

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Романчук Иван Сергеевич

Должность: Ректор

Дата подписания: 07.11.2025 15:30:14

Уникальный идентификатор документа:
6319edc2b582ffdacea443f01d5779368d0957ac34f5cd074d81181530452479

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Государственный аграрный университет Северного Зауралья»

В соответствии с Федеральным законом от 29.12.2012 № 273-ФЗ
«Об образовании в Российской Федерации» ТюмГУ является
правопреемником ГАУ Северного Зауралья и продолжает
реализовывать образовательные программы по соответствующим
видам, уровням и условиям обучения, в том числе с сохранением
всех существующих форм и условий обучения



Практикум по электроснабжению



МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РФ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования

«Государственный аграрный университет
Северного Зауралья»

Кафедра Энергообеспечение сельского хозяйства

И.В. Савчук, Д.О. Суринский

ПРАКТИКУМ ПО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЮ

учебно-методическое пособие

для студентов очной и заочной формы обучения
по направлению подготовки 35.03.06 «Агроинженерия»
профиль «Электрооборудование и электротехнологии АПК»

Тюмень, 2022

УДК 621.311

ББК 31.27

С 13

Составители: И.В. Савчук, Д.О. Суринский

Рецензенты:

Мелякова О.А., кандидат технических наук, доцент кафедры «Техносферная безопасность» ГАУ Северного Зауралья г. Тюмень.

Лукомец В.А., кандидат технических наук, заместитель начальника кафедры «Электроснабжения и радиотелемеханики», Тюменского высшего военно-инженерного командного училища имени маршала инженерных войск А.И. Прошлякова

С 13 Савчук И.В. Практикум по электроснабжению: учебно-методическое пособие / И.В. Савчук, Д.О. Суринский. - Тюмень: ГАУ Северного Зауралья, 2022. – 95 с.

Пособие включает в себя описание работ, выполняемых с использованием комплекта лабораторного оборудования «Передача и качество электрической энергии», описание стенда. В пособии приведены краткие теоретические сведения и решения типовых примеров по рассматриваемым темам. Учебное пособие может быть использовано преподавателями при проведении лабораторных занятий, организации самостоятельной работы обучающихся.

Практикум составлен в соответствии с учебными планами и рабочими программами дисциплине «Электроснабжение» для направления подготовки 35.03.06 «Агроинженерия» профиль «Электрооборудование и электротехнологии АПК».

Рекомендовано к печати учебно-методической комиссией инженерно-технологический институт

протокол №5 от «21» апреля 2022 г.

© Савчук И.В., Суринский Д.О., 2022
© ФГБОУ ВО «ГАУ Северного Зауралья», 2022

Содержание

	Стр.
Глава 1 общие требования при выполнении лабораторных работ	...5
1.1 Порядок выполнения лабораторных работ	...5
1.2 Оформление отчетов по лабораторным работам	...6
Глава 2 технические характеристики лабораторного стенда «передача и качество электрической энергии»	...10
2.1 Техническое описание стенда	...10
2.2 Порядок подключения стенда	...12
2.3 Структура и общие принципы работы	...12
Глава 3 лабораторные работы стенда «передача и качество электрической энергии»	...29
Лабораторные работа №1 Исследование параметров установившегося режима электрической сети с односторонним питанием	...29
Лабораторные работа №2 Исследование параметров установившегося режима электрической сети с двухсторонним питанием	...38
Лабораторная работа №3 Исследование потерь электрической энергии в распределительных сетях	...49
Лабораторная работа №4 Регулирование напряжения путем поперечной компенсации реактивной мощности с помощью конденсаторной батареи	...59
Лабораторная работа №5 Определение влияния отклонения напряжения на мощность потребляемую активной, индуктивной, ёмкостной нагрузкой	...66
Лабораторная работа №6 Измерение показателей качества электрической энергии	...78
Лабораторная работа №7 Снижение уровня генерации высших гармоник путем замены однополупериодного выпрямителя на двухполупериодный в схеме питания нагрузки постоянным током	...86
Список рекомендуемых источников литературы	...93

ГЛАВА 1 ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

1.1 Порядок выполнения лабораторных работ

При реализации учебного плана по направлению подготовки 35.03.06 «Агроинженерия», профиль «Электрооборудование и электротехнология в АПК» дисциплины «Электроснабжение» применяется в учебном процессе лабораторный стенд «Передача и качество электрической энергии».

В данных методических указаниях приводится порядок выполнения лабораторных работ с применением стенда «Передача и качество электрической энергии» и порядка оформления отчетов по выполненным лабораторным работам. Методические указания позволяют подготовиться студентам к выполнению лабораторных работ.

Перед выполнением работ студентам рекомендуется:

1. Ознакомиться с техническим описанием лабораторного стенда,
2. Изучить схему лабораторных испытаний
2. Изучить методику выполнения лабораторной работы
3. Изучить последовательность включения и выключения элементов стенда.
4. Изучить диапазоны рабочих токов и напряжений на элементах стенда.
5. Изучить требования безопасности при выполнении лабораторных работ и безопасного выполнения оперативных переключений.

Перед выполнением каждой новой лабораторной работы необходимо сдать коллоквиум, ответив на контрольные вопросы и представить отчет по предыдущей работе.

При выполнении лабораторной работы необходимо:

- 1) Ознакомиться с рабочим местом, проверить наличие необходимых соединительных проводов:

- 2) Произвести сборку схемы в режиме выключенного питания;
- 3) После разрешения преподавателя включить питание и приступить к выполнению работы;
- 4) В ходе работы и по ее окончании полученные данные представлять на проверку преподавателю;
- 5) Отключить питание и провести разбор схемы только после проверки преподавателем результатов опыта, или по указанию преподавателя;
- 6) По окончании работы привести в порядок рабочее место.

1.2 Оформление отчетов по лабораторным работам

В отчете должна быть сформулирована цель проведенной работы и представлены следующие материалы:

- 1) Функциональные схемы экспериментов;
- 2) Обработанные экспериментальные характеристики;
- 3) Расчетные данные;
- 4) Выводы (анализ экспериментальных данных, погрешностей и т.д.)

Отчет оформляется шариковой ручкой. Схемы вычерчиваются карандашом. Отчет может быть выполнен на компьютере согласно требованиям ФГБОУ ВО Государственного аграрного университета Северного Зауралья.

Отчет по лабораторной работе выполняется печатным на одной стороне листа белой бумаги формата А4 без рамок и основных надписей, с настраиваемыми полями: левое – 30 мм, правое – 10 мм, верхнее – 20мм, нижнее –20 мм. Основной текст набирают шрифтом Times New Roman 14, с полуторным, междустрочный интервал – полуторный, выравнивание по ширине и с красной строки 1,25мм.

Текст сопровождается технически грамотно выполненными эскизами, схемами, чертежами (в масштабе и с указанием размерности).

Иллюстрации выполняются на отдельных листах, которые нумеруются и вкладываются в текст после первого упоминания соответствующей иллюстрации, либо в пределах текста. На все иллюстрации должны быть ссылки в тексте.

Страницы отчета следует нумеровать арабскими цифрами, соблюдая сквозную нумерацию по всему тексту. Номер страницы проставляют в правом нижнем углу. Титульный лист не включают в общую нумерацию страниц, но номер страницы на них не проставляют. Иллюстрации и таблицы, расположенные на отдельных листах, включают в общую нумерацию страниц пояснительной записки.

Иллюстрации (чертежи, графики, схемы, компьютерные распечатки, диаграммы, фотоснимки) следует располагать в отчете непосредственно после текста, в котором они упоминаются впервые, или на следующей странице. Иллюстрации могут быть в компьютерном исполнении, в том числе и цветные.

Иллюстрации, за исключением иллюстрации приложений, следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией. Если рисунок один, то он обозначается «Рисунок 1». Слово «рисунок» и его наименование располагают посередине строки.

Допускается нумеровать иллюстрации в пределах раздела. В этом случае номер иллюстрации состоит из номера раздела и порядкового номера иллюстрации, разделенных точкой. Например, Рисунок 1.1.

Иллюстрации, должны иметь наименование и пояснительные данные (подрисуночный текст). Слово «Рисунок» и наименование помещают после пояснительных данных. Например, Рисунок 1 — Детали прибора.

При ссылках на иллюстрации следует писать «... в соответствии с рисунком 2» при сквозной нумерации и «... в соответствии с рисунком 1.2» - при нумерации в пределах раздела.

Уравнения и формулы следует выделять из текста в отдельную строку. Выше и ниже каждой формулы или уравнения должно быть оставлено не менее одной свободной строки. Если уравнение не уместается в одну строку, то оно должно быть перенесено после знака равенства (=) или после знаков плюс (+), минус (-), умножения (х), деления (:), или других математических знаков, причем знак в начале следующей строки повторяют. При переносе формулы на знаке, символизирующем операцию умножения, применяют знак «х». Допускается выполнение формул и уравнений рукописным способом черными чернилами (гелевой ручкой черного цвета).

Пояснение значений символов и числовых коэффициентов следует приводить непосредственно под формулой в той же последовательности, в которой они даны в формуле.

Формулы в отчете следует нумеровать порядковой нумерацией в пределах всего текста отчета арабскими цифрами. Номера формул помещают в круглые скобки в крайнем правом положении на строке, например, (2) - вторая формула в пояснительной записке. Ссылки в тексте на порядковые номера формул дают в скобках. Пример — «... в формуле (1)».

Допускается нумерация формул в пределах раздела. В этом случае номер формулы состоит из номера раздела и порядкового номера формулы, разделенных точкой, например (3.1) – первая формула третьего раздела пояснительной записки.

Пример оформления формул:

$$P=U \cdot I, W_T \quad (1.1)$$

где:

U-Напряжение, В;

I-сила тока, А.

Ссылки на использованные источники следует приводить в квадратных скобках и обозначают номером, соответствующим номеру в списке использованных источников, например, [2] - источник номер 2 в списке.

Сведения об источниках следует располагать в порядке появления ссылок на источники в тексте пояснительной записки, нумеровать арабскими цифрами без точки и печатать с абзацного отступа.

Ошибки и графические неточности, обнаруженные при подготовке лабораторной работы к защите, допускается исправлять подчисткой или закрашиванием белой пастой (типа "Штрих") и нанесение на этом же месте исправленного текста или графического изображения.

Таблицы применяют для лучшей наглядности и удобства сравнения показателей.

Таблицы каждого приложения обозначают отдельной нумерацией арабскими цифрами с добавлением перед цифрой обозначения приложения. Если в документе одна таблица, она должна быть обозначена "Таблица 1" или "Таблица В.1", если она приведена в приложении В.

Название таблицы, должно отражать ее содержание, быть точным, кратким. Название следует помещать над таблицей. При переносе части таблицы на ту же или другие страницы название помещают только над первой частью таблицы.

Допускается нумеровать таблицы в пределах раздела. В этом случае номер таблицы состоит из номера раздела и порядкового номера таблицы, разделенных точкой.

На все таблицы документа должны быть приведены ссылки в тексте документа, при ссылке следует писать слово "таблица" с указанием ее номера.

ГЛАВА 2 ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА «ПЕРЕДАЧА И КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ»

2.1 Техническое описание стенда

Лабораторный стенд представляет собой физическую трехфазную модель распределительной электрической сети, содержащую модель линии электропередачи, силового трансформатора, трехфазной электрической сети, активной, индуктивной и емкостной нагрузок, устройства продольной емкостной компенсации, выпрямительной нагрузки и фильтрокомпенсирующего устройства.

Лабораторный стенд позволяет исследовать режимы работы линий электропередач с односторонним и двухсторонним питанием, исследовать факторы, влияющие на потери электрической энергии в распределительных электрических сетях, изучить способы регулирования напряжения, путем продольной и поперечной емкостной компенсации, экспериментально определить основные показатели качества электроэнергии, изучить способы улучшения показателей качества, путем применения фильтрокомпенсирующих устройств, исследовать влияние выпрямительной нагрузки на содержание высших гармоник тока и напряжения, исследовать влияние отклонения напряжения на мощность, потребляемую активной, индуктивной и емкостной нагрузкой.

Особенностью стенда является его модульность. Стенд состоит из двух каркасов, в которых закрепляются отдельные модули и ноутбука (или персонального компьютера), который располагается рядом с каркасами.

Ноутбук (или ПК) является одним из составных звеньев лабораторного стенда и используется для сбора и обработки информации в реальном времени, в частности, для измерения показателей качества электрической энергии и их визуализации в графическом виде.

Общий вид стенда представлен на рис. 2.1.

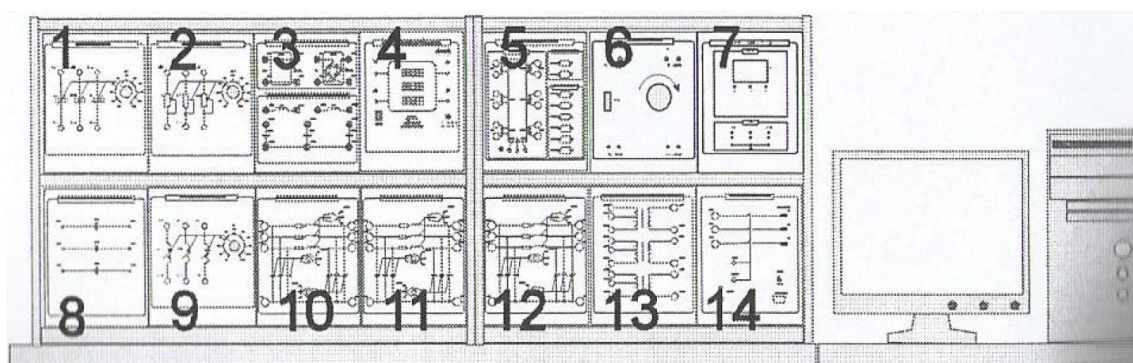


Рисунок 2.1 – Общий вид стенда

Состав стенда и расположение модулей в каркасах в соответствии с рис. 2.1

1. Модуль емкостной нагрузки	(место 1)	1 шт.
2. Модуль активной нагрузки	(место 2)	1 шт.
3. Модуль однофазной выпрямительной нагрузки и фильтрокомпенсирующего устройства	(место 3)	1 шт.
4. Модуль измерителя мощности	(место 4)	1 шт.
5. Модуль ввода/вывода с платой ввода/вывода	(место 5)	1 шт.
6. Модуль автотрансформатора	(место 6)	1 шт.
7. Модуль питания стенда	(место 7)	1 шт.
8. Модуль продольной емкостной компенсации	(место 8)	1 шт.
9. Модуль индуктивной нагрузки	(место 9)	1 шт.
10. Модуль линии электропередач	(места 10-12)	3 шт.
11. Модуль однофазных трансформаторов	(место 13)	1 шт.
12. Модуль трехфазной сети	(место 14)	1 шт.
13. Персональный компьютер (или ноутбук)		1 шт.
14. Каркас для размещения 8 модулей		1 шт.

Технические характеристики

- Электропитание от сети..... 3х380 В
- Частота питающего напряжения..... 50 Гц
- Потребляемая мощность, не более.....300 В А

- Габаритные размеры.....1520x650x400 мм

2.2 Порядок подключения стенда

Питание стенда обеспечивается от трехфазной пяти- или четырёхпроводной электрической сети (в зависимости от типа питающей сети) с номинальным линейным напряжением 380В, силовым кабелем К1, имеющим 11-контактный разъем типа РП-10-11 на одном конце.

Конструкция стенда предусматривает защитное заземление. «Эксплуатация стенда без защитного заземления ЗАПРЕЩЕНА!» Для выполнения заземления в стенде предусмотрены болты заземления (модуль питания стенда металлические каркасы), в кабеле питания стенда предусмотрен защитный РЕ проводник.

Подключение питания стенда и защитное заземление выполняются от защитного типа питающей электрической сети: система ТТ.

Подача напряжения питания на отдельные модули стенда осуществляется с помощью межблочных соединений.

2.3 Структура и общие принципы работы

Стенд содержит основные узлы, силовые преобразователи, измерительные элементы, охватывающие основные разделы курса «Передача и качество электрической энергии», и позволяет провести:

- исследование параметров установившегося режима электрической сети;
- регулирование напряжения в распределительной электрической сети;
- исследование характеристик электрической нагрузки;
- качество электрической энергии в системах электроснабжения

Для выполнения программы работ в лабораторный стенд включены:

1. Модули питания (модуль питания стенда, модуль трехфазной сети), защищающие стенд в режиме короткого замыкания и обеспечивающие подачу трехфазного напряжения 380В, однофазного напряжения 220В и низковольтных напряжений питания $\pm 12\text{В}$, $+5\text{В}$. Модуль трехфазной сети работает в ручном и автоматическом режимах.

2. Модули нагрузки (индуктивной, емкостной и активной) обеспечивают введение добавочных регулируемых индуктивностей, емкостей и резисторов в исследуемые трехфазные цепи.

3. Модуль автотрансформатора обеспечивает подачу силовых регулируемых напряжений постоянного и переменного токов.

4. Модуль измерителя мощности позволяет выполнить измерение цифровым прибором параметров переменного тока (U , I , f , P , $\cos \varphi$);

5. Модули лабораторных работ (однофазных трансформаторов, линии электропередач, продольной емкостной компенсации) позволяют смоделировать и исследовать электрическую систему.

6. Персональный компьютер (или ноутбук) и модуль ввода-вывода с платой ввода-вывода используются для осциллографирования, регистрации и отображения аналоговых сигналов (до 8 каналов) с частотами до 1 кГц с помощью универсальной платы ввода-вывода DP mod.5.4.4. Программное обеспечение - приложение DeltaProfi реализованное с использованием среды разработки DELPHI.

Модуль ввода-вывода предназначен для ввода и вывода аналоговых и дискретных сигналов в персональный компьютер через датчики тока и напряжения, и плату ввода/вывода DP mod.5.4.4.

Модуль питания стенда

Модуль питания стенда (МПС) предназначен для ввода трехфазного напряжения из сети в лабораторный стенд, защиты стенда от токов короткого замыкания и подачи силовых и низковольтных напряжений

питания на модули комплекса. Внешний вид модуля представлен на рис. 2.2.

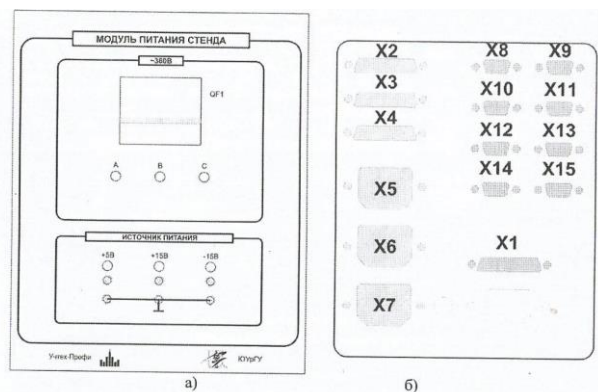


Рисунок 2.2 – Модуль питания стенда (внешний вид)

а) – лицевая сторона б) – тыльная сторона

На лицевой панели модуля размещены:

- автоматический выключатель QF1 типа iEK BA47-29 СЮ на 10А/400В;
- вторичный источник питания типа РТ45В, обеспечивающий питание элементов стенда напряжением ± 12 В, +5В;
- элементы индикации и контроля (светодиоды и клеммы) для индикации поданного силового напряжения, наличия низковольтных напряжений и контроля с помощью измерительного прибора уровней напряжений внешнего источника питания (ВИП).

С тыльной стороны модуля размещаются разъемы для подключения напряжения питания и модулей стенда. Назначение разъемов приведено в табл. 2.1.

