5) Трансформатор $TV1$ отключается, коэффициент загрузки при этом равен $\beta=\beta_6$ (смотреть рисунок 4.6 методических указаний) сигнальные лампы $HLG3$, $HLG5$ гаснут.

Как видно из схемы, реле $KL1$ и $KL2$ не могут действовать одновременно на отключение и включение трансформатора.

При включенном выключателями $QF1$, $QF2$, $QF4$, $QF6$ под нагрузку трансформаторе $TV1$ осуществляется автоматическое управление трансформатором $TV2$. Переключатель $SA4$ ставится в положение 1, $SA2$ в положение «0», $SA3$ в положение 1.

При росте нагрузки, ток со стороны высокого напряжения увеличивается, со вторичных цепей трансформаторов тока $TA3$, $TA4$, ток приходит на токовые реле, достигнув определенного значения $I_{расч}$ при котором $\beta=\beta_2$ (смотреть рисунок 4.6), срабатывает реле $KA2$, замыкает свой контакт $KA2.1$ и получает питание катушка реле $KL2$, которая выполняет следующие изменения в схеме:

- 1) размыкается контакт $KL2.1$, который разрывает цепь питания катушки реле $KL1$;

- 2) замыкается контакт $KL2.2$, образуется цепь питания катушки реле времени KT ;
- 3) замыкается контакт $KL2.3$, подготавливает цепь питания на подключение трансформатора $TV1$.
- 4) получает питание катушка реле $KL4$, замыкаются контакты $KL4.1$ и $KL4.2$, которые в свою очередь образуют цепь питания катушки включения контакторов $KM2$, $KM4$, подключенных параллельно выключателям $QF3$, $QF5$, соответственно;
- 5) подключается трансформатор $TV2$, коэффициент загрузки при этом равен $\beta=\beta_3$ (смотреть рисунок 4.6), загораются сигнальные лампы $HLG4$, $HLG6$.

При снижении нагрузки, ток со стороны высокого напряжения уменьшается до определенного значения $I_{расч}$, при котором $\beta=\beta_5$ (смотреть рисунок 4.6) срабатывает реле $KA1$, замыкает свой контакт $KA1.1$ и получает питание катушка реле $KL1$, которая выполняет следующие изменения в схеме:

- 1) размыкается контакт $KL1.1$ разрывает цепь питания катушки реле $KL2$,
- 2) при замыкании контакта $KL1.2$ образуется цепь питания катушки реле времени KT ;
- 3) замыкается контакт $KL1.3$, тем самым подготавливает цепь на отключение трансформатора $TV2$.
- 4) по истечению заданного времени замыкается контакт $KT1$, получает питание катушка реле $KL3$, которая размыкает свой контакт $KL3.1$, и образует цепь на отключение контакторов $KM2$, $KM4$;
- 5) трансформатор $TV1$ отключается, при этом коэффициент загрузки равен $\beta=\beta_6$ (смотреть рисунок 4.6), сигнальные лампы $HLG3$, $HLG5$ гаснут.

Как видно из схемы, реле $KL1$ и $KL2$ не могут действовать одновременно на отключение и включение трансформатора.

4.3 Ход выполнения работы

1- Ручное управление трансформаторной подстанцией

1.1. Включить выключатель $QF1$. Загорится сигнальная лампа $HLG1$, сигнализирующая о том, что стенд находится под напряжением.

1.2. Выключателем $QF2$ подать питание на трансформатор $TV1$, (работа на холостом ходу).

1.3. Записать показания всех приборов со стороны высокого напряжения (PVI , PF); Фиксируем показания счетчика (активная и реактивная мощности, потребляемые подстанцией; коэффициент мощности, ток). Переключение измеряемых величин производится длительным нажатием на кнопку ©. Занести данные в таблицу 1.

1.4. Включить выключатель $QF4$. При помощи вольтметра $PV2$ и переключателя $SA2$ измерить линейные напряжения со стороны вторичного

напряжения (U_{ac} , U_{bc}), записать показания амперметров $PA2$, $PA4$. Занести данные в таблицу 4.3.

1.5. Включить автомат $QF6$ и, вращая рукоятку автотрансформатора ATV по часовой стрелке, установить токи нагрузки трансформатора, близкие к 25, 50, 75, 100, 125 % номинального вторичного тока ($I_{ном} = 16$ А). Занести показания приборов для каждого тока нагрузки в таблицу 4.3.

1.6. Снять нагрузку вращением рукоятки автотрансформатора ATV против часовой стрелки. Выключить автоматы $QF2$ и $QF4$.

1.7. Включить трансформатор $TV2$ автоматами $QF3$ и $QF5$ на холостой ход, а затем повторить все опыты по пунктам 1.3-1.6; результаты занести в таблицу 4.3.

Таблица 4.3 -Экспериментальные данные

№ опыта	Нагрузка	Показание приборов									
		Со стороны первичного напряжения					Со стороны вторичного напряжения				
		U1, В	I1, А	S,кВ А	cosφ	F, Гц	Uac,В	Unc, В	I2, А	I3, А	I4, А
ТрансформаторTV1											
1	0%										
2	25%										
3	50%										
4	75%										
5	100%										
6	125%										
Трансформатор TV2											
1	0%										
2	25%										
3	50%										
4	75%										
5	100%										
6	125%										
Трансформаторы Т V1 и Т V2											
1	0%										
2	25%										
3	50%										
4	75%										
5	100%										
6	125%										

1.8. Провести исследование двух трансформаторов при параллельной работе. Все выключатели должны быть включены ($QF1$, $QF2$, $QF3$, $QF4$, $QF5$,

QF6). Выполнить измерения по пунктам 1.3 – 1.6 соответственно при нагрузках 0, 25, 50, 75, 100, 125 %.

Занести показания приборов в таблицу 4.3. Следить за тем, чтобы нагрузка ни одного из трансформаторов не превысила 125%, т.е. 20 А. Следить, чтобы показания амперметра PA1 не превышали 5 А.

1.9. Рассчитать приведенные потери $\Delta P'_T$, используя каталожные данные трансформатора ИВ-4 заполнить таблицу 4.4.

Таблица 4.4 – Расчёт приведенных потери мощности

Исходные данные					Расчетные потери мощности в одном трансформаторе		Приведенные потери	
							Для одного тр-ра.	Для двух тр-ров ;N=2
β	I_{xx} , %	$U_{kз}$, %	ΔP_{xx} , кВт	$\Delta P_{кз}$, кВт	$\Delta P_T = \Delta P_{xx} + \beta^2 \Delta P_{кз}$, кВт.	$\Delta Q_T = \Delta Q_{xx} + \beta^2 \Delta Q_{кз}$, квар.	$\Delta P_{T'} = \Delta P_{xx'} + \Delta P_{кз'} \beta^2$, кВт.	$\Delta P_{T'} = \Delta P_{xx'} N + (\Delta P_{кз'} (\beta^2 2))/N$, кВт.
0	17	6	0,057	0,160				
0.25	17	6	0,057	0,160				
0.5	17	6	0,057	0,160				
0.75	17	6	0,057	0,160				
1	17	6	0,057	0,160				
1.25	17	6	0,057	0,160				

Примечание к таблице 4.3:

$\Delta P'_{xx}$ – приведенные активные потери холостого хода, кВт:

$$\Delta P'_{xx} = \Delta P_{xx} + k_{пп} \Delta Q_{xx}$$

ΔQ_{xx} – реактивные потери мощности холостого хода, квар:

$$\Delta Q_{xx} = S_n \frac{I_{xx}\%}{100}$$

Приведенные активные потери короткого замыкания, кВт:

$$\Delta P'_{кз} = \Delta P_{кз} + k_{пп} \Delta Q_{кз}$$

где $\Delta Q_{кз}$ – реактивные потери мощности короткого замыкания, квар:

$$\Delta Q_{кз} = S_n \frac{I_{кз}\%}{100}$$

1.10. На основании таблиц 4.3 4.4, построить графики зависимостей $U_2 = f(I_1)$; $\Delta P'_T = f(\beta)$; $\cos \varphi = f(I_1)$; $S = f(I_1)$.