Таблица 2.1- Назначение и типы разъемов модуля питания стенда

№	Обозначение разъема	Тип разъема	Назначение разъема
1	XI	РП10-11	Вход трехфазного питающего напряжения стенда (три фазы А, В, С, нейтраль N, заземление РЕ)
2	X2...X4	РП10-11	Выход трехфазного питающих напряжений на силовые модули стенда (все разъемы идентичны друг другу)
3	X5...X6	сип	Выход однофазного питающего напряжения на силовые модули стенда (все разъемы идентичны друг другу)
4	X7	енп	Выход однофазного питающего напряжения для сетевого фильтра. Внимание! Разъем не защищён автоматическим выключателем.
5	X8...X15	DB9	Выход низковольтного напряжения питания $\pm 12V$, + 5V на модули стенда (все разъемы идентичны друг другу)

Модуль трехфазной электрической сети

Модуль предназначен для подачи трехфазного напряжения питания из электрической сети и используется в схемах лабораторных работ как источник практически бесконечной мощности. Модуль содержит трехфазный контактор с двухканальным ручным управлением, используемый как модель трехфазного силового выключателя. Внешний вид модуля представлен на рис. 2.3.

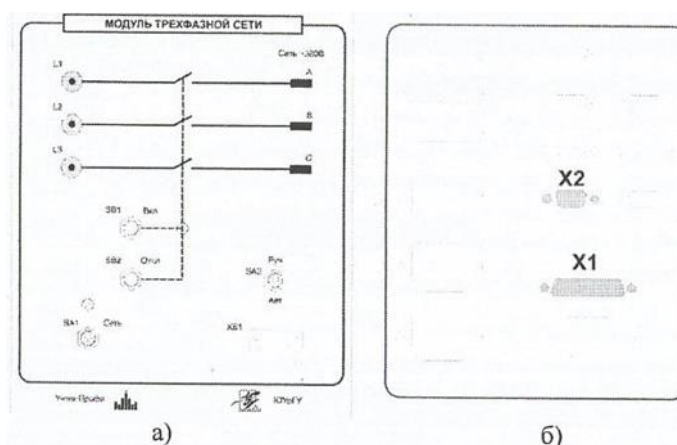


Рисунок 2.3 – Модуль трёхфазной электрической сети

а) – лицевая сторона б) – тыльная сторона

На лицевой панели модуля размещены:

- тумблер SA1 «Сеть», обеспечивающий включение/отключение питания модуля и соответствующий ему светодиод, отображающий наличие питания;

- клеммы L1...L3, являющиеся выходами переменного напряжения 380В фаз А, В и С и представляющие собой шины практически бесконечной мощности;

- кнопки SB 1 «Вкл» и SB2 «Откл» предназначенные для управления (включения/отключения) выключателя модуля трехфазной электрической сети и соответствующий ему светодиод, отображающий текущее состояние выключателя (включен/отключен);

- тумблер SA2, обеспечивающий выбор режима работы модуля, в положении «Руч» управление выключателем осуществляется вручную, кнопками SB 1 и SB2, в положении «Авт» управление выключателем осуществляется через разъем XS1, расположенный на лицевой панели модуля;

- разъем XS1 типа DB9, обеспечивающий возможность дистанционного управления выключателем в случае, когда тумблер SA2 находится в положении «Авт».

С тыльной стороны модуля размещаются разъемы для подключения напряжения питания. Назначение разъемов приведено в табл. 2.2.

Таблица 2.2 - Назначение и типы разъемов модуля трехфазной электрической сети

№	Обозначение разъема	Тип разъема	Назначение разъема
1	X1	РП10-11	Вход трехфазного питающего напряжения -380В от модуля питания стенда (разъемы X2...X4 модуля питания стенда)
2	X2	DB9	Вход низковольтного напряжения питания $\pm 12В$, + 5В

Таблица 2.3 - Таблица измеряемых параметров для светодиодных индикаторов групп LED01 и LED03

LED01	VL-L - Линейное (межфазное) напряжение VL-N - Фазное напряжение A - Ток W - Активная мощность Var - Реактивная мощность VA - Полная мощность P.F. - Фактор мощности Total hours - Общее время Partial hours - Отдельно фиксируемое время (Отдельное время)
LED03	VL-L - Усреднение линейного (межфазного) напряжения VL-N - Усреднение фазного напряжения Hz - Частота EW - Суммарная активная мощность, Ватт Evar - Суммарная реактивная мощность, ВАр EVA - Суммарная полная мощность, В А

Таблица 2.4 - Технические характеристики измерителя

Параметр	Диапазон измерения	Погрешность
Линейное напряжение, В	60-830	$\pm 0.35\%$
Фазное напряжение, В	30-480	$\pm 0.35\%$
Ток, А	0,05-6	$\pm 0.5\%$
Частота, Гц	45-65	± 0.1 Гц
Активная мощность, Вт ($\cos\phi$ 0.7-1)/($\cos\phi$ 0.3-0.7)	-	$\pm 1\% / \pm 1.25\%$
Полная мощность, ВА	-	$\pm 0.5\%$
Реактивная мощность, ВАр ($\cos\phi$ 0.7-1)/($\cos\phi$ 0.3-0.7)	-	$\pm 1\% / \pm 1.25\%$

Справа от дисплея находятся кнопки управления:

Кнопки А и В служат для выбора вида измерений, которые выводятся на светодиодные индикаторы группы LED01.

- Измерения, относящиеся к фазам L1, L2, L3 выводятся на дисплей, соответственно, 1, 2, 3.

- Светодиодные индикаторы "к" и "М" (наверху) показывают, что результат измерений выражается в тысячах или миллионах.;

Кнопка С используется для активации одной из функций светодиодных индикаторов из группы LED 02, либо для отмены всех функций.

С помощью кнопки D можно сделать выбор среди трех функций СДИ 1 р\ ним I ED03 и вывести их на ДИСПЛЕЙ 4.

- Данные режимы предназначены для усреднения измерений трехфазных компонент. Для указания единицы измерения в ДИСПЛЕЕ 4 (слева) имеется собственный множитель "к" и "М".

С тыльной стороны модуля размещаются разъемы для подключения напряжения питания и подключения модулей стенда. Назначение разъемов приведено в табл. 2.5

Таблица 2.5 - Назначение и типы разъемов модуля измерителя мощности

№	Обозначение разъема	Тип разъема	Назначение разъема
1	XI	РП10-11-В	Вход трехфазного питающего напряжения ~3х380/220В от модуля питания стенда (разъемы X2...X4 модуля питания стенда)
2	X2...X4	СНП-226-Р	Выход (разветвитель) однофазного напряжения питания ~220В на модули стенда (все разъемы идеигичны друг другу).

Модуль ввода-вывода

Модуль ввода-вывода (рис. 2.5.) предназначен для ввода и вывода аналоговых и дискретных сигналов в персональный компьютер (ноутбук) через датчики тока и напряжения, и плату аналогового ввода/вывода DP mod 5.4.4. с целью осциллографирования, регистрации, обработки и отображения аналоговых сигналов в режиме реального времени.

Модуль ввода-вывода содержит 3 датчика напряжения типа LV25-Р и 3 датчика тока типа НУ5-Р. Датчики модуля ввода-вывода позволяют получить маломощные напряжения, пропорциональные значениям

входных силовых токов и напряжений. Датчики обеспечивают потенциальное разделение силовых цепей и цепей управления.

Датчики модуля ввода-вывода работают на постоянном и переменном токе. Электрическая прочность изоляции датчиков 2,5 кВ. Диапазоны работы датчиков приведены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 - Диапазоны работы датчиков

Датчик	Диапазон входных сигналов	Диапазон выходных сигналов, В	Частотный диапазон работы, Гц
ДН	+0...500В	10...5	0...50
ДТ	+0...2 А	±0...5	0...50

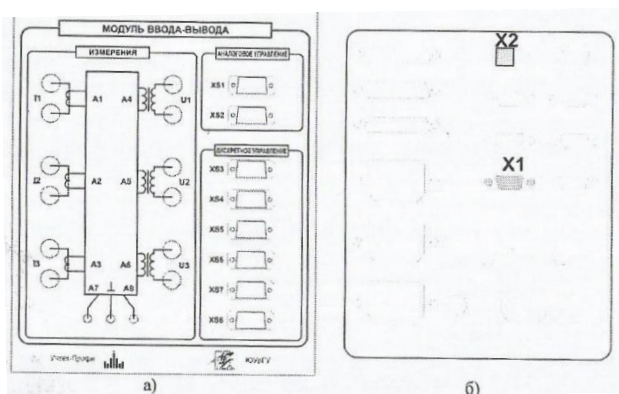


Рисунок 2.5 – Модуль ввода-вывода

а) – лицевая сторона б) – тыльная сторона

Модуль ввода-вывода содержит плату ввода/вывода DP mod 5.4.4.

Плата аналогового ввода/вывода DP mod 5.4.4 служит для ввода/вывода и обработки аналоговой и цифровой информации в персональном компьютере (или ноутбуке). Подключается к компьютеру с помощью кабеля USB-A - USB- B (входит в комплект). Плата в стенде используется вместе с программным обеспечением, входящим в состав стенда.

Технические характеристики платы приведены в табл. 2.7.

Таблица 2.7 - Технические характеристики платы

Наименование параметра	Значение
АЦП	
Количество каналов	8
Разрядность	12 бит
Время преобразования	10 мкс
Максимальная частота преобразования (на 1 канал)	25 кГц 50 кГц 100 кГц
- в режиме ввода 8 сигналов	
- в режиме ввода 4 сигналов	
- в режиме ввода 2 сигналов	100 кГц
Диапазон входных сигналов	±10 В
ДЛИ	
Количество каналов	2
Разрядность	12 бит
Максимальная частота преобразования (на 1 канал)	25 кГц
Время установления	8 мкс
Выходной диапазон	±10 В
Цифровые входы и выходы	
Входной порт	8 бит КМОП, серия НСТ
Выходной порт	16 бит КМОП, серия НСТ
Напряжение низкого уровня	мин 0 В, макс 0,4 В
Напряжение высокого уровня	мин 2,4 В, макс 5,0 В
Выходной ток низкого уровня (макс)	6 мА

С тыльной стороны модуля размещаются разъемы для подключения питания модуля и соединения его с компьютером. Назначение разъемов приведено в табл. 2.8.

Таблица 2.8 - Назначение и типы разъемов модуля ввода-вывода

№	Обозначение разъема	Тип разъема	Назначение разъема
1	X1	DB9	Для подачи напряжения питания ±12 В, + 5В на датчики модуля ввода-вывода от модуля питания стенда (разъемы X8...X15)
2	X2	USB	Для подключения модуля ввода к персональному компьютеру с помощью кабеля USB-A - USB-B.

Модуль «Индуктивная нагрузка»

Модуль используется для моделирования реактивных потребителей при исследовании электрических цепей переменного тока (рис. 2.6).

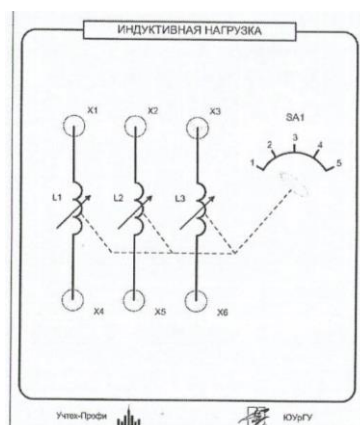


Рисунок 2.6 – Модуль индуктивная нагрузка

Изменение значения индуктивной нагрузки осуществляется переключателем SA1. Соответствие положения переключателя и приближенные значения индуктивности при $U_{BX} = \sim 220$ В представлено в таблице 2.9.

Таблица 2.9 - Положения переключателя и приближенные значения индуктивности

Положение переключателя SA1	1	2	3	4	5
Индуктивность, Гн	10	7,5	6	4	3

Модуль «Емкостная нагрузка»

Модуль «Емкостная нагрузка» применяется для создания регулируемой трехфазной емкостной нагрузки. Вид модуля представлен на рисунке 2.7.

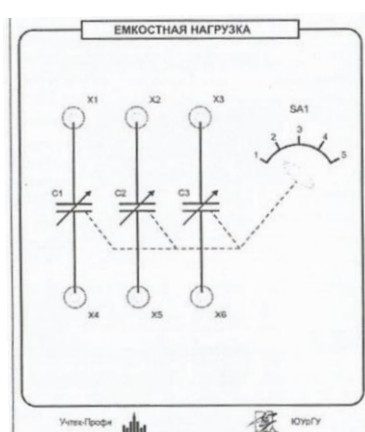


Рисунок 2.7 – Модуль «Емкостная нагрузка»

Изменение значения емкостной нагрузки осуществляется переключателем SA 1. Соответствие положения переключателя и значения нагрузки представлено в таблице 2.10.

Таблица 2.10 - Положения переключателя и значения нагрузки

Положение переключателя SA1	1	2	о	4	5
Емкости конденсаторов, мкФ	0,1	0,22	0,33	0,47	0,94

Модуль «Активная нагрузка»

Модуль «Активная нагрузка» применяется для создания регулируемой трехфазной активной нагрузки. Вид модуля представлен на рисунке 2.8.

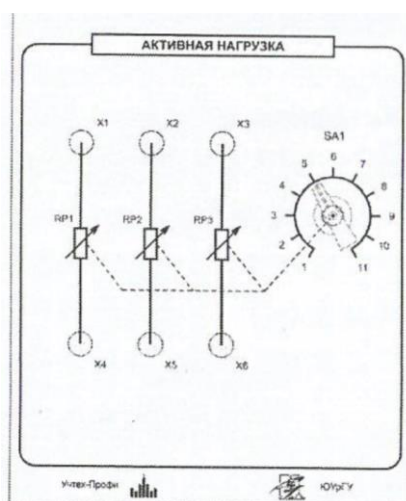


Рисунок 2.8 – Модуль «Активная нагрузка»

Изменение значения активной нагрузки осуществляется переключателем SA1. Соответствие положения переключателя и значения нагрузки представлено в таблице 2.11.

Таблица 2.11 - Положения переключателя и значения нагрузки

Положение переключателя SA1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Сопротивление, кОм	2,2	2,4	2,6	2,8	3	3,2	3,4	3,6	3,8	4	4,2

Модуль однофазных трансформаторов

Модуль однофазных трансформаторов (рис. 2.9). Характеристики трансформаторов приведены в таблице 2.12

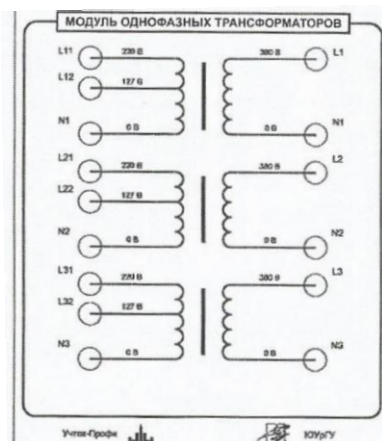


Рисунок 2.9 – Модуль однофазных трансформаторов

Таблица 2.12 - Характеристики трансформаторов

Тип	ОСМ1
Мощность, кВА	0,1
Входное напряжение, В	380
Выходное напряжение, В	220/127

Модуль линии электропередач

Модуль предназначен для моделирования воздушных и кабельных линий электропередач с П-образной схемой замещения. Внешний вид модуля представлен на рис. 2.10.

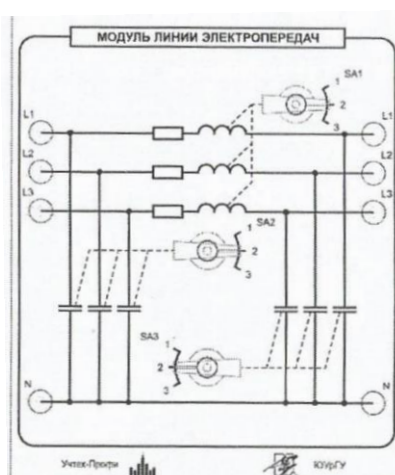


Рисунок 2.10 – Модуль линии электропередач

На лицевой панели модуля размещены:

- входные и выходные клеммы L1, L2, L3, N для включения модуля в исследуемую цепь;
- переключатель SA1 для изменения величины активно-индуктивного сопротивления электропередачи (длины линии электропередачи);
- переключатели SA2, SA3 для изменения величины емкостной составляющей линии электропередачи.

Основные технические характеристики и диапазон изменения параметров линии электропередачи представлены в табл. 2.13.

Таблица 2.13 - Технические характеристики модуля линии электропередачи

Номинальное напряжение, В	220		
Номинальный (длительно-допустимый) ток, А	0,8		
Индуктивность фазы, Гн	При положении SA1:		
	1	2	3
	0,14	0,28	0,42
Емкость фазы в начале/конце линии электропередачи, мкФ	При положении SA2/SA3:		
	1	2	3
	0	0,47	0,94

Модуль автотрансформатора

Модуль автотрансформатора (рис 2.11) предназначен для использования в качестве регулируемого источника питания переменного и постоянного напряжений.

На лицевой панели размещаются:

- Переключатель SA1 для подачи питания на модуль;
- Рукоятка регулировки выходного напряжения автотрансформатора.

Для индикации наличия напряжения на выходных клеммах модуля установлены светодиоды.

Модуль содержит автотрансформатор типа TDGC2-0.5 с максимальным выходным током 2А

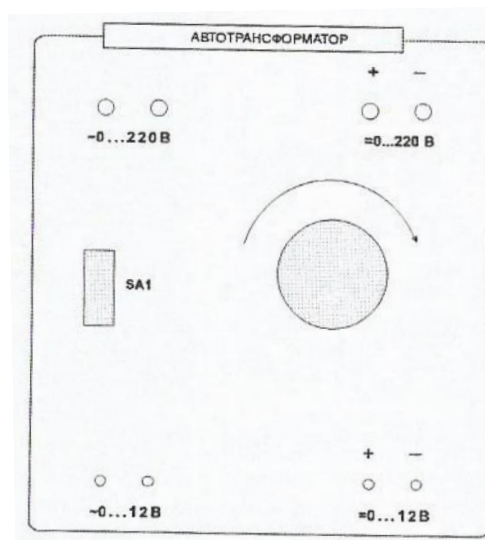


Рисунок 2.11 – Модуль автотрансформатора

На выходе автотрансформатора установлен двухполупериодный выпрямитель RS407 для получения регулируемого постоянного напряжения 0...220 В. Для получения пониженных значений постоянного и переменного напряжений на выходе автотрансформатора подключен понижающий трансформатор типа ТП125-2 со следующими номинальными параметрами: номинальное вторичное напряжение 8 В, номинальный вторичный ток 2,4 А. Вторичная обмотка этого трансформатора подключена к выходу -0...12 В. Для получения пониженного постоянного напряжения ко вторичной обмотке трансформатора подключен двухполупериодный выпрямитель.

С тыльной стороны модуля размещаются разъемы для подключения напряжения питания.

Таблица 2.14 - Назначение и типы разъемов модуля автотрансформатора

№	Обозначение разъема	Тип разъема	Назначение разъема
1	X1	СНП	Вход однофазного питающего напряжения -220В
2	X2	СНП	Выход (разветвитель) однофазного питающего напряжения -220В

Модуль «Продольно емкостная компенсация»

Модуль (рис. 2.12) предназначен для моделирования продольной емкостной компенсации линий электропередач и реактивных нагрузок.

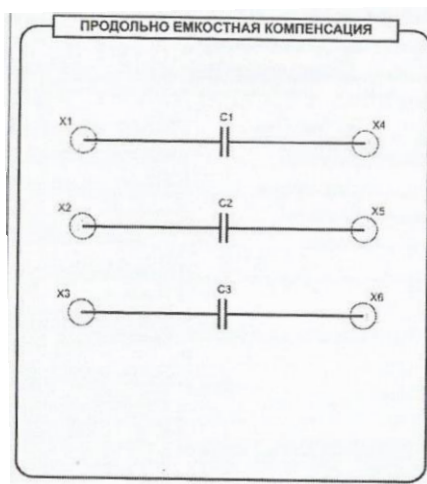


Рисунок 2.12 – Модуль «Продольно емкостная компенсация»

Характеристики: $C_1 = 15 \text{ мкФ}$; $U = 630 \text{ В}$.

Модуль однофазной выпрямительной нагрузки и фильтрокомпенсирующего устройства

Модуль содержит два функциональных узла: модуль однофазной выпрямительной нагрузки и модуль фильтрокомпенсирующего устройства. Внешний вид модуля показан на рисунке 2.13.

Модуль однофазной выпрямительной нагрузки предназначен для выпрямления напряжения и тока.

Диод VD1 используется как однополупериодный выпрямитель, диодный мост UZ2 используется как двухполупериодный выпрямитель.

Модуль фильтрокомпенсирующего устройства предназначен для снижения высших гармоник тока в цепях питания электрической нагрузки через полупроводниковые выпрямители.

Содержит две индуктивности L1 (клеммы X9-X10), L2(клеммы X15-X16) номинальное значение которых 0,14 Гн и три емкости номиналом по 3 мкФ (клеммы X-11-X12, X13-X14, X17-X18).

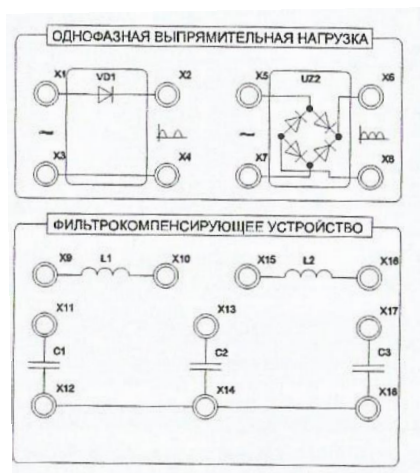


Рисунок 2.13 – Модуль однофазной выпрямительной нагрузки и фильтрокомпенсирующего устройства

Комплекты кабелей и соединительных проводов

Таблица 2.15 - Количество соединительных проводов, жгутов и кабелей

Тип	Кол-во	Примечание
Силовые соединительные провода		
MLS-MLS	25	Длина 0,5 м провода с защищенными штырями
MLS - MLS	15	Длина 1 м провода с защищенными штырями
Силовые кабели		
K1	1	Для подачи трехфазного питания на стенд 3х380В, длина 3 м
РП10-РП10	2	Жгут подачи напряжения на модуль трехфазной сети и измеритель мощности
СНП-СНП	1	Для подачи питания 220 В на модули мультиметров и автотрансформатора
Сетевой фильтр	1	Для подачи питания на ПК
Стандартные кабели		
DB9F-DB9M	2	Для подачи питания ± 12 В, +5 В на модуль ввода-вывода и модуль трехфазной сети
USB-A-USB-B	1	Информационный кабель подключения модуля ввода-вывода к персональному компьютеру (или ноутбуку)

ГЛАВА 3 ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ СТЕНДА «ПЕРЕДАЧА И КАЧЕСТВО ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ»

Лабораторные работа №1

Исследование параметров установившегося режима электрической сети с односторонним питанием

Цель работы: изучить и освоить методику исследования параметров установившегося режима электрической сети с односторонним питанием.

Порядок выполнения работы:

1 изучить факторы, влияющие на значения режимных параметров линии электропередачи (активной и реактивной мощностей, токов и напряжений);

2 изучить методики расчета установившихся режимов работы электрической сетей с односторонним питанием;

3 сопоставить данные расчетных и экспериментальных значений.

Общие сведения

Электрическая система – это электрическая цепь, предназначенная для производства, распределения и потребления электроэнергии.

Схемой замещения электрической цепи называют графическое изображение электрической цепи, показывающее последовательность соединения ее участков и отображающее свойства рассматриваемой электрической цепи. Электрическая цепь и соответственно ее схема содержат ветви, узлы и в общем случае контуры.

Ветвью называют участок электрической цепи, состоящей из последовательно соединенных элементов (с одним и тем же током).

Узлом называют место соединения двух или большего числа ветвей. Одной ветвью может быть источник тока.

Контур – это любой замкнутый путь, проходящий по нескольким ветвям.

Если схема электрической цепи не содержит контуров, то она называется разомкнутой.

В теории цепей различают так называемые устранимые и неустранимые узлы и контуры. Устранимый узел – это такой, в котором соединяются только две ветви, устранимый контур образуется только двумя ветвями. Такие узлы и контуры можно легко устранить, применяя известное положение о последовательном и параллельном соединениях, если в число ветвей, соединяющихся в данном узле, не входят нелинейные источники тока.

В разомкнутых электрических сетях питание каждой нагрузки можно осуществлять только, с одной стороны. Каждый узел получает питание не более чем по одной ветви.

Схема, содержащая хотя бы один контур, называется замкнутой. В замкнутой электрической сети есть хотя бы один узел, получающий питание по двум или более ветвям. Отключение какой-либо ветви не приводит к прекращению питания.

Элементы электрических схем делятся на активные и пассивные.

Пассивные элементы схем замещения (сопротивления и проводимости) создают пути для прохождения электрических токов. Пассивные элементы (ветви) электрических систем обычно разделяют на продольные и поперечные.

Поперечные пассивные элементы – это ветви, включенные между узлами схемы и нейтралью, то есть узлом, имеющим напряжение, равное нулю.

Продольные элементы – это ветви, соединяющие все узлы, кроме узла с напряжением, равным нулю, то есть продольные ветви не соединены с нейтралью.

Продольные ветви включают активные и индуктивные сопротивления линий электропередачи и обмоток трансформатора, емкость устройств продольной компенсации.

Поперечные пассивные элементы соответствуют проводимостям линий электропередачи на землю, реакторам и конденсаторам, включенным на землю. В некоторых случаях потери в стали трансформаторов представляются в схеме замещения как поперечные проводимости.

Активные элементы схем замещения – источники ЭДС и тока. Для них наиболее характерным является то, что они определяют напряжение или токи в точках присоединения этих элементов в соответствующей цепи независимо от ее остальных параметров. Источники ЭДС в расчетах электрических систем используются редко.

Источники тока в расчетах электрических систем соответствуют нагрузкам потребителей и генераторов электрических станций. Именно в этих активных элементах потребляется и генерируется мощность.

Установившиеся режимы цепей, содержащих только линейные пассивные элементы и постоянные не изменяющиеся по модулю и фазе источники тока, описываются линейными алгебраическими уравнениями – линейными уравнениями установившегося режима. Такие цепи называются линейными электрическими цепями. Этот случай соответствует расчету установившихся режимов электрических систем при задании постоянных по модулю и фазе токов нагрузки потребителей и генераторов во всех узлах электрической системы, кроме одного.

В расчетах установившихся режимов электрических систем нелинейность пассивных элементов, как правило, не учитывается. В этом случае продольная часть схемы замещения всегда линейна. В то же время, как правило, при расчетах установившихся режимов электрических систем учитываются нелинейные характеристики источника тока. Нелинейность источника тока соответствует заданию в узлах нагрузки потребителей или

генераторов с постоянной мощностью либо заданию нагрузки ее статистическими характеристиками, определяющими зависимость мощности от напряжения. Установившиеся режимы электрических систем с нелинейными источниками тока описываются нелинейными алгебраическими уравнениями – нелинейными уравнениями установившегося режима.

Порядок проведения исследования:

1) Собрать схему лабораторных испытаний рис. 3.1. Схема представляет собой электрическую сеть с радиальным питанием. Источник питания 1, представляющий собой электрическую сеть бесконечной мощности, через понижающий трансформатор 2 и модуль измерителя мощности 3, питает линию электропередачи 4. От подстанции, расположенной на противоположном (приемном) конце линии 4, отходят две линии электропередачи 5 и 6, каждая из которых питает своих потребителей 7 и 8 соответственно. В качестве нагрузки 7 рекомендуется использовать модуль индуктивной нагрузки, а в качестве нагрузки 8, модуль активной нагрузки. Схема соединения обоих модулей - звезда без нулевого провода. Для измерений режимных параметров используются датчики токов и напряжений. При этом, датчики токов включаются последовательно в измеряемую цепь фазы А, а датчики напряжения - на напряжение фазы А (измерения производятся относительно нейтрале силового трансформатора).

2) Установить параметры линии электропередач: а) максимальное значение продольной составляющей (переключатель SA1 в положение 3); б) отключение поперечной составляющей (переключатели SA2, SA3 в положение 1). Установить параметры активной и индуктивной нагрузки: переключатели SA1 в положение 1.

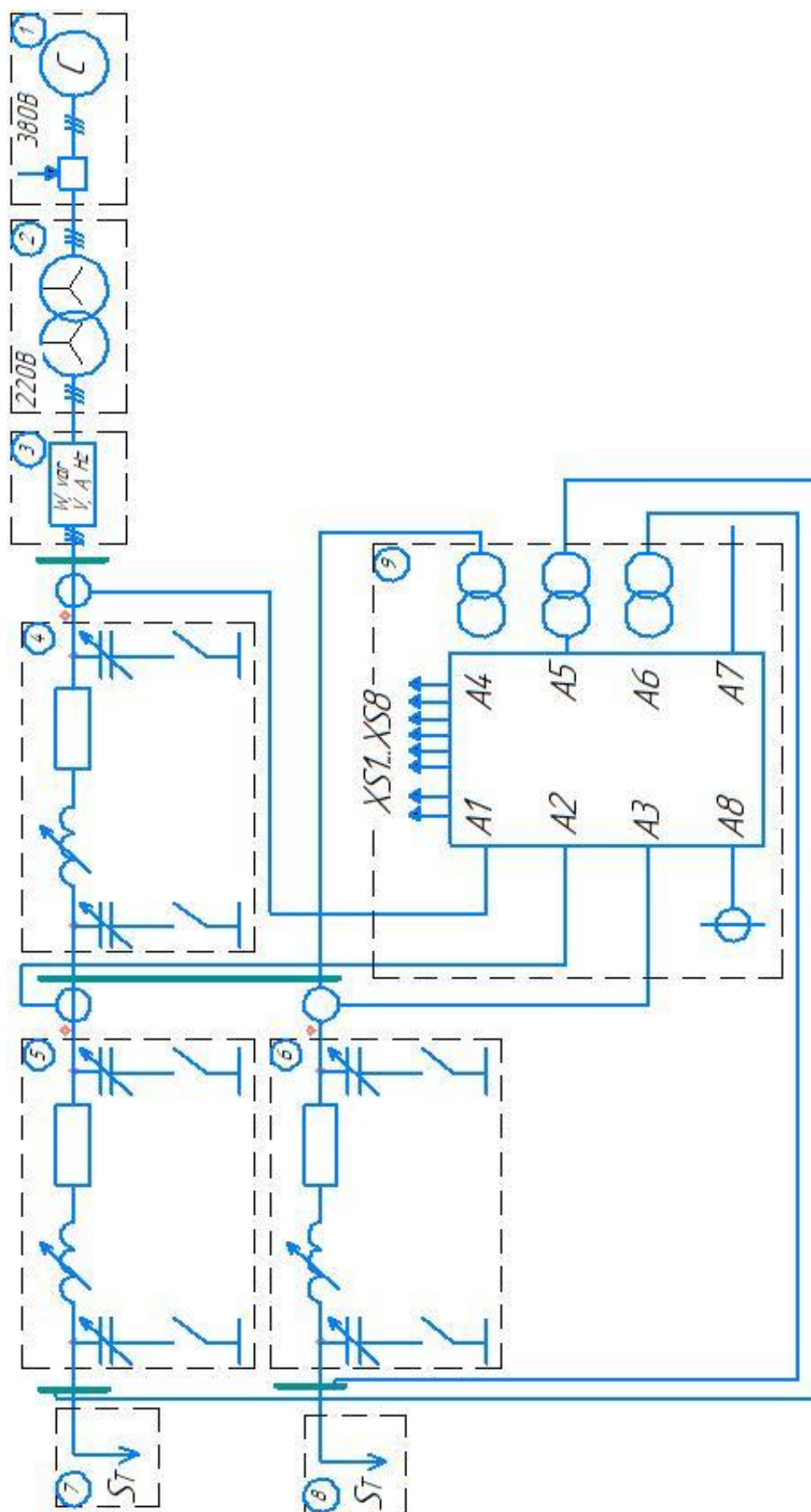


Рисунок 3.1 – Схема лабораторных испытаний №1

3) На персональном компьютере запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск - Программы - Лабораторный комплекс - DeltaProfi). Открыть лабораторную работу командой «Работы - Передача и качество ЭЭ - Работа №1 Измерение параметров установившегося режима электрической сети с односторонним питанием».

4) Включить питание стенда.

5) Включить выключатель модуля трехфазной электрической сети (кнопка SB1 на лицевой панели модуля трёхфазной электрической сети).

6) Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление - Пуск» или горячей клавишей F5.

7) В таблицу 3.1 записать показания измерительных приборов на мнемосхеме ПК, а также, величину линейного напряжения, активной и реактивной мощном и потребляемой из электрической сети по показаниям модуля измерителя мощности.

8) Нажать кнопку «Откл» модуля трехфазной электрической сети.

9) Изменить длину линии электропередачи 4, переведя переключатель SA1 в положение 1.

10) Нажать кнопку «Вкл» модуля трёхфазной электрической сети. В таблицу 3.1 записан, показания измерительных приборов на мнемосхеме ПК, а также, величину линейного напряжения, активной и реактивной мощности, потребляемой из электрической сети по показаниям модуля измерителя мощности.

11) Нажать кнопку «Откл» модуля трехфазной электрической сети. Отключить питание стенда.

12) Вернуть переключатель SA1 линии 4 в исходное (третье - 3) положение.

13) Изменить напряжение питания электрической сети с 220В на 127В (переключившись на другие отпайки силового трансформатора).

14) Включить питание стенда. Нажать кнопку «Вкл» модуля трехфазной электрической сети. В таблицу 3.1 записать показания измерительных приборов на мнемосхеме ПК, а также, величину линейного напряжения, активной и реактивной мощности, потребляемой из электрической сети по показаниям модуля измерителя мощности.

15) Нажать кнопку «Откл» модуля трехфазной электрической сети. Изменить напряжение питания электрической сети с 127В на 220В (переключившись на другие отпайки силового трансформатора). Изменить величину активной и/или индуктивной нагрузки в соответствии с индивидуальным заданием.

16) Нажать кнопку «Вкл» модуля трехфазной электрической сети. В таблицу 3.1 записать показания измерительных приборов на мнемосхеме ПК, а также, величину линейного напряжения, активной и реактивной мощности, потребляемой из электрической сети по показаниям модуля измерителя мощности.

17) Остановить программу кнопкой «Стоп», командой главного меню «Управление — Стоп» или горячей клавишей F6. Нажать кнопку «Откл» модуля трехфазной сети. Отключить питание стенда.

18) Оформить отчет по лабораторной работе.

Содержание отчета:

- 1) Указать цель работы.
- 2) Вычертить схему электрической сети с односторонним питанием.
- 3) Привести результаты экспериментальных исследований режимов работы сети.
- 4) Дать развернутые ответы на 1 и 2 вопросы
- 5) Сделать выводы.
- 6) Ответить на контрольные вопросы.

Таблица 3.1 – Результаты экспериментальных исследований режимов работы сети

Режим работы сети			U ном = 220В Акт. нагр. SA1 = Инд. нагр. SA1 = ЛЭП W1 SA1 =	U ном = 220В Акт. нагр. SA1 = Инд. нагр. SA1 = ЛЭП W1 SA1 =	U ном = 127В Акт. нагр. SA1 = Инд. нагр. SA1 = ЛЭП W1 SA1 =	U ном = 220В Акт. нагр. SA1 = Инд. нагр. SA1 = ЛЭП W1 SA1 =
ЛЭП W1	Начало	P, Вт				
		Q, Вар				
	Конец	P1, Вт				
		Q1, Вар				
	Потери	ДР, Вт				
AQ, Вар						
ЛЭП W2	Начало	P2, Вт				
		Q2, Вар				
	Конец	P3, Вт				
		Q3, Вар				
	Потери	ДР, Вт				
AQ, Вар						
ЛЭП W3	Начало	P4, Вт				
		Q4, Вар				
	Конец	P5, Вт				
		Q5, Вар	0	0	0	0
	Потери	ДР, Вт				
AQ, Вар						
Напряжения в узлах сети		U,В				
		U1,В				
		U2, В				
		U3, В				

Контрольные вопросы:

1. Определить, влияние величины нагрузки, напряжение питания и длинны линий электропередач на напряжения в узлах электрической сети, величины перетоков активных и реактивных мощностей по линиям электропередач.

2. Объяснить, почему суммарная мощность, потребляемая из электрической сети больше суммарной мощности нагрузки, а также разницу между мощностями в начале и в конце ЛЭП 5 и 6.

3. Какие режимы работы электрической сети Вы знаете?

4. Понятие установившегося режима работы электроустановки с односторонним питанием?

5. Что означает режим работы с односторонним питанием?

6. Поясните работу однолинейной электрической схемы?

7. Перечень и назначение аппаратуры стенда, какие функции они выполняют, параметры измерения можно с ними провести?

8. Порядок лабораторной работы?

Лабораторные работа №2

Исследование параметров установившегося режима электрической сети с двухсторонним питанием

Цель работы:

- исследовать влияние параметров линий электропередач с двухсторонним питанием (длина, номинальное напряжение) и.

Порядок выполнения работы:

1 изучить факторы, влияющие на значения режимных параметров линии электропередачи (длина, номинальное напряжение);

2 изучить параметры нагрузки в отдельных узлах на величины режимных параметров в кольцевой электрической сети (напряжения в узлах, перетоки активной и реактивной мощности, потери);

3 сопоставить данные расчетных и экспериментальных значений.

Общие сведения

Замкнутые электрические сети применяются для электроснабжения потребителей I и II категории. К основным их преимуществам относятся:

1. Надежность электроснабжения потребителей. Замкнутые электрические сети при надлежащем резервировании по источникам могут обеспечить практически бесперебойное питание потребителей.

2. Экономичность работы. В замкнутых электрических сетях потери мощности меньше, чем в разомкнутых резервированных электрических сетях. В ряде случаев стоимость сооружения замкнутой электрической сети получается меньшей, чем разомкнутой при одинаковой степени резервирования.

Недостатком замкнутых электрической сетей является их высокая стоимость и сложность защиты от ненормальных режимов.

Расчет замкнутых электрической сетей в отличие от разомкнутых имеет две особенности:

1. В замкнутых электрической сетях распределение токов или мощностей по участкам электрической сети определяется не только положением и параметрами нагрузок, но и параметрами самой электрической сети (марки и сечения проводов и кабелей, расположение проводов и расстояния между ними). Для определения токов на участках электрической сети приходится выполнять специальные расчеты, которые составляют наиболее трудоемкую часть всего расчета.

2. Сечения проводов (кабелей) в замкнутых электрической сетях определяются не только нормальным, но и аварийным режимом, который для них является также расчетным и предусматривается при проектировании электрической сети.

Заметим, что степень резервирования по электрическим сетям и источникам должна проверяться технико-экономическими расчетами. При этом учитывается возможность отключения части потребителей или снижения качества напряжения, а также использования допускаемых перегрузок для отдельных элементов электрической сети при аварийном режиме.

Расчет электрических сетей с двусторонним питанием.

Распределение мощностей на участках электрических сетей до 35 кВ и 110-220 кВ определяют одинаковыми методами. Однако в последнем случае вводят некоторые упрощения:

1) - под расчетными нагрузками понимаются нагрузки подстанций, приведенные к стороне высшего напряжения трансформаторов, включая и мощности, обусловленные проводимостями участков электрической сетей;

2) - распределение мощностей находится без учета влияния потерь мощности на участках электрической сети, потери мощности на участках электрической сети вычисляются на второй стадии расчета, когда определены потоки мощности, найденные без учета влияния этих потерь.

Последнее положение соответствует расчету электрической сети по номинальному напряжению.

3) При этих допущениях линии замещаются только их активными и реактивными сопротивлениями.