2-Автоматическое управление трансформаторной подстанцией

Для перевода работы схемы в автоматический режим необходимо проделать следующие мероприятия:

2.1. На основании графика зависимости $\Delta P_T' = f(\beta)$, построенного на основании таблицы 4.4 определить оптимальный коэффициент загрузки $\beta_{\text{опт}}$, рассчитать токи срабатывания пусковых органов по следующим формулам:

Мощность нагрузки трансформатора при оптимальном коэффициенте загрузки рассчитывается по формуле:

$$S_{\beta_{\text{опт}}} = S_{\text{м.ном}} \beta_{\text{опт}} \quad (4.24)$$

где $\beta_{\text{опт}}$ - оптимальный коэффициент загрузки; $S_{\text{м.ном}}$ - номинальная мощность трансформатора, кВт.

Ток трансформатора со стороны высокого напряжения при $\beta_{\text{опт}}$:

$$I_{\text{расч}} = \frac{S_{\beta_{\text{опт}}}}{\sqrt{3} \cdot U_{1\text{ном}}} \quad (4.25)$$

$U_{1\text{ном}}$ - номинальное напряжение с высокой стороны трансформатора, кВ.

Ток срабатывания реле $KA1$ и $KA2$ рассчитывается с учетом коэффициента отстройки и коэффициента трансформации трансформатора тока:

$$I_{\text{с.р1}} = I_{\text{расч}} / (k_{\text{отс}} K_{\text{тт}}) \quad (4.26)$$

$$I_{\text{с.р1}} = (I_{\text{расч}} k_{\text{отс}}) / K_{\text{тт}} \quad (4.27)$$

где $k_{\text{отс}} = 1,05 \div 1,1$ - коэффициент отстройки; $K_{\text{тт}} = 0,5$ — коэффициент трансформации измерительного трансформатора тока.

Токи возврата рассчитываются по формулам:

$$I_{\text{в.р1}} = k_{\text{в1}} I_{\text{с.р1}} \quad (4.28)$$

$$I_{\text{в.р2}} = k_{\text{в2}} I_{\text{с.р2}} \quad (4.29)$$

где $k_{\text{в1}} = 1,1 \div 1,05$; $k_{\text{в2}} = 0,9 \div 0,95$ - коэффициенты возврата соответствующих реле;

Для исключения одновременного срабатывания реле $KA1$ и $KA2$ должны быть выполнены условия:

$$I_{\text{с.р1}} \leq I_{\text{в.р2}}$$

$$I_{\text{с.р2}} \geq I_{\text{в.р1}}$$

Занести расчётные токи срабатывания и возврата токовых реле в таблицу 4.5.

2.2. На токовых реле $KA1$ и $KA2$ выставить соответствующие уставки. Занести выбранные уставки в таблицу 4.5.

2.3. Включить схему автоматического управления трансформаторами нажатием тумблера $SA1$ вверх. Загорится сигнальная лампа $HLG2$ (на схему управления подано напряжение).

2.4. Переключателем $SA4$ выбрать трансформатор, на котором будет осуществляться автоматическое управление. Включением переключателя $SA4$ в положение "1" или "2" выбирается соответствующий трансформатор. Переключатель $SA2$ должен находиться в положении «0», переключатель $SA3$ в положении «1».

2.5. Чтобы перевести трансформатор $TV1$ в автоматический режим, нужно:

а) Включить последовательно автоматы $QF1, QF3, QF5, QF6$.

б) Подать нагрузку на трансформатор $TV2$, медленным вращением регулировочной рукоятки автотрансформатора ATV .

в) При достижении $I_1 = I_p$ произойдет включение в работу трансформатора $TV1$, о чем будут сигнализировать сигнальные лампы $HLG3$ и $HLG5$. Следить, чтобы показания амперметра $PA1$ не превышали 4 А. Затем необходимо снизить нагрузку до отключения трансформатора $TV1$ (сигнальная лампа гаснет). Фиксируем фактические ток нагрузки I_1 и полную потребляемую мощность S при которых происходит срабатывание и возврат реле $KA1$ и $KA2$ а так же включение и отключение трансформатора. Показания тока и мощности снимаем по счетчику, выбор измеряемой величины производится путем длительного нажатия кнопки © на счётчике.

2.6. Прodelать данный опыт для трансформатора $TV2$, для этого прodelать следующее:

а) Снизить нагрузку трансформатора до нуля вращением автотрансформатора ATV против часовой стрелки.

б) Отключить последовательно автоматы $QF6, QF5, QF3$.

в) Тумблер $SA4$ переключить в положение 2.

г) Последовательно включить автоматы $QF2, QF4, QF6$.

д) Подать на схему нагрузку медленным вращением автотрансформатора ATV по часовой стрелке. При достижении $I_1 = I_{c.p2}$ произойдет включение в работу трансформатора $TV2$, о чем будет сигнализировать включение сигнальных ламп $HLR4$ и $HLG6$.

е) Фиксируем фактические ток нагрузки I_1 и полную потребляемую мощность S при которых происходит срабатывание и возврат реле $KA1$ и $KA2$ а так же включение и отключение трансформатора. Показания тока и мощности снимаем по счетчику, выбор измеряемой величины производится путем длительного нажатия кнопки © на счётчике.

2.7. Для завершения работы необходимо прodelать следующие мероприятия:

а) Снять нагрузку вращением рукоятки автотрансформатора ATV против часовой стрелки;

б) Последовательно выключить автоматы $QF6, QF4, QF2, QF1$.

в) Снять напряжение системы со схемы устройства автоматического включения и отключения трансформатора переводом тумблера $SA1$ в нижнее положение.

г) По экспериментальным данным таблицы 5, рассчитать фактические токи срабатывания и возврата реле, рассчитать коэффициенты загрузки при которых происходит подключение и отключение второго трансформатора.

д) Построить графики зависимости полной мощности на первичной стороне от тока нагрузки для работы одного трансформатора и для параллельной работы двух трансформаторов.

е) Построить график зависимости тока срабатывания и возврата реле от тока нагрузки I .

2.8. Используя данные таблицы 4.4 и 4.5 пересчитать токи нагрузки и срабатывания реле, рассчитать приведенные потери. Переносим полученные данные при процессах 1-6 на графики зависимости $\Delta P'_T = f(\beta)$; $S = f(I_1)$. Определяем зону изменений приведенных потерь при автоматическом управлении режимами работы трансформаторов.

Примечание:

Перерасчёт токов ведется с учетом коэффициента трансформации трансформаторов тока. Для определения фактического тока в реле следует разделить фактический ток нагрузки I_1 на коэффициент трансформации $K_{тТ} = 0.5$.