Нахождение распределения мощностей рассмотрим на примере электрической сети с двусторонним питанием (рис.3.2)

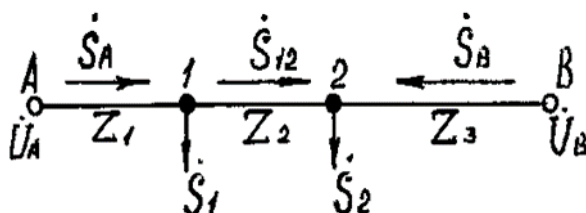


Рисунок 3.2 - Схема электрической сети с двусторонним питанием имеющей нагрузки $\dot{S}_1$ и $\dot{S}_2$, напряжения в центрах питания $\dot{U}_A$ и $\dot{U}_B$ и сопротивлений участков сети Z_1 , Z_2 и Z_3 . В общем случае будем считать, что $\dot{U}_A \neq \dot{U}_B$ и $Z_1 \neq Z_2 \neq Z_3$.

Приняв предварительно, что направление потоков мощностей соответствует указанному на рис.3, напомним по второму закону Кирхгофа.

$$\dot{U}_A - \dot{U}_B = \frac{\dot{S}_A}{\sqrt{3}U_H} Z_1 + \frac{\dot{S}_{12}}{\sqrt{3}U_H} Z_2 - \frac{\dot{S}_B}{\sqrt{3}U_H} Z_3. \quad (1)$$

Применяя первый закон Кирхгофа к узлам 1 и 2, можно написать

$$\dot{S}_{12} = \dot{S}_A - \dot{S}_1 \quad \text{и} \quad \dot{S}_B = \dot{S}_2 - \dot{S}_{12}; \quad \dot{S}_B = \dot{S}_1 + \dot{S}_2 - \dot{S}_A;$$

Тогда (1) после умножения всех членов на $\sqrt{3}U_H$

$$\sqrt{3}U_H(\dot{U}_A - \dot{U}_B) = \dot{S}_A Z_1 + (\dot{S}_A - \dot{S}_1) Z_2 - (\dot{S}_1 + \dot{S}_2 - \dot{S}_A) Z_3$$

группируя члены с $\dot{S}_A$, $\dot{S}_1$, $\dot{S}_2$, находим

$$\sqrt{3}U_H(\dot{U}_A - \dot{U}_B) = \dot{S}_A(Z_1 + Z_2 + Z_3) - \dot{S}_1(Z_2 + Z_3) - \dot{S}_2 Z_3$$

Обозначая $Z_{AB} = Z_1 + Z_2 + Z_3$, а также $Z'_1 = Z_2 + Z_3$, $Z'_2 = Z_3$ получим для мощности, вытекающей из центра питания А,

$$\dot{S}_A = \frac{\sqrt{3}U_H(\dot{U}_A - \dot{U}_B)}{Z_{AB}} + \frac{\sum \dot{S}_m Z'_{mB}}{Z_{AB}} \quad (2)$$

где Z'_{mB} - комплекс сопротивлений провода от нагрузки m до точки В.

Первый член правой части (2) представляет уравнительную мощность $S_{ур}$, обусловленную неодинаковостью напряжений центров питания и сопротивлением магистрали электрической сети. Уравнительная мощность не зависит от положений и величины нагрузок

$$\dot{S}_{ур} = \frac{\sqrt{3}U_H(\dot{U}_A - \dot{U}_B)}{Z_{AB}} \quad (3)$$

Второй член дает, мощность, зависящую от положения нагрузок на магистрали, и величины этих нагрузок.

Определение $\dot{S}_A$ по (2) возможно после предварительного выбора сечений проводов и их взаимного расположения, т.е. методом подбора. В частных случаях нахождение распределения мощностей на участках электрической сети значительно упрощается. Рассмотрим частные случаи распределения мощностей по участкам замкнутых электрических сетей.

Замкнутые электрические сети при равенстве напряжений центров питания.

Такие условия имеют место в кольцевых электрических сетях, питающихся от одного источника, а также в электрических сетях с двусторонним питанием одного номинального напряжения относительно небольшой протяженности. К последнему случаю можно отнести и замкнутую электрическую сеть с двумя напряжениями. Эта электрическая сеть с некоторым приближением может быть сведена при условии, что падением напряжения в линии можно пренебречь, а трансформаторы и имеют одинаковые напряжения короткого замыкания и реактивности и также примерно равную загрузку.

Уравнение (2) в этих случаях получит вид

$$\dot{S}_A = \frac{\sum \dot{S}_m Z'_{mB}}{Z_{AB}} \quad (4)$$

Однородные электрические сети при равенстве напряжений центров питания.

Однородными называются такие электрические сети, у которых отношение реактивного сопротивления к активному $\frac{X_m}{r_m}$ одинаково для всех участков. К ним относятся воздушные электрические сети с одинаковыми сечением и расположением проводов по всей длине, кабельные электрические сети с однотипными кабелями одного сечения.

Для однородных электрических сетей формулу (4) можно написать следующим образом:

$$\dot{S}_A = \frac{\sum \dot{S}_m (R'_{mB} + jX'_{mB})}{R_{AB} + jX_{AB}} = \frac{\sum \dot{S}_m \left(1 + \frac{X_{mB}}{R_{AB}}\right) R_{mB}}{\left(1 + \frac{X_{AB}}{R_{AB}}\right) R_{AB}} = \frac{\sum \dot{S}_m R_{mB}}{R_{AB}}. \quad (5)$$

Если в (5) каждое из сопротивлений представить в виде произведения сопротивлений единицы длины r_0 и длины соответствующего участка электрической сети L_{mB} , то получим с одним сечением проводов

$$\dot{S}_A = \frac{\sum \dot{S}_m L_{mB}}{L_{AB}} \quad (6)$$

или

$$\dot{S}_A = P_A - jQ_A = \frac{\sum (P_m - jq_m) L_{mB}}{L_{AB}}.$$

Отсюда находим

$$P_A = \frac{\sum P_m L_{mB}}{L_{AB}}; \quad Q = \frac{\sum q_m L_{mB}}{L_{AB}} \quad (7)$$

Видно, что в однородных электрических сетях имеется независимое распределение активных и реактивных мощностей.

Если напряжения центров питания будут неодинаковы, то на мощность $\dot{S}_A$ вычисленную по (6), должна быть наложена уравнивающая мощность, определяемая по формуле (3).

Электрические сети без учета реактивного сопротивления.

Для таких электрических сетей формула (4) примет вид

$$\dot{S}_A = \frac{\sum S_m R_{mB}}{R_{AB}} \quad (8)$$

и после простых преобразований получается формула (7) для электрической сети с одним сечением проводов.

Распределение мощностей. В таких электрических сетях определяется так же, как и в однородных.

Следует обратить внимание на то, что в формулах (6) и (7) моменты нагрузок берутся от точки приложения до центра питания, противоположного тому, для которого определяется мощность.

Если нагрузки заданы токами, то удобнее определять токи, вытекающие из центра питания. Для этого в формулах (2) и (4) следует каждый член разделить на $\sqrt{3} \cdot U_n$ и получить соответственно:

$$i_A = \frac{U_A - U_B}{Z_{AB}} + \frac{\sum \dot{L} Z'_{AB}}{Z_{AB}} = i_{yp} + \frac{\sum \dot{L}_m \cdot Z'_{mB}}{Z_{AB}} \quad (9)$$

$$i_A = \frac{\sum \dot{L}_m \cdot Z'_{mB}}{Z_{AB}} \quad (10)$$

Если определена мощность, вытекающая из одного центра питания, то легко найти мощности на всех остальных участках сети, применяя при этом первый закон Кирхгофа к узлам присоединения нагрузок. Начинать надо с ближайшего к этому центру питания узла.

Для исключения ошибок при вычислении рекомендуется сразу определять мощности, вытекающие из обоих центров питания.

Если при этом $P_A + P_B = \sum P_m$, то мощности, вытекающие из центров питания, найдены правильно.

Порядок проведения исследования:

1) Собрать схему лабораторных испытаний рис. 3.3. (ВСЕ модули стенда должны быть ОТКЛЮЧЕНЫ!). Схема представляет собой кольцевую электрическую сеть, в которой источник питания 1, представляющий собой энергосистему бесконечной мощности, через понижающий трансформатор 2 и модуль измерителя мощности 3, подает питание на узловую подстанцию с отходящими линиями 4 и 5. На подстанциях с противоположных концов линий электропередач 4 и 5

имеется активная 7 и индуктивная 8 нагрузки. Кроме того, эти подстанции связаны между собой линией электропередачи 6, тем самым создавая кольцевую электрическую сеть. В качестве нагрузки 7 рекомендуется использовать модуль активной нагрузки, а в качестве нагрузки 8, модуль индуктивной нагрузки. Схема соединения обоих модулей — звезда без нулевого провода. Для измерений режимных параметров используются датчики токов и напряжений. При этом, датчики токов включаются последовательно в измеряемую цепь фазы А, а датчики напряжения - на напряжение фазы А (измерения производятся относительно нейтрале силового трансформатора).

2) Установить параметры линии электропередач: а) максимальное значение продольной составляющей (переключатель SA1 в положение 3); б) отключение поперечной составляющей (переключатели SA2, SA3 в положение 1).

3) Установить параметры активной и индуктивной нагрузки: переключатель SA1 в максимально возможное положение.

4) На персональном компьютере запустить программный комплекс «DcltaProfi» (Пуск - Программы - Лабораторный комплекс - DeltaProfi). Открыть лабораторную работу командой «Работы — Передача и качество ЭЭ — Работа №2 Измерение параметров установившегося режима электрической сети с двусторонним питанием».

5) Включить питание стенда.

6) Включить выключатель модуля трехфазной электрической сети (кнопка SB1 на лицевой панели модуля трехфазной электрической сети).

7) Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление - Пуск» или горячей клавишей F5.

8) В таблицу 3.2 записать показания измерительных приборов на мнемосхеме ПК.

9) Нажать кнопку «Откл» модуля трехфазной электрической сети.

10) Изменить длину линии электропередачи 5, переведя переключатель SA1 и положение 1.

11) Включить выключатель модуля трехфазной электрической сети (кнопка SB1 на лицевой панели Модуля трехфазной электрической сети). В таблицу 3.2 записать показания измерительных приборов на мнемосхеме ПК.

12) Нажать кнопку «Откл» модуля трехфазной электрической сети. Отключить питание стенда.

13) Вернуть переключатель SA1 линии 5 в исходное (третье - 3) положение.

14) Изменить напряжение питания электрической сети с 220В на 127В (переключившись на другие отпайки силового трансформатора).

15) Включить питание стенда. Включить выключатель модуля трехфазной сети (кнопка SB1 на лицевой панели модуля трехфазной электрической сети).

16) В таблицу 3.2 записать показания измерительных приборов на мнемосхеме ПК.

17) Нажать кнопку «Откл» модуля трехфазной электрической сети. Изменить напряжение питания электрической сети с 127В на 220В (переключившись на другие отпайки силового трансформатора). Изменить величину активной и/или индуктивной нагрузки в соответствии с индивидуальным заданием. Включить выключатель модуля трехфазной электрической сети (кнопка SB1 на лицевой панели модуля трехфазной электрической сети).

18) В таблицу 3.2 записать показания измерительных приборов на мнемосхеме ПК.

19) Остановить программу кнопкой «Стоп», командой главного меню «Управление - Стоп» или горячей клавишей F6. Нажать кнопку «Откл» модуля трехфазной сети. Отключить питание стенда.

20) Оформить отчет по лабораторной работе.

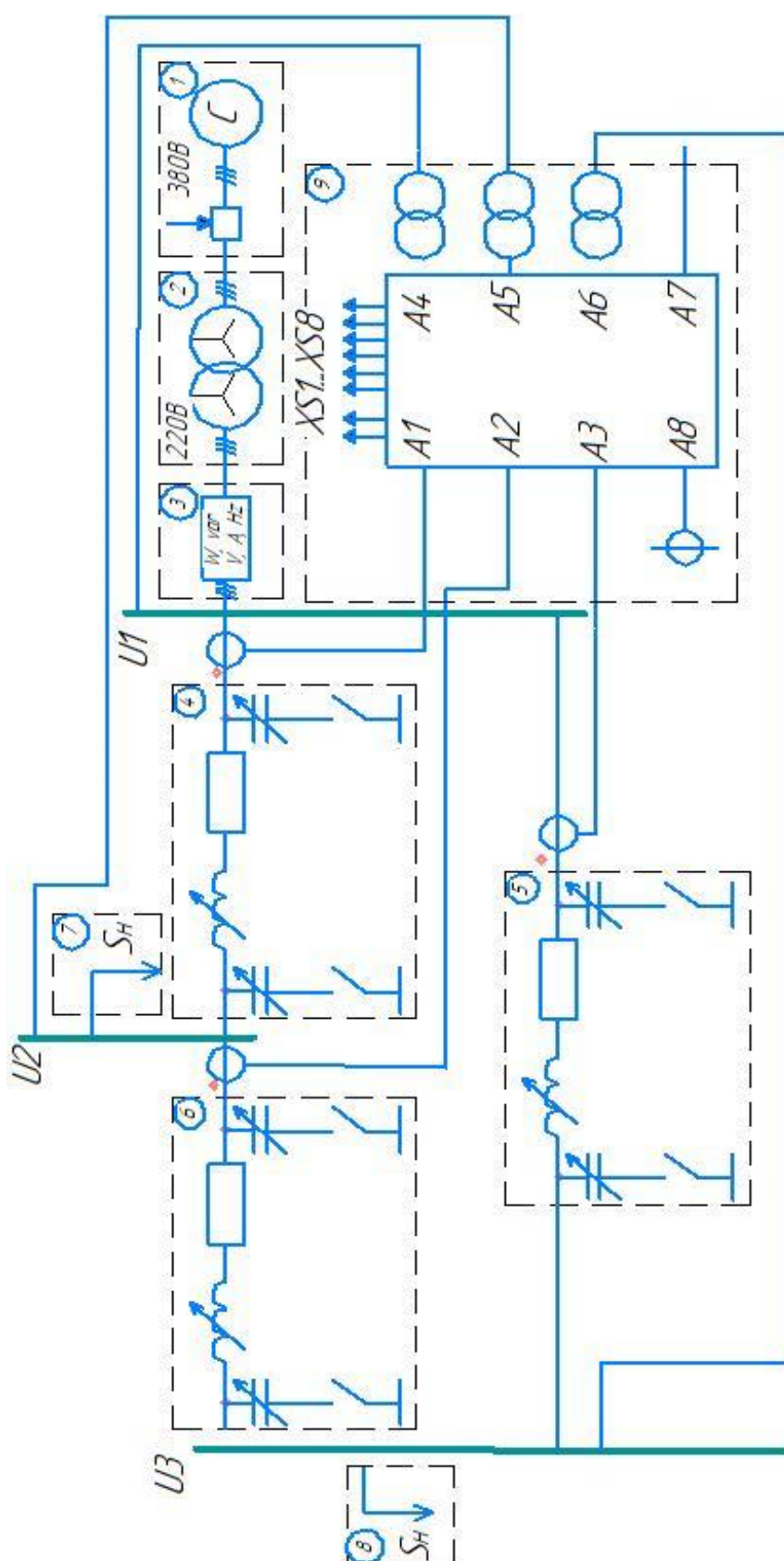


Рисунок 3.3 – Схема лабораторных испытаний №2

Таблица 3.2 – Измеренные показания схемы 3.2

Режим работы сети			U ном = 220В Акт. Нагр SA1 = Инд. нагр. SA1 = ЛЭП W2 SA1 =	U ном = 220В Акт. нагр. SA1 = Инд. нагр. SA1 = ЛЭП W2 SA1 =	U ном = 127В Акт. нагр. SA1 = Инд. нагр. SA1 = ЛЭП W2 SA1 =	U ном = 220В Акт. нагр. SA1 = Инд. нагр. SA1 = ЛЭП W2 SA1 =
ЛЭП W1	Начало	P1, Вт				
		Q1, Вар				
	Конец	P1к, Вт				
		Потери	ΔP1, Вт			
ЛЭП W2	Начало	P2, Вт				
		Q2, Вар				
	Конец	P2к, Вт				
		Потери	ΔP2, Вт			
ЛЭП W3	Начало	P3, Вт				
		Q3, Вар				
	Конец	P3к, Вт				
		Потери	ΔP3, Вт			
		U1,В				
		U2,В				
		U3,В				

Содержание отчета

- 1) Цель работы.
- 2) Схема электрической сети с двухсторонним питанием.
- 3) Результаты экспериментальных исследований режимов работы электрической сети.
- 4) Дать развернутые ответы на 1 и 2 вопросы.
- 5) Рассчитать потери активной мощности.
- 6) Сделать выводы.
- 7) Ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы:

1. Как влияют величины сопротивлений линий электропередач (их длина) на напряжения в узлах электрической сети, Понятие перетоки активных и реактивных мощностей по линиям электропередач.
2. От чего зависит направление перетоков мощности в кольцевой электрической сети.
3. Причины возникновения потерь реактивной мощности и какие мероприятия влияют, на снижение их величины?
4. Что такое волновая длина линии?
5. Как влияет величина индуктивного сопротивления на пропускную способность передачи?
6. Какие способы применяются для уменьшения индуктивного сопротивления линии?
7. Каковы причины внутренних перенапряжений в линиях сверхвысокого напряжения?
8. Как снижаются внутренние перенапряжения в передачах сверхвысокого напряжения?

Лабораторная работа №3

Исследование потерь электрической энергии в распределительных электрических сетях

Цель работы:

- определить факторы, влияющие на величину потерь активной и реактивной мощности в распределительной электрической сети;

Порядок выполнения работы:

1 изучить зависимость потерь мощности от величины нагрузки и ее характера;

2 изучить влияние номинального напряжения распределительной электрической сети на величину потерь активной и реактивной мощности;

3 сопоставить данные расчетных и экспериментальных значений.

Общие сведения

Для объективного технически и экономически обоснованного выбора мероприятий по снижению потерь электрической энергии, а также для определения объемов финансирования сроков реализации должны разрабатываться и утверждаться схемы развития электрических сетей на расчетный период.

При разработке схем развития рассматриваются следующие вопросы и принимаются по ним решения.

Оптимизация схемных режимов.

Проводится анализ существующих схем в части построения городских электрических сетей: двухлучевая; петлевая; смешанная с выполнением электрических расчетов и с оценкой двух режимов электрических сетей - для условий годового максимума и минимума нагрузок с учетом определившихся за период эксплуатации точек токораздела в нормальном и в послеаварийном режимах. Рассчитываются потери электроэнергии в элементах электрической сети, в линиях

электропередачи, в трансформаторах. Определяется баланс активной и реактивной мощностей в узлах распределения потоков. Дается оценка эффективности работы электрической сети по потерям электроэнергии, ее качеству у потребителя, загрузке электрической сети реактивной мощностью и ее дефициту, надежности электроснабжения.

С учетом данных о росте нагрузок, существующих потребителей на расчетный период, данных о новых заявленных потребителях, планов городской застройки и перспективного развития формируется, дорабатывается схема развития на расчетный период, а также ее принципы построения, уточняются точки токоразделов. Вновь выполняются электрические расчеты с оценкой двух режимов электрической сети - для условий годового максимума и минимума нагрузки с составлением нового баланса активной и реактивной мощностей в нормальном и послеаварийном режимах. По результатам электрических расчетов и данных полученных техническим аудитом, характеризующих физическое состояние электротехнического оборудования электрических сетей, определяются объемы работ по его замене, по реконструкции и развитию электрических распределительных сетей, необходимых для приведения их к состоянию, при котором обеспечиваются оптимальные электрические потери, а также адаптация электрических сетей к растущим электрическим нагрузкам.

Перевод электрической сети (участков сети) на более высокий класс напряжения

С появлением в жилищном секторе современных многоэтажных зданий, удельное потребление на квартиру в которых превышает 20кВт, необходимо рассматривать вопрос электроснабжения этих зданий по схеме глубокого ввода, сводя тем самым к минимуму появление новых кабельных линий напряжением 0,38 кВ.

При выполнении электрических расчетов с учетом роста нагрузок необходимо рассматривать возможность перевода участков электрической сети на более высокий класс напряжения. Особенно это касается зон комплексной массовой застройки. Перевод электрической сети на более высокий класс напряжения должен рассматриваться одновременно с режимами работы нейтрали (глухозаземленная или эффективно заземленная через резистор), с такими режимами работы нейтрали имеют меньшие потери электроэнергии за счет отсутствия дополнительного оборудования, необходимого для компенсации больших емкостных токов.

Компенсация реактивной мощности.

При разработке схем развития электрических сетей на стадии определения баланса активной и реактивной мощностей в узлах распределения потоков на расчетный период определяется дефицит реактивной мощности. На основании расчетных данных в схеме решаются вопросы необходимого количества устройств компенсации реактивной мощности, а также места их размещения. Приоритетным является размещение компенсирующих устройств непосредственно у потребителя, так как это коренным образом влияет на потери электроэнергии в электрической сети и на ее качество у потребителя. Батарея статистических конденсаторов в данном варианте установки является одновременно и элементом регулирования напряжения.

Регулирование напряжения в линиях электропередачи.

Регулирование напряжения на центрах питания должно осуществляться по принципу встречного регулирования. На протяженных фидерах - в целях снижения потерь электроэнергии и обеспечения надлежащего уровня напряжения, в качестве регуляторов напряжения необходимо устанавливать конденсаторные батареи с автоматическим регулированием или вольтодобавочные трансформаторы, также с автоматическим регулированием напряжения.

Внедрение автоматизации и дистанционного управления электрическими распределительными сетями напряжением 6-20 кВ.

Обеспечивает своевременное выявление неблагоприятных режимов работы сети и оперативное устранение этих режимов в неблагоприятных ситуациях графиков нагрузок, позволяет избегать аварийных ситуаций массового отключения потребителей. Недопущение развития неблагоприятных режимов в электрических сетях в значительной мере влияет и на потери электроэнергии в сетях.

Коммутационные аппараты выключатели, выключатели нагрузки должны применяться на базе вакуумных выключателей с программируемым микропроцессорным управлением, обеспечивающим функции АПВ, АВР, фиксацию изменения потоков мощности.

Необходимость вышеперечисленных мероприятий должна учитываться при согласовании властями муниципального образования производственных и инвестиционных программ электросетевых организаций.

Потери активной мощности на участке электрической сети, выполненной проводами одинакового сечения, определяются по формуле

$$\Delta P = \alpha_3 N_r = \alpha_3 (N_a + N_r) r, \text{ кВт} \quad (11)$$

Потери реактивной мощности на участке электрической сети при одинаковом индуктивном сопротивлении линии определяются из формулы

$$\Delta Q = \alpha_3 N_x = \alpha_3 (N_a + N_r) x, \text{ квар} \quad (12)$$

где N_a — сумма произведений квадратов активных нагрузок на длины участков электрической сети с этими нагрузками; N_r — сумма произведений квадратов реактивных нагрузок на длины участков электрической сети с этими нагрузками; N -сумма произведений квадратов полных нагрузок на длины участков электрической сети с этими нагрузками; r и x — активное и индуктивное сопротивления линии, ом/км;

α_3 — коэффициент, зависящий от системы тока и принятых единиц измерения.

Таблица 3.4 - Значения и единицы измерения величин, входящих в формулы

Система тока	Сумма произведений квадратов нагрузок на длины участков линии						α_3	Единица измерения
	Na	Единица измерения	Nr	Единица измерения	N	Единица измерения		
Трехфазный переменный	$\sum I_a^2 l$	$a^2 \cdot \text{км}$	$\sum I_r^2 l$	$a^2 \cdot \text{км}$	$\sum I^2 l$	$a^2 \cdot \text{км}$	$3 \cdot 10^{-3}$	-
	$\sum P^2 l$	$\text{квт}^2 \cdot \text{км}$	$\sum Q^2 l$	$\text{квар}^2 \cdot \text{км}$	$\sum S^2 l$	$\text{кв}a^2 \cdot \text{км}$	$\frac{10^{-3}}{U_n^2}$	кв^{-2}
	$\sum P^2 l$	$\text{Мвт}^2 \cdot \text{км}$	$\sum Q^2 l$	$\text{Мвар}^2 \cdot \text{км}$	$\sum S^2 l$	$\text{Мва}^2 \cdot \text{км}$	$\frac{10^3}{U_n^2}$	кв^{-2}
Однофазный переменный	$\sum I_a^2 l$	$a^2 \cdot \text{км}$	$\sum I_r^2 l$	$a^2 \cdot \text{км}$	$\sum I^2 l$	$a^2 \cdot \text{км}$	$2 \cdot 10^{-3}$	-
	$\sum P^2 l$	$\text{квт}^2 \cdot \text{км}$	$\sum Q^2 l$	$\text{квар}^2 \cdot \text{км}$	$\sum S^2 l$	$\text{кв}a^2 \cdot \text{км}$	$\frac{2 \cdot 10^{-3}}{U_n^2}$	кв^{-2}
Постоянный	$\sum I^2 l$	$a^2 \cdot \text{км}$	0	-	-	-	$2 \cdot 10^{-3}$	-
	$\sum P^2 l$	$\text{квт}^2 \cdot \text{км}$	0	-	-	-	$\frac{2 \cdot 10^{-3}}{U_n^2}$	кв^{-2}

Порядок проведения испытаний:

1) Собрать схему лабораторных испытаний рис. 3.4. (ВСЕ модули стенда должны быть ОТКЛЮЧЕНЫ!). Схема представляет собой электрическую сеть с радиальным питанием. Источник питания 1, представляющий собой электрическую сеть бесконечной мощности, через понижающий трансформатор 2 и модуль измерителя мощности 3, питает линию электропередачи 4, работающую на активно-индуктивную нагрузку

5. В качестве нагрузки используются два модуля: модуль активной и модуль индуктивной нагрузки. Каждый из модулей представляет собой 3 независимых сопротивления. Активные и индуктивные элементы модулей соединяются последовательно, а получившиеся активно-индуктивные элементы соединяются в звезду без нулевого провода. Для измерений режимных параметров линии электропередачи используются датчики токов и напряжений. При этом, датчики токов включаются последовательно в измеряемую цепь фазы А, а датчики напряжения - на напряжение фазы А (измерения производятся относительно нейтрали силового трансформатора). Мощность со стороны первичной обмотки трансформатора измеряется с помощью универсального измерителя мощности 3.

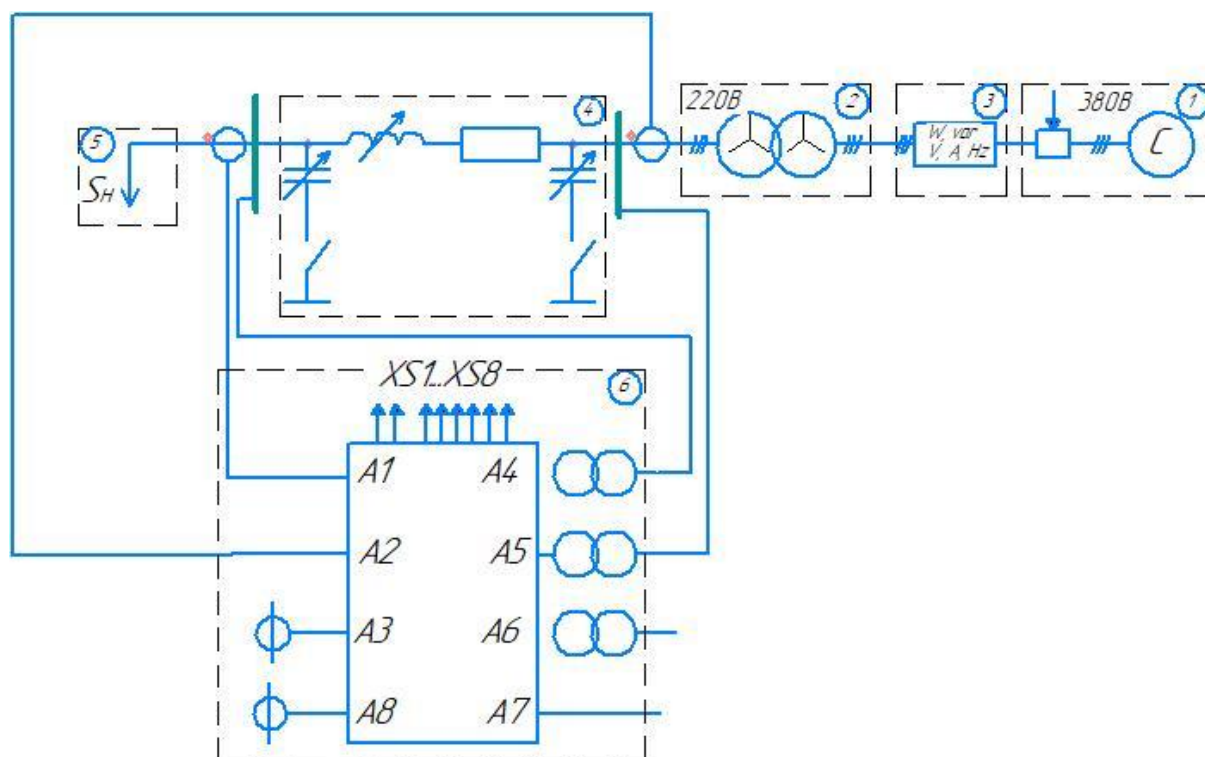


Рисунок 3.4 – Схема лабораторных испытаний №3

2) Установить параметры линии электропередач: а) максимальное значение продольной составляющей (переключатель SA1 в положение 3); б) отключить поперечную составляющую (переключатель SA2, SA3 в положение 1). Установить параметры активной и индуктивной нагрузки:

переключатель SA1 в максимально возможное положение. Нейтраль трансформатора оставить не заземленной (режим работы с изолированной нейтралью).

3) На персональном компьютере запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск - Программы - Лабораторный комплекс - DeltaProfi). Открыть лабораторную работу командой «Работы — Передача и качество ЭЭ - Работа №3 Потери электрической энергии в электрических распределительных сетях».

4) Включить питание стенда.

5) Включить выключатель модуля трехфазной электрической сети (кнопка SB1 на лицевой панели модуля трехфазной электрической сети).

6) Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление - Пуск» или горячей клавишей F5.

7) В таблицу 3.5 записать показания измерительных приборов на мнемосхеме ПК.

8) Нажать кнопку «Откл» модуля трехфазной электрической сети. Отключить питание стенда.

9) По полученным результатам рассчитать величину потерь активной и реактивной мощности в линии электропередачи. Результаты расчета занести в таблицу 3.5.

10) Повторить испытания при двух других значениях нагрузки (минимальное и среднее значение). В таблицу 3.5 записать показания измерительных приборов на мнемосхеме ПК.

11) По полученным результатам рассчитать величины потерь активной и реактивной мощности в линии электропередачи. Результаты расчета занести в таблицу 3.5. Построить график зависимости потерь от величины нагрузки и объяснить полученную зависимость.

12) Перевести электропередачу на пониженное напряжение (127В вместо 220В). Для этого, переключиться на отпайки силового трансформатора с меньшим напряжением на вторичной обмотке.

13) Установить параметры активной и индуктивной нагрузки: переключатель NA1 в максимально возможное положение.

14) Включить питание стенда и нажать кнопку «Вкл» модуля трехфазной сети.

15) В таблицу 3.5 записать показания измерительных приборов на мнемосхеме ПК.

16) Нажать кнопку «Откл» модуля трехфазной электрической сети.

17) Отключить питание стенда.

18) По полученным результатам рассчитать величину потерь активной и реактивной мощности в линии электропередачи. Результаты расчета занести в таблицу 3.5.

19) Сравнить полученные значения потерь с потерями при работе линии электропередачи на более высоком напряжении и сделать соответствующие выводы.

20) Восстановить напряжение электропередачи 220В.

21) Установить переключатель величины активной нагрузки в среднее положение.

22) Не изменяя величины активной нагрузки, провести испытания при двух различных значениях индуктивной нагрузки. В таблицу 3.4 записать показания измерительных приборов на мнемосхеме ПК.

23) Рассчитать потери мощности в линии электропередачи, а также, соответствующие им значения $\cos\phi$. Сделать выводы о влиянии характера нагрузки на потери мощности в сети.

24) Установить параметры активной и индуктивной нагрузки: переключателе SA1 в максимально возможное положение.

25) Не изменяя величины активной и индуктивной нагрузки, провести испытания при двух различных значениях длины линии электропередачи (переключатель SA1 модуля линии электропередачи). В таблицу 3.5 записать показания измерительных приборов на мнемосхеме ПК.

26) Остановить программу кнопкой «Стоп», командой главного меню «Управление - Стоп» или горячей клавишей F6. Нажать кнопку «Откл» модуля трехфазной сети. Отключить питание стенда.

27) Рассчитать потери мощности в линии электропередачи, а также, соответствующие им значения $\cos\varphi$. Сделать выводы о влиянии длины линии электропередачи на потери мощности в электрической сети.

28) Оформить отчет по лабораторной работе.

Таблица 3.5 – Результаты измеренных и расчетных данных

		Режим 1	Режим 2	Режим 3	Режим 4	Режим 5	Режим 6	Режим 7	Режим 8
		U ном = 220В Акт. нагр. SA1 = Инд. нагр. SA1 = ЛЭП SA1 =3	U ном = 220В Акт. нагр. SA1 = Инд. нагр. SA1 = ЛЭП W2 SA1 = 3	U ном = 220В Акт. нагр. SA1 = Инд. нагр. SA1 = ЛЭП W2 SA1 = 3	U ном = 127В Акт. нагр. SA1 = Инд. нагр. SA1 = ЛЭП W2 SA1 =3	U пом = 220В Акт. нагр. SA1 = Инд. нагр. SA1 = ЛЭП SA1 = 3	U ном = 220В Акт. нагр. SA1 = Инд. нагр. SA1 = ЛЭП W2 SA1 = 3	U ном = 220В Акт. нагр. SA1 = Инд. нагр. SA1 = ЛЭП W2 SA1 = 1	U ном = 127В Акт. нагр. SA1 = Инд. нагр. SA1 = ЛЭП W2 SA1 =2
Измеренные параметры	P1, Вт								
	Q1, Вар								
	U1, В								
	P2, Вт								
	Q2, Вар								
Расчетные параметры	U2, В								
	ΔP, Вт								
	ΔQ, Вар								
	ΔU, В								
	COS φнагр.								

Содержание отчета

1) Цель работы.

2) Лабораторная схема электрической сети с радиальным питанием.

3) Рассчитать величины потерь активной и реактивной мощности в линии электропередачи 220 В. Результаты расчета занести в таблицу 3.5. Построить график зависимости потерь от величины нагрузки и объяснить полученную зависимость.

4) Рассчитать величину потерь активной и реактивной мощности в линии электропередачи 127 В. Результаты расчета занести в таблицу 3.5.

5) Рассчитать потери мощности в линии электропередачи 220 В, а также, соответствующие им значения $\cos\phi$. Сделать выводы о влиянии характера нагрузки на потери мощности в электрической сети.

6) Рассчитать потери мощности в линии электропередачи, а также, соответствующие им значения $\cos\phi$, при максимальных параметрах активной и индуктивной нагрузки. Сделать выводы о влиянии длины линии электропередачи на потери мощности в электрической сети

7) Сделать общие выводы.

7) Ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы:

1. Дать определению - Электрическая нагрузка?
2. Каковы причины изменчивости параметров режимов работы систем электроснабжения во времени?
3. Как представляется суточный график электрической нагрузки, его числовые характеристики?
4. Потери в трансформаторах и от чего они зависят?
5. Как рассчитываются сопротивления элементов систем электроснабжения?
6. Как определяются потери электроэнергии в электрических сетях?

Лабораторная работа №4

Регулирование напряжения путем поперечной компенсации реактивной мощности с помощью конденсаторной батареи

Цель работы:

- изучить влияние поперечной емкостной компенсации на величину напряжений в узлах электрической распределительной сети.

Порядок выполнения работы:

- 1 изучить методы регулирования напряжения;
- 2 изучить способы снижения потребляемой из электрической сети реактивной мощности;
- 3 сопоставить результаты экспериментальных значений.

Общие сведения

Реактивная мощность ухудшает показатели работы энергосистемы, увеличивает потери в подводящих электрических сетях и приемниках, увеличивает падение напряжения в электрических сетях. Основные потребители реактивной мощности - асинхронные электродвигатели, которые потребляют 40 % всей мощности совместно с бытовыми и собственными нуждами; электрические печи 8 %; преобразователи 10 %; трансформаторы всех ступеней трансформации 35 %; линии электропередач 7 %. В электрических машинах переменный магнитный поток связан с обмотками. Вследствие этого в обмотках при протекании переменного тока индуктируются реактивные э.д.с. обуславливающие сдвиг по фазе между напряжением и током. Этот сдвиг по фазе обычно увеличивается, а $\cos \varphi$ уменьшается при малой нагрузке. Например, если $\cos \varphi$ двигателей переменного тока при полной нагрузке составляет 0,75-0,80, то при малой нагрузке он уменьшится до 0,20-0,40. Малонагруженные трансформаторы также имеют низкий коэффициент мощности. Наиболее действенным и эффективным способом снижения потребляемой из

электрической сети реактивной мощности является применение установок компенсации реактивной мощности (конденсаторных установок).

Использование конденсаторных установок для компенсации реактивной мощности позволяет:

1. разгрузить питающие линии электропередачи, трансформаторы и распределительные устройства;
2. снизить расходы на оплату электроэнергии
3. при использовании определенного типа установок снизить уровень высших гармоник;
4. подавить сетевые помехи, снизить несимметрию фаз;
5. сделать электрические распределительные сети более надежными и экономичными.

Порядок проведения исследования:

1) Собрать схему лабораторных испытаний рис. 3.5. (ВСЕ модули стенда должны быть ОТКЛЮЧЕНЫ!). Схема представляет собой линию электропередачи с радиальным питанием. Источник питания (модуль трехфазной электрической сети) 1, представляющий собой электрическую сеть бесконечной мощности, через понижающий трансформатор 2 питает линию электропередачи 3, работающую в режиме холостого хода (без нагрузки). Измеритель мощности 4 предназначен для измерения линейного напряжения на шинах потребителя.

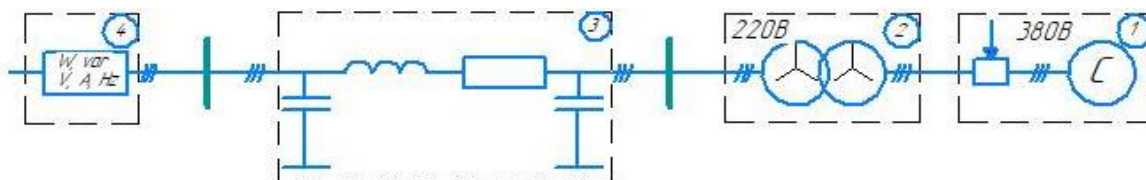


Рисунок 3.5 – Схема лабораторных испытаний линия электропередачи с радиальным питанием

2) Установить параметры линии электропередачи: а) минимальное значение продольной составляющей (переключатель SA1 в положение 1); б) отключить поперечную составляющую (переключатели SA2, SA3 в положение 1). Нейтраль трансформатора оставить не заземленной (режим работы с изолированной нейтралью).

3) Включить питание стенда и нажать кнопку «Вкл» модуля трехфазной электрической сети.

4) Перевести модуль измерителя мощности в режим измерения линейных напряжений. Записать величину напряжения электропередачи при работе в режиме холостого хода.

5) Нажать кнопку «Откл» модуля трехфазной электрической сети.

6) Отключить питание стенда.

7) Собрать схему лабораторных испытаний рис. 3.6. (ВСЕ модули стенда должны быть ОТКЛЮЧЕНЫ!), представляющую собой линию электропередачи, работающую на индуктивную нагрузку 5.