Таблица 4.5 - Экспериментальные данные

Процессы	Описание протекающего процесса	Измеренные величины на стороне высокого напряжения		Расчётные величины		
		Ток I_1 , А	Полная мощность с высокой стороны, S, кВА	Токи в реле	$\beta = \frac{S_{т.факт}}{S_{т.н}}$	$\Delta P'_T$, кВт
Расчет токов в реле, коэффициента загрузки, приведенных потерь и измерение мощности	Перерасчет тока нагрузки при заданных токах срабатывания и возврата реле, определение потерь мощности			Иср.1		
				Иср.2		
				Ив.2		
				Ив.1		
	Выбор уставок			Иу.1		
	Выбор уставок			Иу.2		

Продолжение таблицы 4.5

	Фактические данные при происходящих переключениях					
Коэффициент загрузки β_1	Сработало реле КА1, подготавливается цепь на включение второго трансформатора			Иср.ф.1		
Коэффициент загрузки β_2	Сработало реле КА2			Иср.ф.2		
Коэффициент загрузки β_3	Включился второй трансформатор					
Коэффициент загрузки β_4	Произошел возврат реле КА2, подготавливается цепь на отключение второго трансформатора.			Ив.ф.1		
Коэффициент загрузки β_5	Произошел возврат реле КА1.			Ив.ф.2		
Коэффициент загрузки β_6	Отключился второй трансформатор					

Требования к оформлению отчета

1. Цель лабораторной работы.
2. Схема лабораторной установки.
3. Результаты исследований работы двухтрансформаторной подстанции в различных режимах в виде таблиц 4.3-4.5 методических указаний.
4. Графики зависимостей полной мощности подстанции от тока нагрузки со стороны высокого напряжения для одного трансформатора и для двух трансформаторов. Графики $U_2 = f(I_4)$, $\Delta P_T = f(\beta)$, $\cos\varphi = f(I1)$. Выполнить анализ графиков. Определить зону управления, в которой происходят переключения, для приведенных потерь.
5. Привести расчёт величин (табл. 4.5).
6. Анализ полученных результатов.
7. Выводы по проделанной работе.

Примечание: приведенные потери для табл. 4.5 получаем по значению β по графикам рис. 4.6 методических указаний.

Контрольные вопросы:

1. Перечислите виды трансформаторных подстанций
2. Для чего используется параллельная работа трансформаторов цеховых подстанциях?
3. Условия параллельной работы трансформатора?
4. Несоблюдение какого условия приводит к непропорциональному распределению нагрузки между трансформаторами?
5. Схема включения трансформаторов на параллельную работу?
6. Потери мощности в трансформаторе?
7. От чего зависят реактивные потери в трансформаторе? Приведите формулы расчета реактивных потерь.
8. От чего зависят активные потери мощности в трансформаторе? Приведите формулы расчета реактивных потерь?
9. Коэффициент загрузки трансформатора. Влияние коэффициента загрузки трансформатора на потери мощности
10. От чего зависит оптимальная цеховая загрузка трансформатора, каковы оптимальные коэффициенты загрузки для потребителей разной категории
11. Выбор оптимального числа трансформатора.
12. Как рассчитываются приведенные потери мощности в трансформаторе? От чего они зависят?
13. Как строится график зависимости приведенных потерь активной мощности в трансформаторах от их загрузки и числа?
14. От чего зависит критическая величина коэффициента загрузки и как он рассчитывается?
15. Принцип работы системы автоматического управления и ее основные элементы?
16. Расчет токов срабатывания и выбор уставок реле
17. Как токи срабатывания и возврата реле зависят от расчетного тока нагрузки?
18. Описание принципиальной схемы лабораторной установки
19. Почему предельная мощность трансформаторов для цеха ограничивается?
20. Как определяется удельная плотность нагрузки цеха?
21. Какие рекомендуются трансформаторы в зависимости от удельной плотности нагрузки цеха?
22. Перечислите достоинства и недостатки отдельной и параллельной работы трансформаторов.

5. Безопасность жизнедеятельности

Безопасность жизнедеятельности - это состояние деятельности, при которой с определенной вероятностью исключаются потенциальные опасности, влияющие на здоровье человека.

Безопасность — это комплексная система мер по защите человека и среды его обитания от опасностей формируемых конкретной деятельностью. Чем сложнее вид деятельности, тем более расширена система защиты.

Для обеспечения безопасности конкретной деятельностью должны быть решены три задачи.

1. Разработать эффективные меры защиты человека и среды обитания от выявленных опасностей. Под "эффективными" подразумеваются такие меры по защите, которые при минимуме материальных затрат обеспечивают максимальный эффект.

2. Произвести полный детальный анализ опасностей, формируемых в изучаемой деятельности.

3. Разработать эффективные меры защиты от остаточного риска данной деятельности. Они необходимы, так как обеспечить абсолютную безопасность деятельности невозможно

Рабочее место - СФУ, Институт горного дела, геологии и геотехнологии, учебный корпус, кафедра ЭГМП, аудитория № 109 б.

Оборудование - стенд для проведения лабораторных работ (Исследование работы двухтрансформаторной подстанции в ручном и автоматическом режиме).

Стенд представляет собой лист ЛДСП закрепленный на металлическом каркасе размером 3180x1480 мм. Всё оборудование размещено на задней стенке. Доступ к токоведущим частям полностью ограничен конструктивным исполнением стенда из изоляционного материала. Все токоведущие части стенда выполнены в двойной изоляции. Дополнительно присутствуют предупреждающие знаки и надпись на крышке задней панели «Не открывать не отключив от сети» и знак электрической опасности. Дополнительно на стенде обозначена величина напряжения.

Помещение, в котором установлен стенд имеет температуру окружающего воздуха $+25^{\circ}\text{C}$ при относительной влажности 45%. Вентиляция помещения - естественная. С помощью окон обеспечивается кратность воздухообмена при скорости движения воздуха до 0,5 м/с согласно ГОСТ 30494.

1. Инструкция по безопасности при работе с лабораторной установкой «Исследование режимов работы двухтрансформаторных подстанций»

Стенд подключен к сети переменного тока напряжением 380В. На входе питания в стенд установлен автоматический выключатель, который выполняет функции выключателя и защиты при коротких замыканиях и перегрузках. Питание стенда выполнено путем подключения гибкого кабеля с двойной изоляцией.

Эксплуатационному персоналу запрещается производить разборку стенда, снятие задней и передней стенки без отключения вводного автоматического выключателя на стенде и отключения питающего кабеля путем отключения разъемного соединения на распределительном щитке в аудитории №109 б.

Стенд подключен к заземляющей сети в виде шины проложенной по периметру аудитории вдоль ее стен на уровне 30 см. от пола. Материал: стальная полоса 30x2,5 мм.

Во время выполнения работы на стенде запрещается:

- Выполнять действия, противоречащие полученным заданиям и методичек;
- Оставлять без наблюдения стенд, находящийся под напряжением;
- Включать не имеющие отношения к данной работе аппараты, приборы и рубильники.

Студенты должны бережно и аккуратно обращаться с аппаратурой, приборами и инструментами.

Во всех случаях обнаружения неисправного состояния оборудования, измерительных приборов и проводов необходимо немедленно поставить в известность преподавателя.

2. Требования по безопасности перед выполнением работы

Проверить отсутствие напряжения на лабораторном стенде (автоматические выключатели должны быть выключены, индикаторные лампы не должны гореть).

Работая в лаборатории, студенты не должны отвлекаться и отвлекать других. Запрещается самовольное расширение рабочего места.

Студент должен предварительно проверить соответствие выполняемой работы порученному заданию. В случае неясности пригласить для проверки преподавателя или лаборанта.

3. Требования по безопасности при выполнении работы и аварийных режимах

Включение стенда производится только с разрешения преподавателя или лаборанта и только после предупреждения об этом всех студентов, работающих на данном рабочем месте.

В случае короткого замыкания эксплуатирующий персонал должен проверить срабатывание автоматического выключателя. При повреждении оборудования, студент должен немедленно отключить автоматический выключатель на щитке рабочего места. Обо всех неисправностях, эксплуатирующий персонал, не делая попыток к исправлению, должен немедленно сообщить преподавателю.

При отсутствии напряжения в цепи автоматический выключатель должен быть в отключенном состоянии.

4. Правила безопасности по окончанию работы

По окончании лабораторной работы, студент должен поставить в известность преподавателя или лаборанта. После проверки и разрешения

преподавателя следует:

- выключить автомат питания;
- навести порядок на рабочем месте;
- сообщить преподавателю или лаборанту об окончании работы на стенде.

5. Мероприятия по производственной санитарии

Помещение, в котором установлен стенд имеет стены побелены в белый цвет. Пол - деревянный, способ уборки - влажной тряпкой.

Система отопления - централизованное, вид теплоносителя - горячая вода до 85⁰С. В качестве нагревательного прибора используются чугунные батареи в количестве 4 штуки по 7 рёбер.

Санитарно-бытовые помещения. На каждом этаже имеется мужской и женский санузел. Все санузлы оборудованы умывальниками. На первом этаже размещён гардероб.

Аудитория имеет площадь 72м². Количество оконных проёмов - 4, размеры - 1,5х2,5 м. Оконные рамы выполнены из материала ПВХ с тройным стеклопакетом.

Искусственное освещение аудитории выполнено светильниками с люминесцентными лампами типа ЛБ-20. Количество светильников - 18 шт., количество ламп в светильнике - 4шт. Нормируемое освещение согласно СНиП 23-05-95 "Естественное и искусственное освещение" составляет 100 лк.

6. Мероприятия по пожарной и взрывной безопасности

Возможные источники взрывоопасности - отсутствуют.

Источники пожароопасности: короткое замыкание электрической цепи, небрежное отношение с открытым огнём (проведение ремонтных работ технических коммуникаций). В производстве не используются горючие газообразные, жидкие или твердые вещества.

Аудитория оборудована двумя огнетушителями, в коридоре имеется один огнетушитель и ящик с песком. Огнетушители типа ОП-5. На случай пожара здание учебного корпуса оборудовано противопожарной сигнализацией, звуковым оповещением и включением табличек эвакуационных выходов.

В случае возникновения пожара студент обязан:

- а) немедленно отключить главный рубильник или автоматический выключатель;
- б) принять меры по удалению всех людей из опасной зоны;
- в) вызвать пожарную охрану по телефону 01;
- г) принять меры к ликвидации пожара первичными и подручными средствами; при невозможности самостоятельной ликвидации очага пожара - покинуть помещение, плотно закрыв за собой двери.

7. Доврачебная помощь при поражении человека электрическим током:

1. Освободить пострадавшего от действия электрического тока.
2. Вызвать врача по телефону 03.
3. При необходимости давать нюхать нашатырный спирт, сделать искусственное дыхание и наружный массаж сердца.
4. Обеспечить пострадавшему покой.

6. Экономическая часть

Модернизация лабораторного стенда по курсу «Электроснабжение горного производства».

Разработка, монтаж, наладка и методическое обеспечение лабораторной работы «Исследование и разработка автоматического управления режимами работы двухтрансформаторных подстанций».

На стенде выполняются лабораторная работа, включающая в себя:

- Исследование работы двухтрансформаторной подстанции в режиме ручного управления
- Исследование работы двухтрансформаторной подстанции в режиме автоматического управления.



Рисунок 6.1 – Стенд для лабораторных работ

6.1. Сетевой график выполнения работы

Для составления сетевого графика выполнения работы, необходимо произвести анализ выполненных работ, событий и их продолжительностей. Для

каждой работы необходимо установить номера тех работ, до окончания которых она не может быть начата Результаты анализа занесены в таблицу 6.1.

Таблица 6.1 – Исходные данные для построения сетевого графика

Код работы	Наименование работы	Код события	Наименование события	Продолжительность работ, недель
1-2	Получение темы Д.Р. и её анализ	2	Тема получена и проанализирована	2
2-3	Разработка модели стенда	3	Модель разработана	2
2-4	Заготовка материалов требуемых для монтажа лабораторного стенда	4	Материалы для монтажа заготовлены	2
2-6	Написание П.З.	6	Пояснительная записка написана	6
3-6	Разработка методического пособия по проведению лабораторной работы	6	Методическое пособие разработано и оформлено	4
4-5	Монтаж материалов на лабораторный стенд	5	Монтаж лабораторного стенда осуществлен	2
5-6	Проверка работоспособности лабораторного стенда	7	Проверка на работоспособность произведена	2
6-7	Защита Д.Р.			1

На основании исходных данных строим сетевой график (рисунок 6.2).

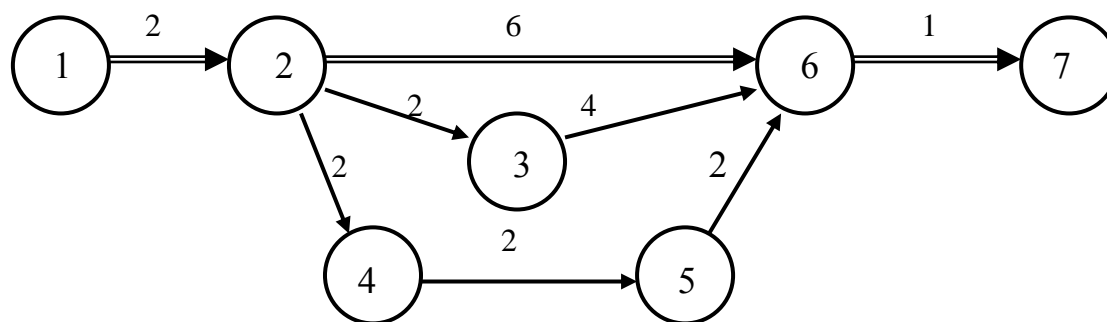


Рисунок 6.2 - Сетевой график процесса изготовления лабораторного стенда

Рассчитываем параметры сетевого графика табличным методом

Таблица 6.2 - Расчет сетевого графика

Последующее событие	Предшествующее событие	Продолжительность	Ранний срок начала работы	Ранний срок окончания работы	Поздний срок начала работы	Поздний срок окончания работы
2	1	2	0	2	0	2
3	2	2	2	4	2	4
4	2	2	2	4	2	4
6	2	6	2	8	6	8
6	3	4	4	8	4	8
5	4	2	4	6	4	6
6	5	2	6	8	6	8
7	6	1	8	9	8	9

Для расчетов резервов времени событий необходимо определить ранние и поздние сроки наступления событий.

Расчет ранних и поздних сроков свершения событий и резервов времени событий для сетевого графика, приведены в табл.6.3.

Таблица 6.3 - Расчет сроков свершения событий и резервов времени

Код события	t_{pi}	t_{ni}	R_i
1	0	0	0
2	2	2	0
3	4	4	0
4	4	4	0
5	6	6	0
6	8	8	0
7	9	9	0

На сетевом графике 3 пути. Критический путь равен 9 недель и не имеет резерва времени

L_1 : 1-2-6-7	$t_{кр} = t_{L1} = 9$	$R_{L1} = 0$
L_2 : 1-2-3-6-7	$t_{L2} = 9$	$R_{L2} = 0$
L_3 : 1-2-4-5-6-7	$t_{L3} = 9$	$R_{L3} = 0$

6.2 Расчет затрат на материалы и электрооборудования

В таблице 6.4 указано количество и стоимость электрооборудования приобретенного для производства стенда «Исследование работы двухтрансформаторной подстанции в ручном и автоматическом режиме.