8) Установить переключатель SA1 величины индуктивной нагрузки в положение 3.

9) Включить питание стенда и нажать кнопку «Вкл» модуля трехфазной электрической сети.

10) Перевести модуль измерителя мощности в режим измерения линейных напряжений. Записать величину напряжения электропередачи в режиме работы на индуктивную нагрузку.

11) Нажать кнопку «Откл» модуля трехфазной электрической сети.

12) Отключить питание стенда.

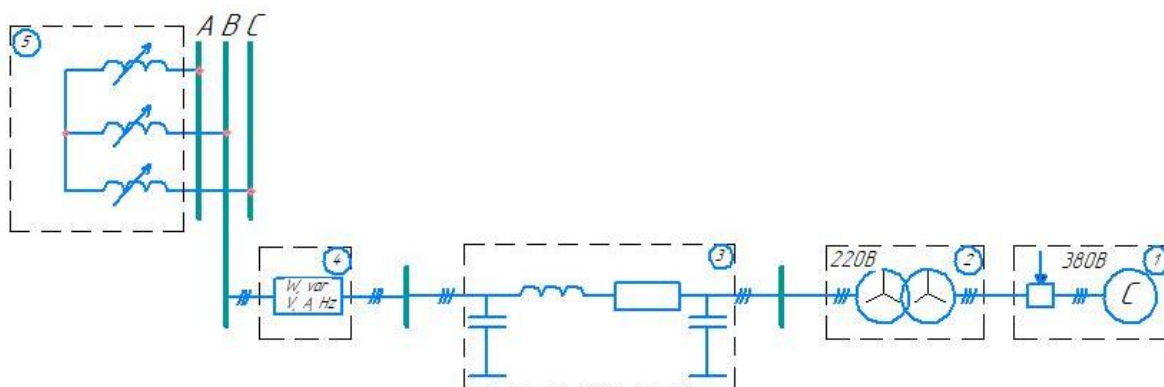


Рисунок 3.6 – Линия электропередачи, работающая на индуктивную нагрузку

13) Собрать схему лабораторных испытаний рис. 3.7. (ВСЕ модули стенда должны быть ОТКЛЮЧЕНЫ!), представляющую собой линию электропередачи с устройством поперечной емкостной компенсации 6, работающую на индуктивную нагрузку 5. В качестве устройства поперечной емкостной компенсации (конденсаторной батареи) использовать модуль емкостной нагрузки. Переключатель величины емкости конденсаторной батареи SA1 установить в положение 5.

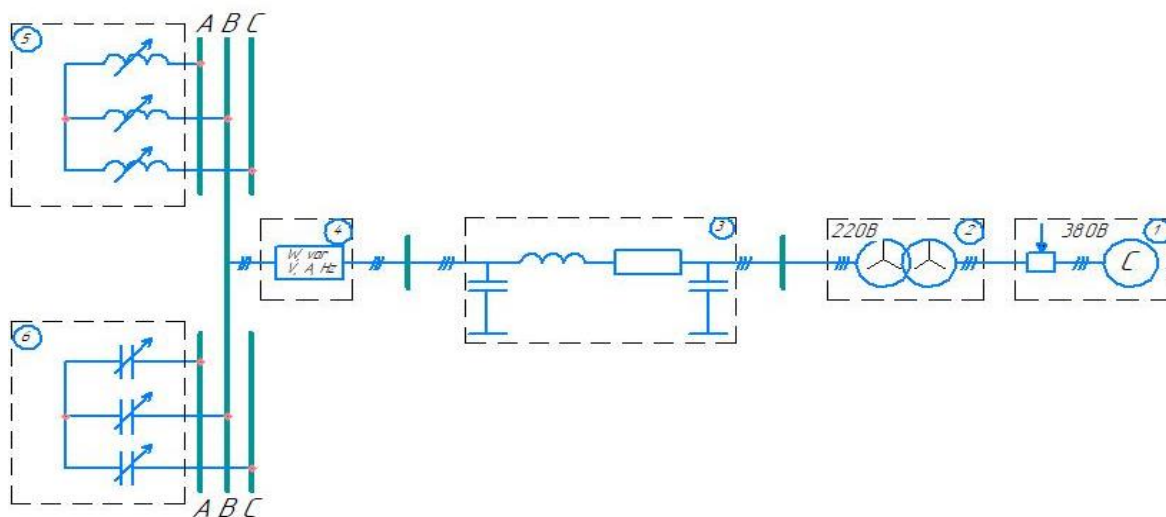


Рисунок 3.7 – Линия электропередачи с устройством поперечной емкостной компенсации, работающая на индуктивную нагрузку.

14) Включить питание стенда и нажать кнопку «Вкл» модуля трехфазной электрической сети.

15) Перевести модуль измерителя мощности в режим измерения линейных напряжений. Записать величину напряжения электропередачи с устройством, поперечной емкостной компенсации в режиме работы на индуктивную нагрузку.

16) Нажать кнопку «Откл» модуля трехфазной электрической сети.

17) Отключить питание стенда.

18) Оформить отчет по лабораторной работе.

Таблица 3.6 – Результаты измеренных показаний

Режим работы ЛЭП	Номинальное напряжение сети, В	Напряжение электропередачи, В	Отклонение напряжения, %
Холостой ход U_{ab} U_{bc} U_{ca}			
Индуктивная нагрузка U_{aB} U_{bc} U_{ca}			
Поперечная емкостная компенсация, индуктивная нагрузка U_{aB} U_{bc} U_{ca}			

Содержание отчета

1) Цель работы.

2) Записать схемы лабораторных испытаний:

а) Линия электропередачи с радиальным питанием;

- б) Линия электропередачи, работающая на индуктивную нагрузку
- в) Линия электропередачи с устройством поперечной емкостной компенсации, работающая на индуктивную нагрузку
- 3) Заполнить таблицу 3.6 (за номинальное напряжение электропередачи принять величину напряжения в режиме холостого хода).
- 4) Сделать вывод о влиянии поперечной емкостной компенсации на величины напряжений в узлах электрической распределительной сети и параметры качества электрической энергии (величину длительного отклонения напряжения).
- 5) Ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы:

1. Поясните физический смысл реактивной мощности, её свойства и особенности по сравнению с активной.
2. Назовите основные потребители и источники реактивной мощности. Дать сравнительную характеристику источников реактивной мощности.
3. Объясните влияние реактивной мощности на режим напряжения электрической сети.
4. С какой целью устанавливают регулируемые конденсаторные установки?
5. Чем вызвана необходимость нормирования потребляемой реактивной мощности?
6. Для какого периода времени суток устанавливается норма потребления реактивной мощности и почему?
7. Нарвите преимущества и недостатки групповой и индивидуальной компенсаций реактивной мощности.
8. В каких случаях возможно использование нерегулируемых источников реактивной мощности?

9. В какие точки электрической сети следует устанавливать компенсирующие устройства в первую очередь?

10. Почему при более высоких значениях номинального напряжения сети устанавливаются менее жёсткие требования к уровню компенсации реактивной мощности?

11. Какой режим компенсации реактивной мощности потребителя считается оптимальным?

Лабораторная работа №5

Определение влияния отклонения напряжения на мощность потребляемую активной, индуктивной, ёмкостной нагрузкой

Цель работы:

- изучить влияние величины напряжения на мощность, потребляемую различными видами нагрузок.

Порядок выполнения работы:

1 изучить влияние величины напряжения на мощность, потребляемую активной нагрузкой;

2 изучить влияние величины напряжения на мощность, потребляемую индуктивной нагрузкой;

3 изучить влияние величины напряжения на мощность, потребляемую ёмкостной нагрузкой;

4 сопоставить результаты расчетных и экспериментальных значений.

Общие сведения

Влияние отклонений напряжения.

Отклонения напряжения оказывают значительное влияние на работу асинхронных двигателей (АД), являющихся наиболее распространенными приемниками электроэнергии в промышленности.

При изменении напряжения изменяется механическая характеристика АД – зависимость его вращающего момента M от скольжения S или частоты вращения (рис.3.8). С достаточной точностью можно считать, что вращающий момент двигателя пропорционален квадрату напряжения на его выводах. При снижении напряжения уменьшается вращающий момент и частота вращения ротора двигателя, так как увеличивается его скольжение.

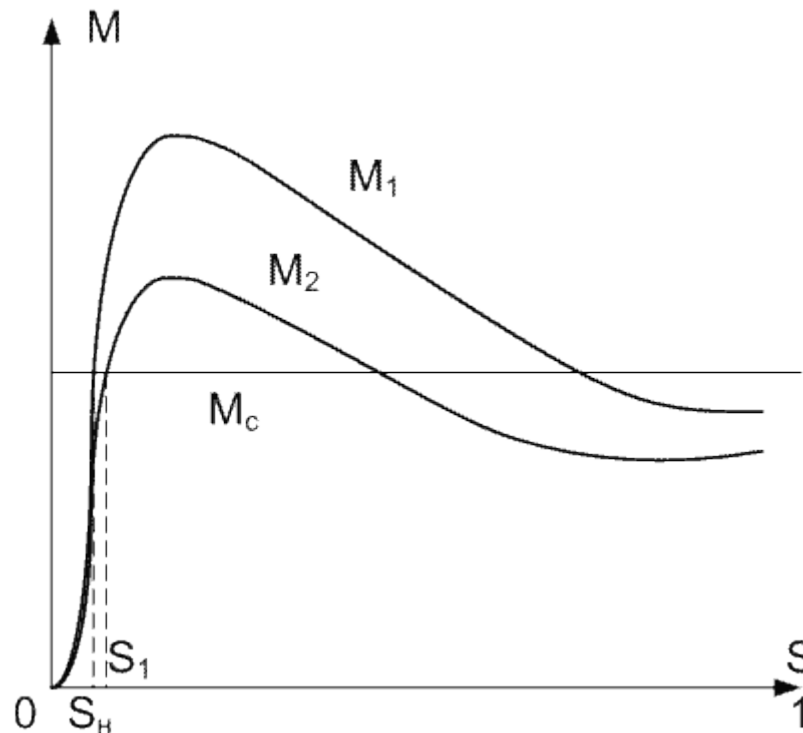


Рисунок 3.8 - Механическая характеристика двигателя при номинальном (M_1) и пониженном (M_2) напряжениях.

Снижение частоты вращения зависит также от закона изменения момента сопротивления M_c (на рис 3.8 M_c принят постоянным) и от загрузки двигателя. Зависимость частоты вращения ротора двигателя от напряжения можно выразить:

$$n = n_c \left(1 - k_3 \frac{U_{ном}^2}{U^2} S_{ном} \right) \quad (13)$$

где n_c – синхронная частота вращения; k_3 – коэффициент загрузки двигателя; $U_{ном}, S_{ном}$ – номинальные значения напряжения и скольжения соответственно.

Из формулы (13) видно, что при малых нагрузках двигателя частота вращения ротора будет больше номинальной частоты вращения (при номинальной нагрузке двигателя). В таких случаях понижения напряжения не приводят к уменьшению производительности технологического

оборудования, так как снижения частоты вращения двигателей ниже номинальной не происходит.

Для двигателей, работающих с полной нагрузкой, понижение напряжения приводит к уменьшению частоты вращения. Если производительность механизмов зависит от частоты вращения двигателя, то на выводах таких двигателей рекомендуется поддерживать напряжение не ниже номинального. При значительном снижении напряжения на выводах двигателей, работающих с полной нагрузкой, момент сопротивления механизма может превысить вращающий момент, что приводит к “опрокидыванию” двигателя, т.е. к его остановке. Во избежание повреждений двигатель необходимо отключить от электрической сети.

Снижение напряжения ухудшает и условия пуска двигателя, так как при этом уменьшается его пусковой момент.

Практический интерес представляет зависимость потребляемой двигателем активной и реактивной мощности от напряжения на его выводах.

В случае снижения напряжения на зажимах двигателя реактивная мощность намагничивания уменьшается (на 2 – 3 % при снижении напряжения на 1 %), при той же потребляемой мощности увеличивается ток двигателя, что вызывает перегрев изоляции.

Если двигатель длительно работает при пониженном напряжении, то из-за ускоренного износа изоляции срок службы двигателя уменьшается. Приближенно срок службы изоляции T можно определить по формуле:

$$T = \frac{T_{ном}}{R} \quad (14)$$

где $T_{ном}$ – срок службы изоляции двигателя при номинальном напряжении и номинальной нагрузке; R – коэффициент, зависящий от значения и знака отклонения напряжения, а также от коэффициента загрузки двигателя и равный:

$$R = (47\delta U^2 - 7.55\delta U + 1)k_3^2, \text{ при } -0,2 < \delta U_y < 0; \quad (15)$$

$$R = k_3^2 \text{ при } 0,2 \geq \delta U_y > 0; \quad (16)$$

Поэтому с точки зрения нагрева двигателя более опасны в рассматриваемых пределах отрицательные отклонения напряжения.

Снижение напряжения приводит также к заметному росту реактивной мощности, теряемой в реактивных сопротивлениях рассеяния линий, трансформаторов и АД.

Повышение напряжения на выводах двигателя приводит к увеличению потребляемой им реактивной мощности. При этом удельное потребление реактивной мощности растет с уменьшением коэффициента загрузки двигателя. В среднем на каждый процент повышения напряжения потребляемая реактивная мощность увеличивается на 3 % и более (в основном за счет увеличения тока холостого хода двигателя), что в свою очередь приводит к увеличению потерь активной мощности в элементах электрической сети.

Лампы накаливания характеризуются номинальными параметрами: потребляемой мощностью $P_{\text{ном}}$, световым потоком $F_{\text{ном}}$, световой отдачей $\eta_{\text{ном}}$ (равной отношению излучаемого лампой светового потока к ее мощности) и средним номинальным сроком службы $T_{\text{ном}}$. Эти показатели в значительной мере зависят от напряжения на выводах ламп накаливания. При отклонениях напряжения на 10% эти характеристики приближенно можно описать следующими эмпирическими формулами:

$$P_{o.в.} = \frac{P}{P_{\text{ном}}} = \left(\frac{U}{U_{\text{ном}}}\right)^{1.53} \quad (17)$$

$$F_{o.в.} = \frac{F}{F_{\text{ном}}} = \left(\frac{U}{U_{\text{ном}}}\right)^{3.67} \quad (18)$$

$$T_{o.в.} = \frac{T}{T_{\text{ном}}} = \left(\frac{U}{U_{\text{ном}}}\right)^{-14.8} \quad (19)$$

$$\eta_{o.г.} = \frac{\eta}{\eta_{ном}} = \left(\frac{U}{U_{ном}} \right)^{2.14} \quad (20)$$

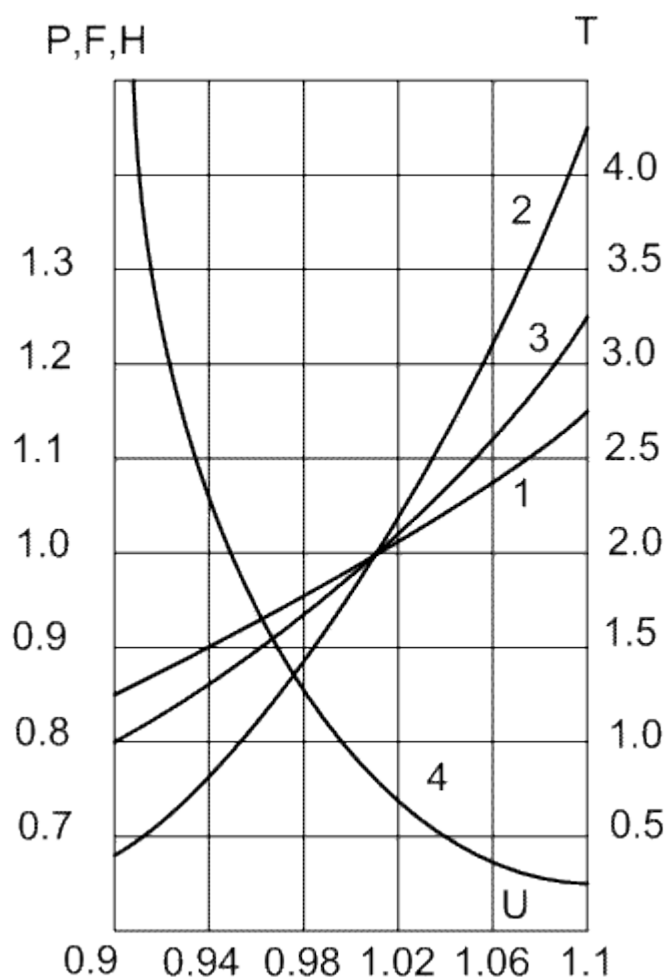


Рисунок 3.9 - Зависимости характеристик ламп накаливания от напряжения: 1 – потребляемая мощность, 2 – световой поток, 3 – световая отдача, 4 – срок службы.

Из кривых на рис.3.9. видно, что со снижением напряжения наиболее заметно падает световой поток. При повышении напряжения сверх номинального увеличивается световой поток F , мощность лампы P и световая отдача h , но резко снижается срок службы ламп T и в результате они быстро перегорают. При этом имеет место и перерасход электроэнергии.

Изменения напряжения приводят к соответствующим изменениям светового потока и освещенности, что, в конечном итоге, оказывает влияние на производительность труда и утомляемость человека.

Люминесцентные лампы менее чувствительны к отклонениям напряжения. При повышении напряжения потребляемая мощность и световой поток увеличиваются, а при снижении – уменьшаются, но не в такой степени как у ламп накаливания. При пониженном напряжении условия зажигания люминесцентных ламп ухудшаются, поэтому срок их службы, определяемый распылением оксидного покрытия электродов, сокращается как при отрицательных, так и при положительных отклонениях напряжения.

При отклонениях напряжения на 10% срок службы люминесцентных ламп в среднем снижается на 20 – 25%. Существенным недостатком люминесцентных ламп является потребление ими реактивной мощности, которая растет с увеличением подводимого к ним напряжения.

Отклонения напряжения отрицательно влияют на качество работы и срок службы бытовой электронной техники (радиоприемники, телевизоры, телефонно-телеграфная связь, компьютерная техника).

Вентильные преобразователи обычно имеют систему автоматического регулирования постоянного тока путем фазового управления. При повышении напряжения в электрической сети угол регулирования автоматически увеличивается, а при понижении напряжения уменьшается. Повышение напряжения на 1 % приводит к увеличению потребления реактивной мощности преобразователем примерно на 1-1,4%, что приводит к ухудшению коэффициента мощности. В то же время другие показатели вентильных преобразователей с повышением напряжения улучшаются, и поэтому выгодно повышать напряжение на их выводах в пределах допустимых значений.

Порядок проведения исследования:

1) Собрать схему лабораторных испытаний рис. 3.10 (ВСЕ модули стенда должны быть ОТКЛЮЧЕНЫ!). Схема представляет собой регулируемый автотрансформатор 1 подающий питание через модуль измерителя мощности 2 на активную нагрузку 3.

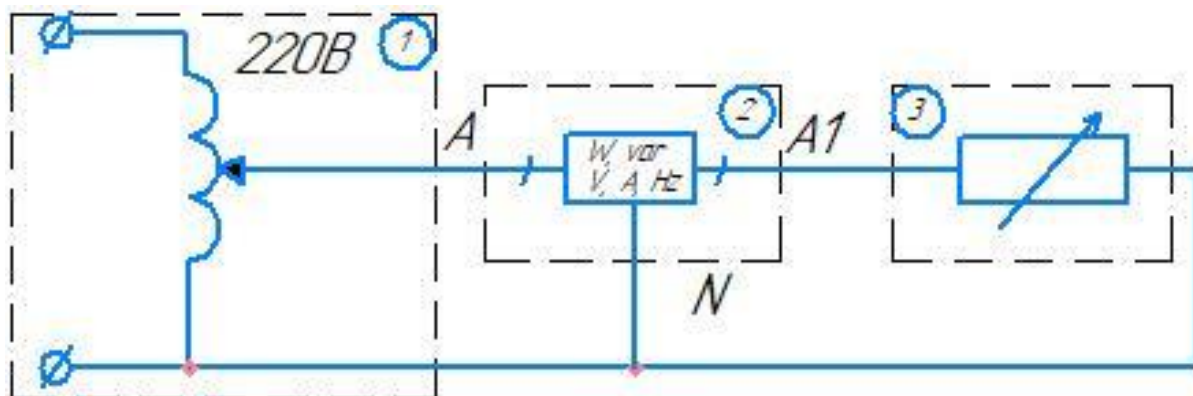


Рисунок 3.10 – Исследование характеристик активной мощности нагрузки

2) Установить переключатель SA1 модуля активной нагрузки в положение 1.