Таблица 6.4 – Расчет затрат на электрооборудование

Наименование материала	Ед. изм.	Количество	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Блок сопротивлений КФ22-М	шт.	1	5000	5000
Трансформатор ИВ-4	шт.	2	5600	11200
Регулятор напр. РНТ 220-12	шт.	1	10000	10000
Контактор ПМЕ 211	шт.	4	600	2400
Амперметр Э365	шт.	4	900	3600
Вольтметр ЭВ120Ц	шт.	2	900	1800
Счетчик Меркурий 230ART01	шт.	1	3850	3850
Частотомер Д340	шт.	1	1000	1000
Фазометр Д342	шт.	1	1000	1000
Лампочки Цветные -220В	шт.	6	100	600
Двухпозиционный тумблер ТВ 1-2	шт.	1	100	100
Двухпозиционный переключатель ПМ-ОФ	шт.	4	150	600
Автомат ВА-47-29	шт.	6	350	2100
Итого:		16		43250

При сборке лабораторного стенда выполнялись следующие виды работ:
 -установка и подключение измерительных приборов, автотрансформатора, измерительных трансформаторов, автоматических выключателей, реле, пускателей, кнопок и ключей управления, сигнальной аппаратуры;

-монтаж корпуса лабораторного стенда;

-монтаж проводки и подключение всего оборудования;

- соединение силовой части и цепей управления;
- наладочные работы.

При производстве этих работ использованы материалы, которые указаны в таблице 6.5

Таблица 6.5 – Расчет затрат на материалы

Наименование материала	Ед. изм.	Количество	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Кабель силовой ВВГнг 5х2,5	м	22	66,50	1436,00
Кабель силовой ВВГнг 3х4	м	7	87,60	613,20
Бокс под 3-4 автомата, Макел	шт.	6	72,00	432,00
Труба гофрированная. ПНД d25	м	20	20,00	400,00
Держатель для труб d25	шт.	20	4,00	80,00
ЛДСП белый 2700х1950х20	лист	1	1400,00	1400,00
Изолента	шт.	4	35,00	140,00
Доска строганая 40х95х3000 мм, хвоя	шт.	1	500,00	500,00
Шина нулевая 6х9мм	шт.	5	104,00	520,00
Шурупы-саморезы	шт.	50	1,50	75,00
Хомуты упаковка 100шт.	шт.	2	57,00	114,00
Итого:				5710,20

6.3 Расчет расходов по заработной плате персонала

При изготовлении лабораторного стенда «Исследование режимов работы двухтрансформаторной подстанции», применяется повременная - премиальная система оплаты труда. При монтажно-наладочных работах было задействовано два наладчика. Тарифный фонд заработной платы определяется произведением часовой тарифной ставки на фонд рабочего времени и количество рабочих и приведен в таблице 6.6.

В таблице 6.7 приведен расчет общего фонда оплаты труда рабочих. Величина тарифного фонда берется из таблицы 6.6. Премиальные доплаты принимаем за 20% от тарифного фонда. Дополнительную заработную плату можно принять в размере 12% от основной.

Доплаты по районному и северному коэффициенту по 30% от суммы тарифного фонда с доплатами.

Годовой фонд заработной платы определяется как сумма основной и дополнительной заработной платы.

Работы по производству лабораторного стенда производились в течение 2 месяцев.

Таблица 6.6 – Расчет тарифного фонда заработной платы

Должность	Количество рабочих	Разряд	Годовой фонд рабочего времени 1-го рабочего, час.	Часовая тарифная ставка, руб.	Годовой тарифный фонд заработной платы, руб.
Наладчик	1	6	1987	48,52	96409,24
Наладчик	1	6	1987	48,52	96409,24
Итого:					192818,48

Таблица 6.7 - Расчет общего фонда оплаты труда рабочих.

Должность	Число штатных единиц	Часовая тарифная ставка	Годовые денежные выплаты				Фонд заработной платы за месяц	Фонд заработной платы за 2 месяца
			Годовой тарифный фонд оплаты труда, руб.	Премия	Вознаграждение по итогам года, руб.	Итого с учетом районного и северного коэффициентов, руб		
Наладчик	1	48,52	96409,24	19281,85	11569,11	165436,70	13786,39	27572,78
Наладчик	1	48,52	96409,24	19281,85	11569,11	165436,70	13786,39	27572,78
Итого:			192818,48	38563,7	22240,23	330873,40	27572,78	55145,56

6.4 Стоимость стенда

Общая сумма затрат определена в таблице 6.8

Таблица 6.8 - Расчет затрат на производство лабораторного стенда.

Наименование затрат	Сумма, руб.	Примечание
Затраты на электрооборудование	43250	
Затраты на материалы	5710,20	

Заработная плата	55145,56	
Отчисления ЕСН	14337,84	26% от ЗП
Накладные расходы	13786,39	25% от ЗП
Итого:	132229,99	

Цена лабораторного стенда «Исследование режимов работы двухтрансформаторных подстанций», принимается из расчета планового уровня рентабельности работ в размере 40%.

$$Ц = 132229,99 \times 1,4 = 185121,98 \text{руб.}$$

Цена к продаже с НДС лабораторного стенда «Исследование режимов работы двухтрансформаторных подстанций»

$$Ц_{\text{НДС}} = 185121,98 \times 1,18 = 218443,94 \text{руб.}$$

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение можно подвести следующие итоги по проделанной работе. Разработанный и смонтированный лабораторный стенд, имеет огромное практическое значение для обучения студентов. При проведении лабораторной работы можно не только теоретически но и на практике исследовать режимы работы трансформаторных подстанций и осуществить настройку системы автоматического управления.

Следует отметить что разработанная система автоматического управления позволяет значительно уменьшить величину приведенных потерь при параллельной работе трансформаторов, что доказано экспериментальными исследованиями. Данная система может автоматизировать работу трансформаторов различной мощности, это указывает на то, что ее использование позволит уменьшить расход электроэнергии и затрат на электроснабжение.

Лабораторная установка по исследованию режимов работы двухтрансформаторных подстанций имеет перспективу на будущее развитие. Но хотелось бы отметить что силовые трансформаторы, установленные в лабораторной установке довольно старые и для наиболее качественной работы следует произвести их замену на более новые. Что позволит увеличить чистоту экспериментов и надежность стенда.

Список использованных источников

1. Правила устройства электроустановок. . 7-е изд. перераб. и доп. – М.: Госэнергонадзор России, 2002
2. Электрификация горного производства: Учебник для вузов: в 2 т. /Под ред. Л. А. Пучкова и Г. Г. Пивняка. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, 2007. Т.1 – 595 с. с ил. Т. 2 – 595 с. с ил.
3. Г. Ф. Куценко " Электробезопасность " Дизайн ПРО, 2006 год, 240 стр, илл.,
4. Герасимов А. И. Проектирование электроснабжения цехов предприятий цветной металлургии: учеб. пособие. 2-е изд. перераб. и доп. /Гос. образоват. учреждение «ГАЦМиЗ» - Красноярск, 2003 . – 208 с. Тир. 700 экз.
5. Электроснабжение карьера: Метод. Указания по курсовому и дипломному проектированию для студентов специальности 140604 «Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов» очной и заочной форм обучения / Сост. А. И. Герасимов; Гос. образоват. учреждение «ГАЦМиЗ». Красноярск. 2004. – 64 с. Тир. 500 экз.
6. Герасимов А. И., Кузьмин С. В. Проектирование электроснабжения промышленных предприятий: учеб. пособие. ГОУ ВПО «Гос. ун-т цвет. металлов и золота». 3-е изд. перераб. и доп. - Красноярск, 2006. – 264 с. Тир. 500 экз.
7. Герасимов А. И. Проектирование электроснабжения цехов обогатительных фабрик: учеб. пособие / А. И. Герасимов, С. В. Кузьмин. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2014. – 304 с.
8. Герасимов А. И. Электроснабжение карьеров: учеб. пособие. / Герасимов А. И., Заварыкин Б. С . – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2013. – 184 с.
9. Касаткин А.С. Электротехника : учебник для вузов / А.С. Касаткин, М.В. Немцов. – 11-е изд., – М. : Издательский центр «Академия», 2008. – 544с.

Список сокращений

TV – силовой трехфазный трансформатор напряжения;

ATV – трехфазный автотрансформатор;

TA – трансформатор тока;

KL – промежуточное реле;

KA – токовое реле;

KT – реле времени;

QF – автоматический выключатель;

KM – контактор;

PA – амперметр;

PV – вольтметр;

PF – частотомер;

cosφ – фазометр;

PI – счетчик активной и реактивной электроэнергии;

HLG – лампа сигнальная зеленая;

SA – переключатели.

Отчет по проделанной лабораторной работе «Исследование режимов работы двухтрансформаторных подстанций»

Ход работы

Результаты исследований работы подстанции при ручном управлении приведены в таблице 1.

Таблица 1- Экспериментальные данные

№ опыта	Показание приборов										
	Со стороны первичного напряжения					Со стороны вторичного напряжения					Нагр узка
	U1, В	I1, А	S,кВА	cosφ	F, Гц	Uac,В	Unc, В	I2, А	I3, А	I4, А	
Трансформатор Т V 1											
1	410	0,4	0,441	0,15	50	42	42	0	-	0	0%
2	410	0,88	0,725	0,57	50	42	42	4	-	4	25%
3	410	1,24	0,862	0,7	50	41	41	8	-	8	50%
4	410	1,47	1,096	0,8	50	40	40	12	-	12	75%
5	410	1,85	1,339	0,87	50	40	40	16	-	16	100%
6	410	2,23	1,581	0,9	50	39,5	39,5	20	-	20	125%
Трансформатор Т V 2											
1	410	0,31	0,198	0,28	50	43	43	-	0	0	0%
2	410	0,84	0,611	0,78	50	42	42	-	4	4	25%
3	410	1,09	0,721	0,83	50	42	42	-	8	8	50%
4	410	1,33	0,992	0,9	50	41	41	-	12	12	75%
5	410	1,67	1,255	0,93	50	40	40	-	16	16	100%
6	410	2,19	1,525	0,95	50	39,5	39,5	-	20	20	125%
Трансформаторы Т V1 и Т V2											
1	410	1,02	1,053	0,16	50	42	42	0	0	0	0%
2	410	1,81	1,086	0,71	50	42	42	4	4	8	25%
3	410	2,29	1,564	0,83	50	42	42	8	8	16	50%
4	410	3,1	2,050	0,9	50	40	40	12	12	24	75%
5	410	3,82	2,607	0,93	50	40	40	16	16	32	100%
6	410	4,11	2,954	0,95	50	39,5	39,5	19	19	38	125%

Графики зависимостей $U_2 = f(I_1)$; $\Delta P'_T = f(\beta)$; $\cos\phi = f(I_1)$; $S = f(I_1)$ представлены на рисунках 1,2,3,4 соответственно.

Расчёт приведенных потерь при разных загрузках трансформаторов приведен в таблице 2.

Таблица 2 - Расчёт приведенных потери мощности

Исходные данные					Расчётные данные		Приведенные потери	
							Для одного тр-ра.	Для двух тр-ров ;N=2
β_3	I_{xx} , %	U_{k3} , %	ΔP_{xx} , кВт	ΔP_{k3} , кВт	$\Delta P_T = \Delta P_{xx} + \beta^2 \Delta P_{k3}$, кВт.	$\Delta Q_T = \Delta Q_{xx} + \beta^2 \Delta Q_{k3}$, квар.	$\Delta P'_T = \Delta P'_{xx} + \Delta P'_{k3} \beta_3^2$, кВт.	$\Delta P'_T = \Delta P'_{xx} N + (\Delta P'_{k3} (\beta_3^2)) / N$, кВт.
0	17	6	0,057	0,160	0,057	0,17	0,074	0,148
0.25	17	6	0,057	0,160	0,067	0,173	0,084	0,153
0.5	17	6	0,057	0,160	0,097	0,185	0,1155	0,168
0.75	17	6	0,057	0,160	0,147	0,203	0,167	0,194
1	17	6	0,057	0,160	0,217	0,23	0,24	0,231
1.25	17	6	0,057	0,160	0,307	0,263	0,333	0,277

Примечание к таблице 2:

$$\Delta P'_{xx} = \Delta P_{xx} + k_{пп} \Delta Q_{xx} = 0,057 + 0,1 \cdot 0,17 = 0,074 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_{xx} = S_H \frac{I_{xx} \%}{100} = 1 \cdot \frac{17}{100} = 0,17 \text{ квар}$$

$$\Delta P'_{k3} = \Delta P_{k3} + k_{пп} \Delta Q_{k3} = 0,160 + 0,1 \cdot 0,06 = 0,166 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_{k3} = S_H \frac{U_{k3} \%}{100} = 1 \cdot \frac{6}{100} = 0,06 \text{ квар}$$