3) Включить питание стенда. Включить питание модуля автотрансформатора.

4) Перевести модуль измерителя мощности в режим измерения фазных напряжений. Регулируя коэффициент трансформации автотрансформатора 3 установить величину напряжения на нагрузке на уровне 220В.

5) Перевести модуль измерителя мощности в режим измерения активной мощности. Записать величину мощности, потребляемой активной нагрузкой.

6) В соответствии с табл. 3.7 изменять напряжение питания нагрузки. При каждом новом значении фиксировать величину потребляемой активной мощности. Результаты измерений занести в табл. 3.7.

Таблица 3.7 – Напряжение питания активной нагрузки с результатами измерений

U _{нагр} , В	220	198	176	154	132	110
U _{нагр} , %	100	90	80	70	60	50
P _{нагр} , Вт						
P _{нагр} , %	100					

7) Собрать схему лабораторных испытаний рис. 3.11 (ВСЕ модули стенда должны быть ОТКЛЮЧЕНЫ!). Схема представляет собой регулируемый автотрансформатор 1 подающий питание через модуль измерителя мощности 2 на индуктивную нагрузку 3

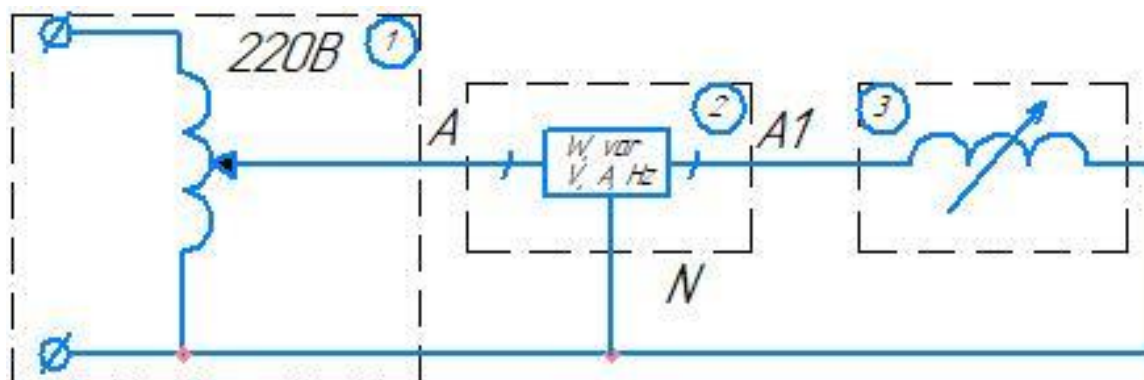


Рисунок 3.11 – Исследование характеристик мощности индуктивной нагрузки

8) Установить переключатель SA1 модуля индуктивной нагрузки в положении 3

9) Включить питание стенда. Включить питание модуля автотрансформатора.

10) Перевести модуль измерителя мощности в режим измерения фазных напряжений. Регулируя коэффициент трансформации автотрансформатора 3 установить величину напряжения на нагрузке на уровне 220В.

11) Перевести модуль измерителя мощности в режим измерения активной мощности. Записать величину активной мощности, потребляемой индуктивной нагрузкой.

12) Перевести модуль измерителя мощности в режим измерения реактивной Мощности. Записать величину реактивной мощности, потребляемой индуктивной нагрузкой.

13) В соответствии с табл. 3.8 изменять напряжение питания нагрузки. При каждом новом значении фиксировать величины потребляемой активной и реактивной мощностей. Результаты измерений занести в табл. 3.8.

Таблица 3.8 – Напряжение питания индуктивной нагрузки с результатами измерений

U _{нагр} , В	220	209	198	187	176	165	154
U _{нагр} , %	100	95	90	85	80	75	70
P _{нагр} , Вт							
Q _{нагр} , Вар							
S _{нагр} , ВА							
P _{нагр} , %	100						
Q _{нагр} , %	100						
S _{нагр} , %	100						

14) Собрать схему лабораторных испытаний рис. 3.12 (ВСЕ модули стенда должны быть ОТКЛЮЧЕНЫ!). Схема представляет собой регулируемый автотрансформатор 1 подающий питание через модуль измерителя мощности 2 на емкостную нагрузку 3.

15) Установить переключатель SA1 модуля емкостной нагрузки в положение 5.

16) Включить питание стенда. Включить питание модуля автотрансформатора.

17) Перевести модуль измерителя мощности в режим измерения фазных напряжений. Регулируя коэффициент трансформации

автотрансформатора 3 установить величину напряжения на нагрузке на уровне 220В.

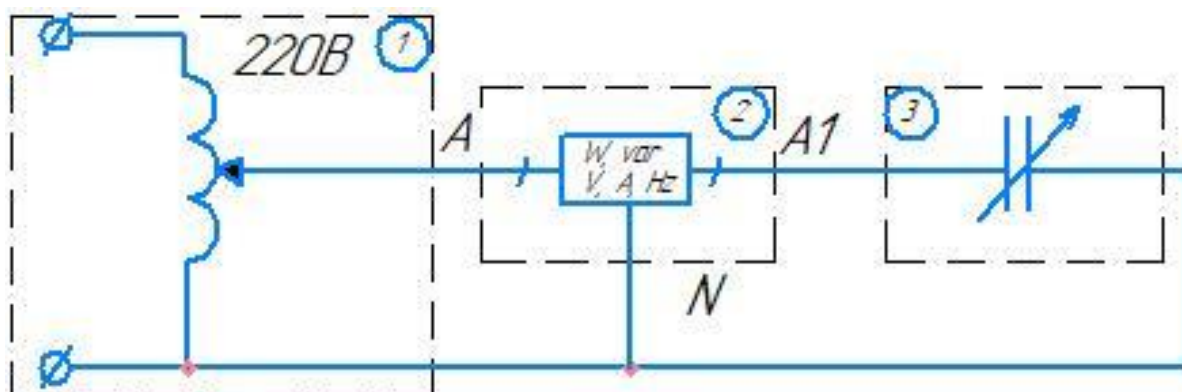


Рисунок 3.12 – Исследование характеристик мощности ёмкостной нагрузки

18) Перевести модуль измерителя мощности в режим измерения реактивной мощности. Записать величину мощности, потребляемой индуктивной нагрузкой.

19) В соответствии с табл. 3.9 изменять напряжение питания нагрузки. При каждом новом значении фиксировать величину потребляемой реактивной мощности. Результаты измерений занести в табл. 3.9.

20) Нажать кнопку «Откл» модуля трехфазной электрической сети.

21) Отключить питание стенда.

22) Оформить отчет по лабораторной работе.

Таблица 3.9 – Напряжение питания ёмкостной нагрузки с результатами измерений

U _{нагр} , В	220	209	198	187	176	165	154
U _{нагр} , %	100	95	90	85	80	75	70
Q _{нагр} , Вар							
Q _{нагр} , %	100						

Содержание отчета

- 1) Цель работы.
- 2) Схема лабораторных исследований характеристик активной мощности нагрузки.
- 3) По экспериментальным данным построить зависимость активной мощности, потребляемой нагрузкой от величины питающего напряжения, выраженных в процентах от номинального режима.
- 5) Записать схему лабораторных исследований характеристик индуктивной нагрузки
- 6) По экспериментальным данным табл. 3.8 рассчитать полную мощность, потребляемую нагрузкой при различной величине питающего напряжения, построить зависимость активной, реактивной и полных мощностей, потребляемых нагрузкой от величины питающего напряжения, выраженных в процентах от номинального режима.
- 7) По экспериментальным данным табл. 3.9 построить зависимость реактивной мощности, потребляемой нагрузкой от величины питающего напряжения, выраженных в процентах от номинального режима.
- 8) Сделать выводы о влиянии отклонения напряжения на мощность, потребляемую активной, индуктивной и емкостной нагрузкой
- 9) Ответить на контрольные вопросы

Контрольные вопросы:

1. Как определяется отклонение напряжения.
2. Основные причины возникновения отклонений напряжения.
3. Назовите допустимые значения и отклонения в соответствии с ГОСТ 32144-2013
4. Какие мероприятия выполняются для сохранения питающего напряжения на электроприемниках в пределах, заданных ГОСТ 32144-2013.

5. Как определить отклонение напряжения на электроприемниках расчетным путем
6. Что такое реактивная мощность?
7. С какой целью повышают коэффициент мощности цепи?
8. Как производится контроль за распределением реактивной нагрузки?
9. Для чего нужны компенсирующие устройства?
10. Какие существуют виды компенсаций?
11. Как производится определение реактивной мощности узла нагрузки при проектировании?
12. Что понимается под статической характеристикой нагрузки?
13. Что понимается под обобщёнными статическими характеристиками комплексной нагрузки?
14. Каковы возможные способы представления комплексной нагрузки в расчётных схемах?
15. Какие преимущества имеет представление нагрузки неизменным сопротивлением перед представлением постоянной мощностью?

Лабораторная работа №6

Измерение показателей качества электрической энергии

Цель работы:

- изучить методы измерения показателей качества электрической энергии.

Порядок выполнения работы:

1 провести измерения основных показателей качества электрической энергии;

2 сопоставить полученные результаты с требованиями государственного стандарта, влияющие на качество электрической энергии.

Общие сведения

Измерение качества электрической энергии осуществляется с помощью специальных устройств и приборов. Во время исследования фиксируются значения трансформаторов, вторичных токов и напряжения сети. Существуют различные виды анализаторов электроэнергии. В процессе проверки выявляются параметры энергосистемы, которые анализируются на соответствие ГОСТам и нормативной документацией.

ГОСТ 32144-2013 определяет ряд показателей качества электрической энергии:

- отклонения частоты;
- провалы напряжения и колебания;
- напряжение импульсивное;
- несимметричность внутри трехфазных систем;
- несинусоидальность кривой.

Отклонения от установленных значений указывает на проблемы в работе оборудования. В таких ситуациях наблюдается снижение мощности и надежности оборудования, повышение расхода энергии и нерациональности использования ресурсов.

Полученные результаты позволяют добиться соблюдения заданных в договоре поставщика параметров. Анализ обеспечивает получение данных для составления развернутого отчета о работе системы. Экспертиза выявляет перечень отклонений или их отсутствие. Полученный документ дает основания, для предъявления поставщику обоснованных претензий о несоответствии качества энергии общепринятым нормам. В результате

вторая сторона договора устранил все проблемы, и выявленные нарушения в оговоренный промежуток времени.

Измерения обеспечивают расчет коэффициента рациональности использования электричества. Благодаря этому производство выходит на технологичный уровень работы с минимальным расходом ресурсов. При необходимости, из электрической сети устраняются объекты, работающие неэффективно или во вред всей системе.

Проводить исследования стоит для реальных и запланированных систем энергоснабжения. Экспертизу приурочивают к энергетическому аудиту промышленного объекта. Итоги проверки, дают данные для повышения уровня энергетической эффективности в промышленной сфере.

Полученные значения сохраняются и используются при проведении следующего аудита. Специалисты сравнивают данные и делают соответствующие выводы о работе системы.

Классификация проверок.

В зависимости от цели контроль качества распределяется на 4 вида: оперативный; инспекционный; диагностический; коммерческий учет.

Виды анализа имеют свои особенности, характеристики и целевое назначение. Необходимость проведения той или иной инспекции определяется узкими специалистами на основе общепринятых стандартов работы электрических сетей.

Диагностический вид контроля, предназначен для решения спорных вопросов между поставщиком и потребителем. Он проводится в местах распределения электричества между двумя сторонами договора. На основе полученных данных, создается официальный отчет, позволяющий доказать невыполнение правил соглашения. После рассмотрения отчета, виновная сторона будет обязана устранить нарушения и повысить качество электроэнергии.

Инспекционный контроль проводится сертифицированными службами с целью выявления отклонений от официальных требований и нормативов. Аудит является обязательным для всех сторон договора и проводится с определенной периодичностью.

При возникновении дефектов проводится оперативный контроль. Он выявляет реальные и потенциальные угрозы понижения качества электричества в сети. В результате проверки проводятся мероприятия по устранению нарушений работы и профилактические процедуры.

Коммерческий учет, предназначен для рассмотрения ставок и тарифов поставщика. Анализ осуществляется в местах раздела электросети между двумя сторонами договора. Исследование назначается при необходимости определения уровня надбавок и скидок за предоставленное качество ресурса.

Медленные отклонения в напряжении.

Интервал изменений превышает 1 минуту. При анализе определяется промежуток времени, на протяжении которого напряжение отклонялось на 10% от номинального показателя (220 и 380 для бытовых сетей). Дискретность при этом составляет 10 минут. Замеры проводятся на протяжении недели.

Колебания в напряжении сети.

Основу оценки этого значения составляет понятие фликера. Он характеризует то, как человек воспринимает мерцания света от источника. Выделяют длительную и кратковременную фазу – 2 часа и 10 минут соответственно. Обе величины не должны превышать 1,38 и 1,0 в разрезе недельных измерений. Для расчета показателей применяются сложные формулы.

Быстрые одиночные отклонения напряжения.

Одиночные колебания – это случайные изменения. Возникновения отклонений свидетельствуют о переключении электроустановок или

незначительных нарушениях в работе электрической сети (сбои или далекие короткие замыкания в системе). Эти колебания относят к провалам перенапряжения и напряжения. В таблице определены общепринятые нормативные показатели

Несинусоидальность.

Наличие импульсивного тока в сети, приводит к ряду изменений в системе параметров. Наблюдается изменение кривой напряжения, которая раскладывается на основную и частотную. Возникновение гармоник может нарушить работы полупроводниковых приборов. Для устранения такой угрозы следует контролировать уровень этого параметра.

Коэффициент несимметрии.

Это один из основных параметров при оценке качества работы в трехфазных и двухфазных электрических сетях. Превышение коэффициента, наблюдается при неравномерном распределении нагрузки по фазам. Параметр регламентирован ГОСТом и используется при проведении любых проверок электрической сети.

Не все процессы происходят систематически. Существует ряд характеристик, которые фиксируются в случайных ситуациях. Для их возникновения требуются определенные условия и совпадения по сопутствующим изменениям.

Прерывание напряжения случается во время аварий или плановых ремонтных работ. Провалы возникают при подключении оборудования высокой мощности, или коротких замыканиях. Перенапряжения фиксируются по ряду причин:

- короткие замыкания;
- резкое снижение нагрузки;
- обрывы нейтральных проводников;
- замыкания на землю.

При воздействии молний происходят импульсивные перенапряжения.

Таблица 3.10 - Свойства электрической энергии, показатели их характеризующие и наиболее вероятные виновники ухудшения КЭ.

Свойства электрической энергии	Показатель КЭ	Наиболее вероятные виновники ухудшения КЭ
Отклонение напряжения	Установившееся отклонение напряжения $\delta U_{\text{уст}}$	Энергоснабжающая организация
Колебания напряжения	Размах изменения напряжения δU_t Доза фликера P_t	Потребитель с переменной нагрузкой
Несинусоидальность напряжения	Коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения K_U Коэффициент n - ой гармонической составляющей напряжения $K_{U(n)}$	Потребитель с нелинейной нагрузкой
Несимметрия трехфазной системы напряжений	Коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности K_{2U} Коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности K_{0U}	Потребитель с несимметричной нагрузкой
Отклонение частоты	Отклонение частоты Δf	Энергоснабжающая организация
Провал напряжения	Длительность провала напряжения Δt_n	Энергоснабжающая организация
Импульс напряжения	Импульсное напряжение $U_{\text{имп}}$	Энергоснабжающая организация
Временное перенапряжение	Коэффициент временного перенапряжения $K_{\text{пер}} U$	Энергоснабжающая организация

Порядок проведения исследований:

1) Собрать схему лабораторных испытаний рис. 3.13 (ВСЕ модули стенда должны быть ОТКЛЮЧЕНЫ!). Схема представляет собой источник питания (модуль трехфазной электрической сети) 1, который через понижающий трансформатор 2, подает фазные напряжения на входы А4, А5, А6 модуля ввода-вывода 3.

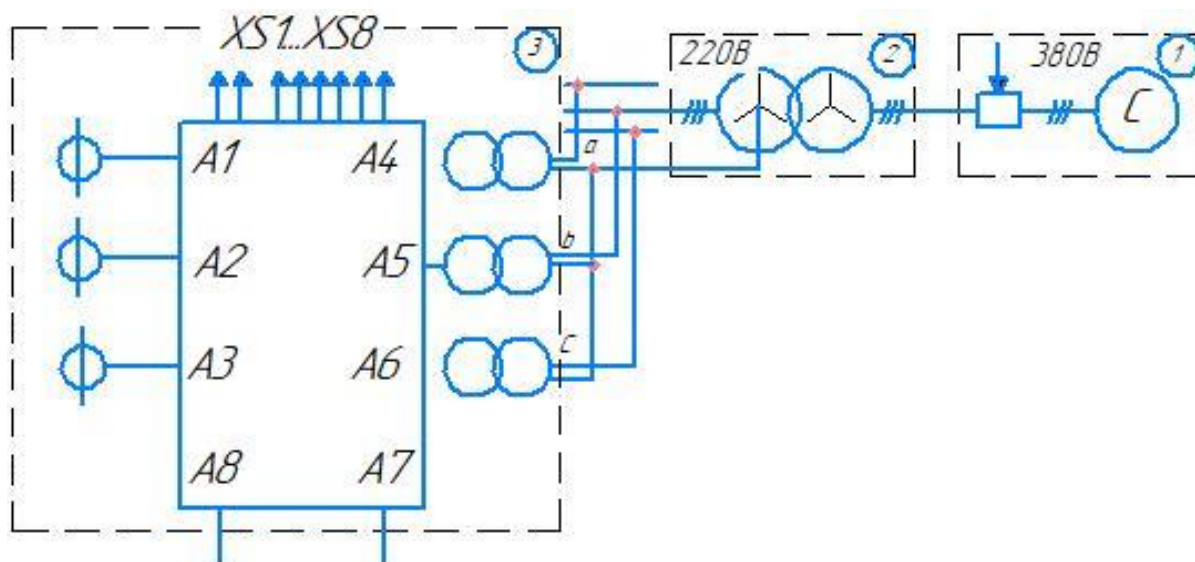


Рисунок 3.13 – Схема измерений показателей качества электрической энергии

2) Включить питание стенда и нажать кнопку «Вкл» модуля трехфазной электрической сети.

3) На персональном компьютере запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск - Программы - Лабораторный комплекс - DeltaProfi). Открыть лабораторную работу командой «Работы - Передача и качество ЭЭ - Измерение показателей качества электрической энергии».

4) Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление - Пуск» или горячей клавишей F5.

5) Провести измерения за время 5...10 мин. В табл. 3.11 записать полученные результаты, а именно, максимальные значения установившегося отклонения напряжения, размаха изменения напряжения, коэффициента искажения синусоидальности напряжения, коэффициента несимметрии напряжения по обратной последовательности, максимальное значение коэффициента несимметрии напряжения по нулевой последовательности, отклонения частоты. В таблицу 3.12 внести текущие значения относительных величин высших гармоник напряжения с

номерами от 2 до 11. Нажать кнопку «Стоп» для прекращения режима измерений.

6) Нажать кнопку «Откл» модуля трехфазной электрической сети.