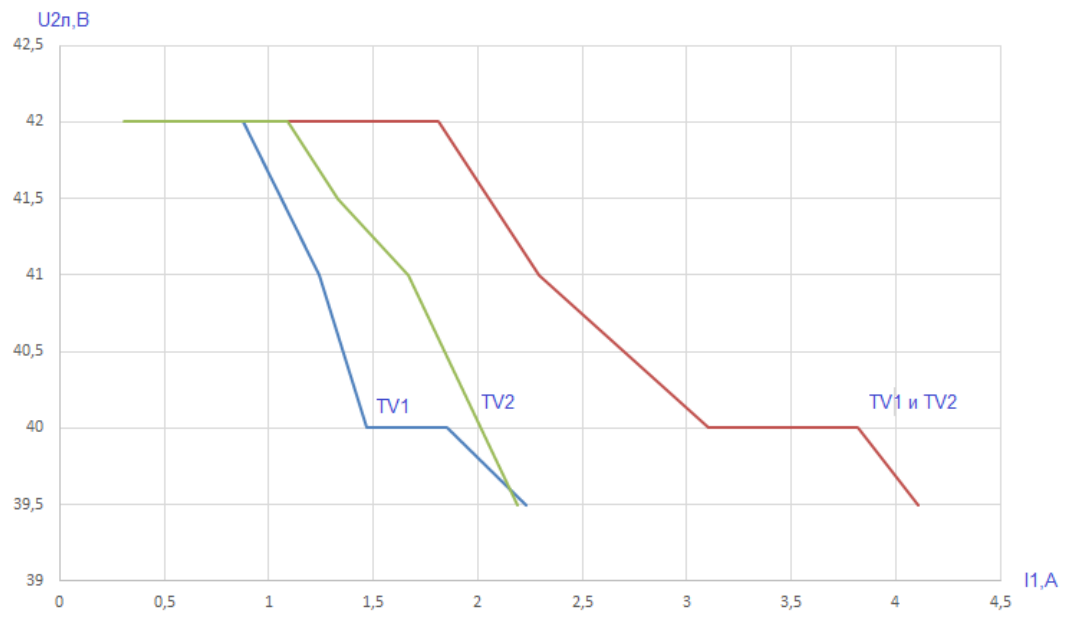


Рисунок 1 - График зависимости $U_2 = f(I_1)$

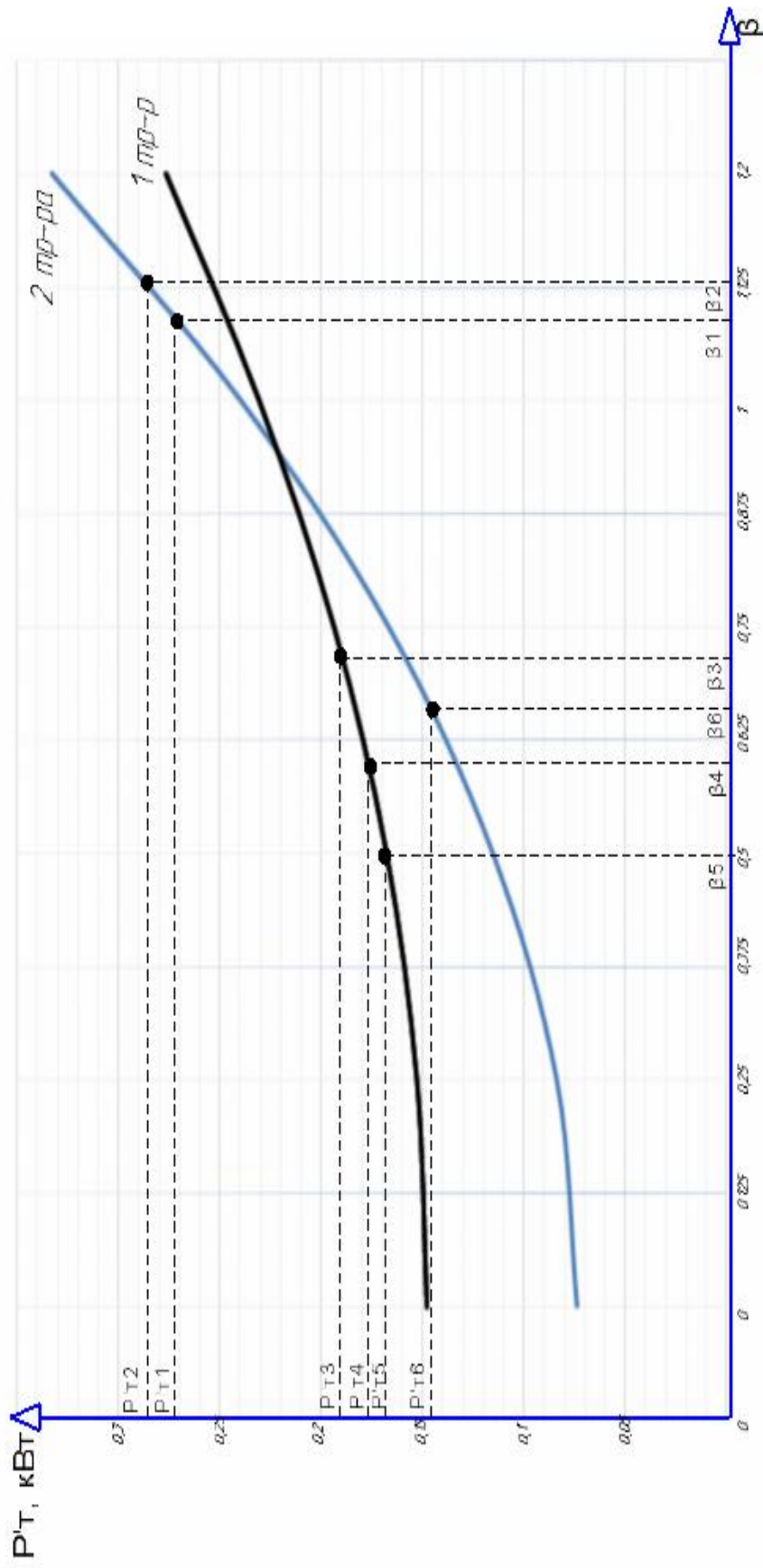


Рисунок 2 - График зависимости $\Delta P'_T = f(\beta)$;

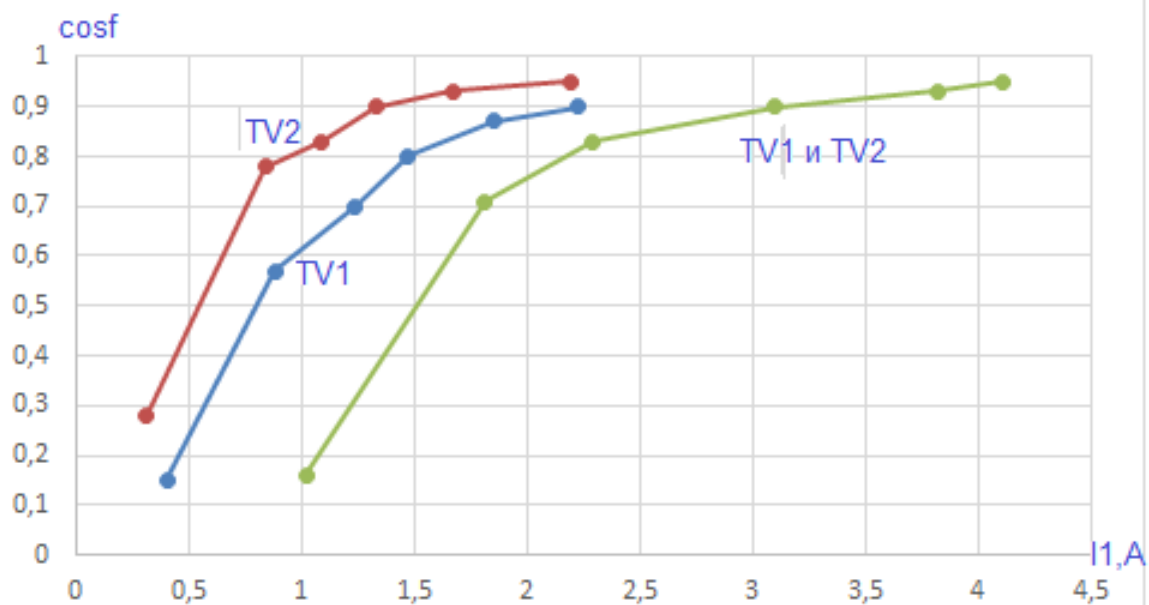


Рисунок 3 - График зависимости $\cos\phi = f(I_1)$;

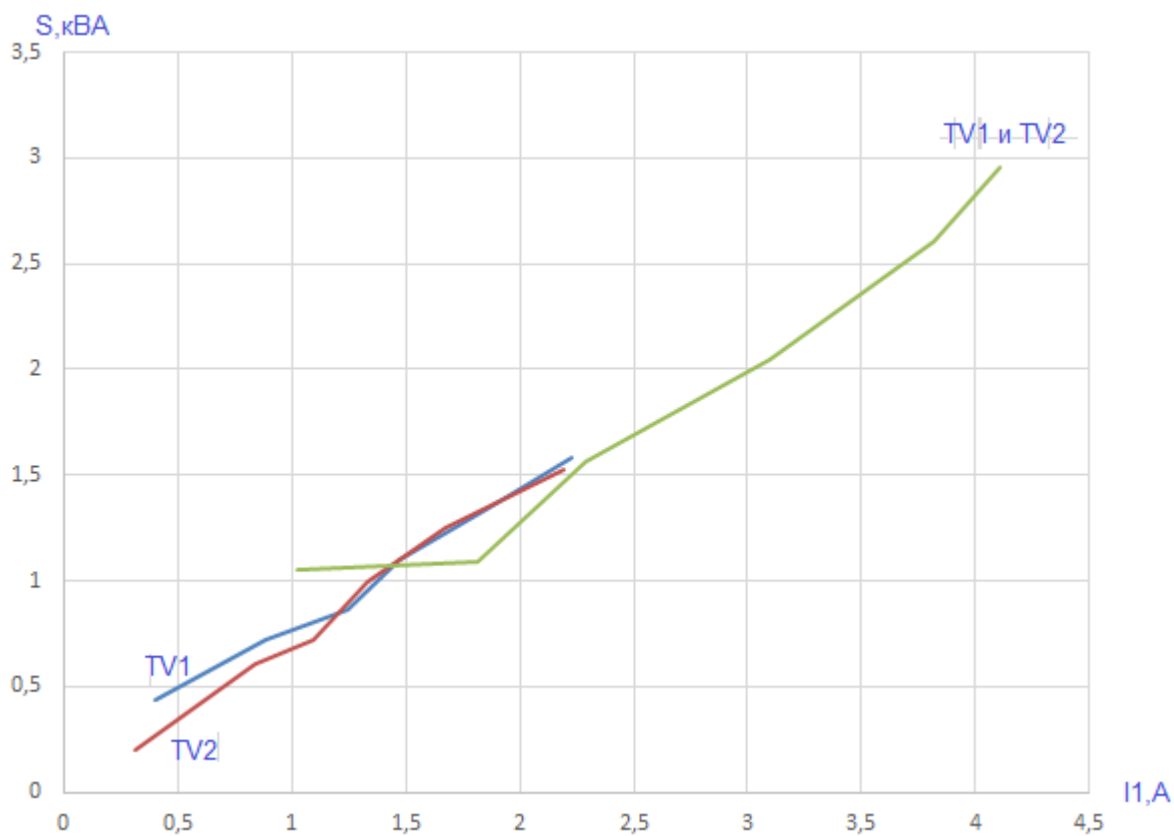


Рисунок 4 - График зависимости $S=f(I_1)$

Работа двухтрансформаторной подстанции в автоматическом режиме

Расчет токов реле:

На основании графика зависимости $\Delta P'_T = f(\beta)$, построенного по расчётным данным таблицы 2 определить оптимальный коэффициент загрузки $\beta_{\text{опт}}$, рассчитать токи срабатывания пусковых органов по следующим формулам:

Мощность нагрузки трансформатора при оптимальном коэффициенте загрузки:

$$S_{\beta_{\text{опт}}} = S_{m.\text{ном}} \beta_{\text{опт}} = 1 \cdot 0,93 = 0,93 \text{ кВа}$$

где $\beta_{\text{опт}}$ – оптимальный коэффициент загрузки ; S_m - номинальная мощность трансформатора, кВт.

Ток трансформатора со стороны высокого напряжения при $\beta_{\text{опт}}$:

$$I_{\text{расч}} = \frac{S_{\beta_{\text{опт}}}}{\sqrt{3} \cdot U_{1\text{ном}}} = \frac{0,93}{1,73 \cdot 0,4} = 1,345 \text{ А}$$

где $U_{1\text{ном}} = 0,4$, кВ.

Ток срабатывания реле КА1 и КА2 рассчитывается с учетом коэффициента отстройки и коэффициента трансформации трансформатора тока:

$$I_{c.p1} = \frac{I_{\text{расч}}}{k_{\text{отс}} K_{\text{тт}}} = \frac{1,345}{1,05 \cdot 0,5} = 2,56 \text{ А}$$

$$I_{c.p2} = \frac{I_{\text{расч}} \cdot k_{\text{отс}}}{K_{\text{тт}}} = \frac{1,345 \cdot 1,1}{0,5} = 2,959 \text{ А}$$

где $k_{\text{отс}} = 1,05 \div 1,1$; $K_{\text{тт}} = 0,5$

Токи возврата рассчитываются по формулам:

$$I_{в.p1} = k_{в1} I_{c.p1} = 1,05 \cdot 2,56 = 2,69 \text{ А}$$

$$I_{в.p2} = k_{в2} I_{c.p2} = 0,95 \cdot 2,959 = 2,69 \text{ А}$$

где $k_{в1} = 1,1 \div 1,05$; $k_{в2} = 0,9 \div 0,95$;

Для исключения одновременного срабатывания реле КА 1 и КА2 должны быть выполнены условия:

$$I_{в.р1} = k_{в1} I_{с.р1} \quad 2.56 < 2.66$$

$$I_{в.р2} = k_{в2} I_{с.р2} \quad 2,959 > 2,69$$

Расчётные токи срабатывания и возврата токовых реле занесены в таблицу 3.

Таблица 3 - Экспериментальные данные

Процесс	Описание протекающего процесса	Измеренные величины на стороне высокого напряжения		Расчётные величины		
		Ток I, А	Полная мощность с высокой стороны, S, кВА	Токи в реле	$\beta = \frac{S_{т.факт}}{S_{т.н}}$	$\Delta P'_T$, кВт
Расчет токов в реле, коэффициента загрузки, приведенных потерь и измерение мощности	Перерасчет тока нагрузки при заданных токах срабатывания и возврата реле, определение потерь мощности	1.28	0.924	I _{ср.1} =2.56	0.92	0.22
		1.47	0.986	I _{ср.2} =2.95	0.98	0.23
		1.34	0.851	I _{в.2} =2.69	0.425	0.160
		1.33	0.851	I _{в.1} =2.66	0.85	0.160
	Выбор уставок	1.3		I _{у.1} =2.6		
	Выбор уставок	1.5		I _{у.2} =3		
Фактические данные при происходящих переключениях						
Коэффициент загрузки β_1	Сработало реле КА1, подготавливается цепь на включение второго трансформатора	1.57	1.077	I _{ср.ф.1} =3.14	1.077	0.275
Коэффициент загрузки β_2	Сработало реле КА2	1.63	1.12	I _{ср.ф.2} =3.26	1.12	0.284
Коэффициент загрузки β_3	Включился второй трансформатор	2.06	1.371	-	0.685	0.190

Продолжение таблицы 3

Коэффициент загрузки β_4	Произошел возврат реле КА2, подготавливается цепь на отключение второго трансформатора.	1.58	1.112	Ив.ф.1=3.16	0.556	0.170
Коэффициент загрузки β_5	Произошел возврат реле КА1.	1.56	1.03	Ив.ф.2=3.12	0.5	0.160
Коэффициент загрузки β_6	Отключился второй трансформатор	1.27	0.705	-	0.7	0.145

Вывод:

При проведение лабораторной работы были произведены исследования режимов работы двухтрансформаторной подстанции. Был осуществлен расчет оптимального коэффициента загрузки и настройка схемы автоматического управления. По результатам экспериментов можно сделать заключение что в случаях с коэффициентом загрузки трансформаторов ниже оптимального в целях уменьшения приведенных потерь мощности следует отключать один из трансформаторов, если же нагрузка на один трансформатор превышает оптимальную величину стоит подключать в работу второй трансформатор