7) Отключить питание стенда.

8) Оформить отчет по лабораторной работе.

Таблица 3.11 - Результаты измерений качества электроэнергии

Параметр качества электрической энергии	Измеренное значение	Допустимое значение
Установившееся отклонение напряжения, %		
Размах изменения напряжения, %		
Коэффициент искажения синусоидальности напряжения, %		
Коэффициент не симметрии напряжений по обратной последовательности, %		
Коэффициент не симметрии напряжений по нулевой последовательности, %		
Отклонение частоты, Гц		

Таблица 3.12 - Значения относительных величин высших гармоник напряжения

Параметр качества электрической энергии	Измеренное значение	Допустимое значение
Коэффициент 2 гармонической составляющей, %		
Коэффициент 3 гармонической составляющей, %		
Коэффициент 4 гармонической составляющей, %		
Коэффициент 5 гармонической составляющей, %		
Коэффициент 6 гармонической составляющей, %		
Коэффициент 7 гармонической составляющей, %		
Коэффициент 8 гармонической составляющей, %		
Коэффициент 9 гармонической составляющей, %		
Коэффициент 10 гармонической составляющей, %		
Коэффициент 11 гармонической составляющей, %		

Содержание отчета

1) Цель работы.

2) Записать схему измерений показателей качества электрической энергии.

3) В таблице 3.11 записать полученные результаты, сопоставить с требованиями государственного стандарта на качество электрической энергии.

4) В таблицу 3.12 внести текущие значения относительных величин, определить требования ГОСТ по данным параметрам качества, и сравнить полученные результаты.

5) Сделать выводы.

6) Ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы:

1. Что понимают под режимом работы системы?
2. Каковы основные параметры нормального режима?
3. Каковы задачи регулирования режимов?
4. Каковы показатели качества электрической энергии.
5. Записать и объяснить уравнения баланса мощности в системе.
6. Объяснить связь баланса активной мощности с частотой.
7. Объяснить связь баланса реактивной мощности с напряжением.
8. Каковы особенности регулирования активной нагрузки?
9. Каковы особенности регулирования реактивной нагрузки?

Лабораторная работа №7

Снижение уровня генерации высших гармоник путем замены однополупериодного выпрямителя на двухполупериодный в схеме питания нагрузки постоянным током

Цель работы:

- изучить снижение уровня генерации высших гармоник.

Порядок выполнения работы:

1 изучить влияние однополупериодного выпрямителя в схемах питания нагрузки постоянным током на показатели качества электрической энергии в точке подключения нагрузки

2 изучить влияние двухполупериодного выпрямителя в схемах питания нагрузки постоянным током на показатели качества электрической энергии в точке подключения нагрузки;

2 сопоставить влияние полученных результатов на качество электрической энергии;

Общие сведения

Выпрямители используются для питания различных электронных устройств: усилителей низкой частоты, магнитофонов, телевизоров, радиоприемных устройств, устройств промышленной электроники и т.д. При работе импульсных блоков питания в сильно перегруженной электрической сети могут возникать искажения формы синусоидального напряжения. Основными параметрами преобразовательных схем являются число возможных направлений тока и число пульсаций.

В однополупериодном выпрямителе используется полупроводниковый диод, обладающий нелинейной вольтамперной характеристикой. Под действием синусоидального напряжения источника в цепи нелинейного элемента возникает ток, приобретающий форму последовательности импульсов, т.к. ток в цепи диода существует только в

течение положительных полуволн входного напряжения (из-за односторонней проводимости диода).

Полученную последовательность импульсов тока, как и любой периодический несинусоидальный сигнал, можно представить в виде постоянной составляющей I_0 и периодических (гармонических) составляющих с частотами, кратными частоте приложенного напряжения U .

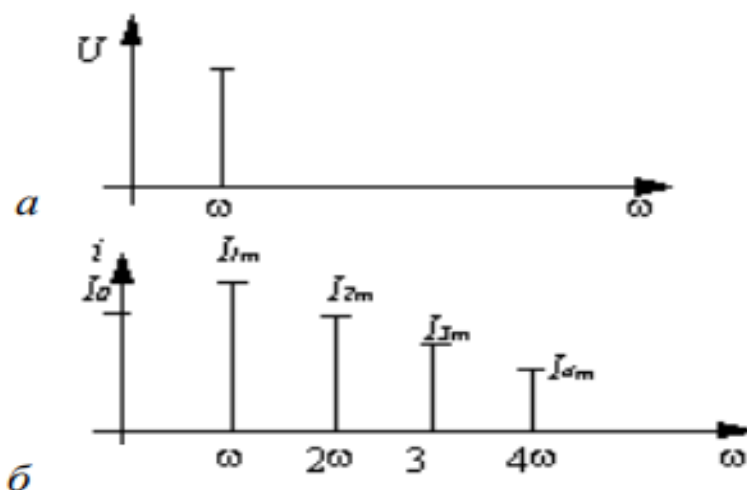
С помощью разложения периодической функции в ряд Фурье получается:

$$I = I_0 + I_{1m} \sin \omega t + I_{2m} \sin 2\omega t + I_{3m} \sin 3\omega t \dots I_{nm} \sin n\omega t,$$

где I_0 – постоянная составляющая тока; I_{1m} – амплитуда 1-й гармоники тока; I_{2m}, I_{nm} – амплитуды токов высших гармоник.

Важным параметром выпрямителя является коэффициент пульсаций K_p .

Коэффициент пульсаций у однополупериодной схемы составляет значительную величину 1,57. Выпрямленное напряжение с такими значительными пульсациями, как правило, не пригодно для практических целей. Разложение несинусоидального сигнала показано на рисунке 3.14.

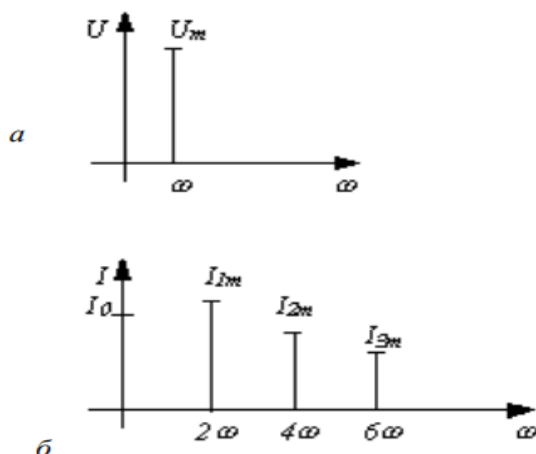


а – спектр напряжения; б – спектр тока

Рисунок 3.14 – Частотные спектры однополупериодного выпрямителя

Для уменьшения коэффициента пульсации используют двухполупериодные схемы выпрямителей (рисунок 3.15).

Одной из разновидностей двухполупериодной схемы является мостовая схема. Коэффициент пульсаций в двухполупериодной схеме значительно меньше, чем в однополупериодной ($K_p = 0,67$).



а – спектр напряжения; б – спектр тока

Рисунок 3.15 – Частотные спектры двухполупериодного выпрямителя

Искажения формы синусоиды, связанные с работой нелинейных электроприемников, приводят к дополнительным потерям мощности из-за нагрева проводников в сети.

Порядок проведения исследования:

1) Собрать схему лабораторных испытаний рис. 3.16 (ВСЕ модули стенда должны быть ОТКЛЮЧЕНЫ!). Схема представляет собой линию электропередачи с радиальным питанием. Источник питания (модуль трехфазной электрической сети) 1, представляющий собой электрическую сеть бесконечной мощности, через понижающий трансформатор 2, питает линию электропередачи 3, работающую на выпрямительную нагрузку 4, обеспечивающую питание потребителя 5 постоянным током. В качестве потребителя 5 используется одна из фаз модуля активной нагрузки, переключатель величины активной нагрузки SA1 установить в положение

1. Модуль выпрямительной нагрузки включен на линейное напряжение АВ, при этом, в первом опыте используется однополупериодный выпрямитель.

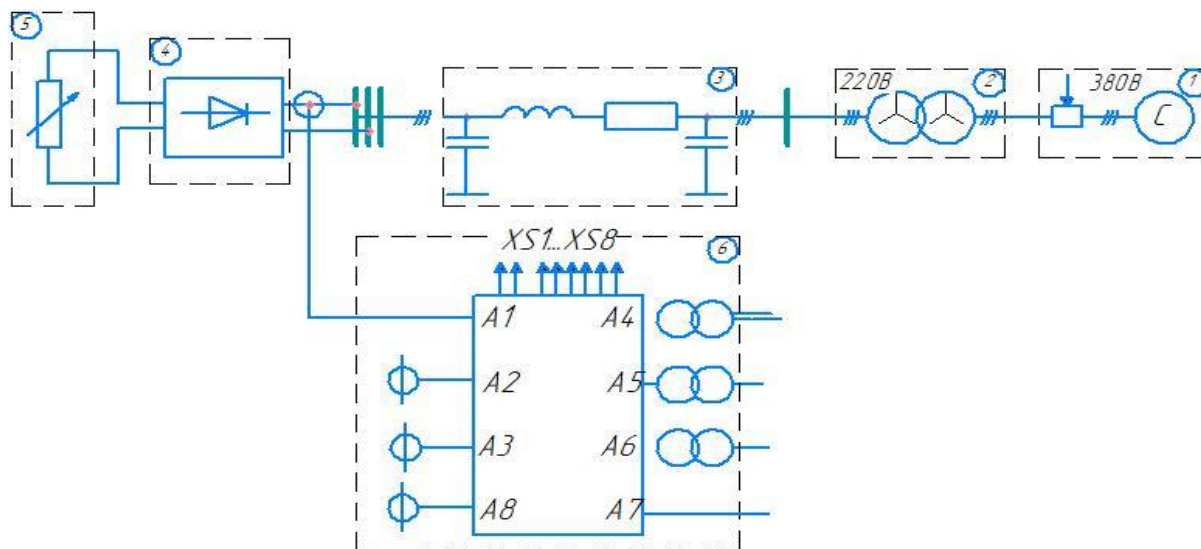


Рисунок 3.16 – Схема питания потребителей постоянным током

2) Установить параметры линии электропередачи: а) максимальное значение продольной составляющей (переключатель SA1 в положение 3); б) минимальное значение поперечной составляющей (переключатели SA2, SA3 в положение 1). Нейтраль трансформатора оставить не заземленной (режим работы с изолированной нейтралью).

3) Включить питание стенда и нажать кнопку «Вкл» модуля трехфазной электрической сети.

4) На персональном компьютере запустить программный комплекс «DeltaProfi» (Пуск - Программы - Лабораторный комплекс - DeltaProfi). Открыть лабораторную работу командой «Работы — Передача и качество ЭЭ - Измерение показателей качества электрической энергии».

5) Запустить программу в работу кнопкой «Пуск» или командой главного меню «Управление - Пуск» или горячей клавишей F5.

6) Записать максимальное значение коэффициента искажения синусоидальности напряжения в точке подключения потребителя к электрической сети. Записать относительные величины высших гармоник

напряжения с 2 по 11. Полученные результаты занести в таблицу 3.13. Нажать кнопку «Стоп» для прекращения режима измерений.

7) Нажать кнопку «Откл» модуля трехфазной сети.

8) Отключить питание стенда.

9) Заменить тип выпрямителя на двухполупериодный в модуле выпрямительной нагрузки 4 схемы лабораторных испытаний рис. 3.17 (ВСЕ модули стенда должны быть ОТКЛЮЧЕНЫ!).

10) Включить питание стенда и нажать кнопку «Вкл» модуля трехфазной сети.

11) Нажать кнопку «Пуск» для запуска режима измерений. Записать максимальное значение коэффициента искажения синусоидальности напряжения в точке подключения потребителя к электрической сети. Записать относительные величины высших гармоник напряжения с 2 по 11. Полученные результаты занести в таблицу 3.13. Нажать кнопку «Стоп» для прекращения режима измерений.

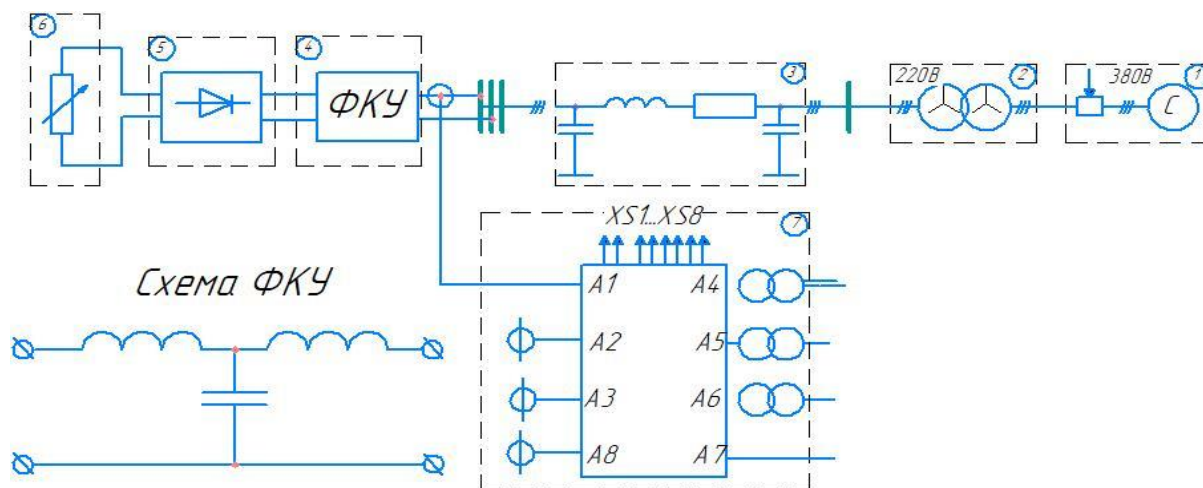


Рисунок 3.17 – Схема питания потребителей постоянным током с использованием фильтрокомпенсирующего устройства

12) Нажать кнопку «Откл» модуля трехфазной электрической сети.

13) Отключить питание стенда.

14) Составить отчет по лабораторной работе

Таблица 3.13 – Результаты измерений показателей качества электрической энергии

Показатели качества электроэнергии	Однополупериодная выпрямительная нагрузка	Двухполупериодная выпрямительная нагрузка
Коэффициент искажения синусоидальности напряжения, %		
Коэфф. 2 гармонической составляющей, %		
Коэфф. 3 гармонической составляющей, %		
Коэфф. 4 гармонической составляющей, %		
Коэфф. 5 гармонической составляющей, %		
Коэфф. 6 гармонической составляющей, %		-
Коэфф. 7 гармонической составляющей, %		
Коэфф. 8 гармонической составляющей, %		
Коэфф. 9 гармонической составляющей, %		
Коэфф. 10 гармонической составляющей, %		
Коэфф. 11 гармонической составляющей, %		

Содержание отчета

- 1) Цель работы.
- 2) Записать схему питания потребителей постоянным током.
- 3) Записать схему питания потребителей постоянным током с использованием фильтрокомпенсирующего устройства.
- 4) Записать максимальное значение коэффициента искажения синусоидальности напряжения в точке подключения потребителя к электрической сети.
- 5) Записать относительные величины высших гармоник напряжения с 2 по 11, в таблицу 3.13.

6) Сделать вывод о влиянии выпрямительной нагрузки на показатели качества электроэнергии в месте ее подключения.

9) Ответить на контрольные вопросы.

Контрольные вопросы:

1. У какой из исследованных схем выпрямления коэффициент пульсаций наименьший?

2. Какие гармонические составляющие наиболее значимы в кривой напряжения и тока у однополупериодной и двухполупериодной схемы выпрямления?

3. Перечислите отрицательные последствия от циркуляции высших гармоник тока в трехфазной электрической сети 0,38 кВ.

4. Какие способы ограничения высших гармоник тока в электрических сетях вам известны?

Список рекомендуемых источников литературы

1. Анчарова, Т.В. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений / Т.В. Анчарова, Е.Д. Стебунова, М.А. Рашевская. - Вологда: Инфра-Инженерия, 2016. - 416 с.

2. Вагин, Г.Я. Учет энергоресурсов: комплекс учебно-методических материалов / Г.Я. Вагин, А.М. Мамонов. – Нижний Новгород: НГТУ им. Р.Е. Алексеева, 2014.-107 с.

3. Киреева, Э.А. Электроснабжение и электрооборудование цехов промышленных предприятий: Учебное пособие / Э.А. Киреева. - М.: КноРус, 2013. - 368 с.

4. Коробов, Г.В. Электроснабжение. Курсовое проектирование: Учебное пособие / Г.В. Коробов, В.В. Картавцев, Н.А. Черемисинова. - СПб.: Лань, 2011. - 192 с.

5. Кудрин, Б.И. Электроснабжение: Учебник для студентов учреждений высшего профессионального образования / Б.И. Кудрин. - М.: ИЦ Академия, 2012. - 352 с.

6. Кудрин, Б.И. Электроснабжение потребителей и режимы: Учебное пособие / Б.И. Кудрин, Б.В. Жилин, Ю.В. Матюнина. - М.: МЭИ, 2013. - 412 с.

7. Кузнецов, Е.П. Организация и средства учета энергоносителей – учеб. пособие / Е.П. Кузнецов, Г.И. Сарпов – СПб., 2001. – 53 с.

8. Лещинская, Т.Б. Электроснабжение сельского хозяйства / Т.Б. Лещинская, И.В. Наумов. - М.: КолосС, 2008. - 655 с.

9. Правила устройства электроустановок. - 7-е изд. - М.: Изд-во НЦЭНАС, 2003.

10. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок, /Приказ: Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 15 декабря 2020 года N 903н., /Электронный текст документа

подготовлен АО "Кодекс" и сверен по: Официальный интернет-портал правовой информации www.pravo.gov.ru, 30.12.2020. [Электронный ресурс] – URL: <https://docs.cntd.ru/document/573264184>

11. Об электроэнергетике: Федеральный закон от 26 марта 2003 г. №35-ФЗ // Консорциум кодекс: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. [Электронный ресурс] - URL: <http://docs.cntd.ru/document/901856089>.

12. Об энергосбережении: Федеральный закон от 23 ноября 2009 г. №261-ФЗ // Консорциум кодекс: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. [Электронный ресурс] - URL: <http://docs.cntd.ru/document/902186281>.

13. ГОСТ 8.009-84: Государственная система обеспечения единства измерений. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений // Консорциум кодекс: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. [Электронный ресурс] - URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200004505/> .

14. РД 34.11.114-98: Учет электрической энергии и мощности на энергообъектах. Автоматизированные системы контроля и учета электроэнергии и мощности. Основные нормируемые метрологические характеристики. Общие требования // Консорциум кодекс: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. [Электронный ресурс] - URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200029930> .

15. Правила учета электрической энергии: Утверждены Минтопэнерго 19.09.96. // Консорциум кодекс: электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. [Электронный ресурс] - URL: <http://docs.cntd.ru/document/9032141> .

16. Типовой стандарт «Техническая политика. Системы учета электрической энергии с удаленным сбором данных оптового и розничного

рынков электрической энергии на объектах дочерних и зависимых обществ ОАО «Россети».- М., 2014.

17.Создание АИИС КУЭ // ИК «Энергоаудитконтроль».
[Электронный ресурс] - URL:<http://www.ackye.ru/activities/aiskue/> .

18. АСКУЭ современного предприятия // ЭНЕРГОУЧЕТ: сайт предприятия по созданию АСКУЭ. [Электронный ресурс] - URL:
<http://www.eu.sama.ru/askue.html>

Учебное издание

Авторы-составители:
Савчук Иван Викторович
Суринский Дмитрий Олегович

ПРАКТИКУМ ПО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЮ
учебно-методическое пособие

Подписано в печать 4.05.2022
Объем 10,97 усл. печ. л. Формат бумаги 60х84 1/16 Тираж 50 экз.

Отпечатано в типографии
ООО Издательский дом «Слово»
625051 г. Тюмень, ул. 30 лет Победы, 33/1