

**Министерство образования и науки Российской Федерации**

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Энергетический

Направление подготовки 13.04.02 – «Электроэнергетика и электротехника»

Кафедра Электрические сети и электротехника

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

| Тема работы   |
|---|
| Оценивание показателей качества и добавочных потерь электроэнергии в распределительных сетях по результатам ограниченного объема инструментальных измерений |

УДК621.311.1.017-021.465

Студент

| Группа | ФИО                             | Подпись | Дата |
|--------|---------------------------------|---------|------|
| 5AM5B  | Мамаджонов Умиджон Адхамжонович |         |      |

Руководитель

| Должность         | ФИО         | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-------------------|-------------|------------------------|---------|------|
| Директор РЦР ЭНИН | Ушаков В.Я. | д.т.н., профессор      |         |      |

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность               | ФИО            | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-------------------------|----------------|------------------------|---------|------|
| Доцент каф. менеджмента | Сергейчик С.И. | к.э.н, Доцент          |         |      |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность      | ФИО          | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|----------------|--------------|------------------------|---------|------|
| Доцент каф.ЭБЖ | Извеков В.Н. | к.т.н, Доцент          |         |      |

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

| Зав. кафедрой                       | ФИО                       | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-------------------------------------|---------------------------|------------------------|---------|------|
| Электрические сети и электротехника | Прохоров Антон Викторович | к.т.н.                 |         |      |

**Томск 2017**

**ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ООП  
ПО НАПРАВЛЕНИЮ 140400 – «ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА»**

| Код<br>результата                   | Результат обучения<br>(выпускник должен быть готов)   |
|-------------------------------------|---|
| <b>Профессиональные компетенции</b> |   |
| <b>Р1</b>                           | Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа электрических устройств, объектов и систем.   |
| <b>Р2</b>                           | Уметь формулировать задачи в области электроэнергетики и электротехники, анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.  |
| <b>Р3</b>                           | Уметь проектировать электроэнергетические и электротехнические системы и их компоненты.   |
| <b>Р4</b>                           | Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики и электротехники, интерпретировать данные и делать выводы.              |
| <b>Р5</b>                           | Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области электроэнергетики и электротехники.   |
| <b>Р6</b>                           | Иметь практические знания принципов и технологий электроэнергетической и электротехнической отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях. |
| <b>Универсальные компетенции</b>    |   |
| <b>Р7</b>                           | Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области электроэнергетики и электротехники  |
| <b>Р8</b>                           | Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях электроэнергетики и электротехники.                                 |
| <b>Р9</b>                           | Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области электроэнергетики и электротехники.   |
| <b>Р10</b>                          | Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.   |
| <b>Р11</b>                          | Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области электроэнергетики и электротехники с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.   |
| <b>Р12</b>                          | Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области электроэнергетики и электротехники.   |

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего  
образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Энергетический  
Направление подготовки 13.04.02 – «Электроэнергетика и электротехника»  
Кафедра Электрические сети и электротехника

УТВЕРЖДАЮ:  
И.о.зав. кафедрой ЭСиЭ  
\_\_\_\_\_ Прохоров А.В.  
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

|                          |
|--------------------------|
| магистерской диссертации |
|--------------------------|

Студенту:

| Группа | ФИО                             |
|--------|---------------------------------|
| 5AM5B  | Мамаджонов Умиджон Адхамжонович |

Тема работы:

|   |                            |
|---|----------------------------|
| Оценивание показателей качества и добавочных потерь электроэнергии в распределительных сетях по результатам ограниченного объема инструментальных измерений |                            |
| Утверждена приказом директора (дата, номер)   | Дата 07.02.2017 г. № 625/с |

|  |  |
|--|--|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: |  |
|--|--|

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

|  |  |
|--|--|
| <p><b>Исходные данные к работе</b><br/>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</p>        | <p>– <i>Оценивание показателей качества и добавочных потерь электроэнергии в распределительных сетях по результатам ограниченного объема инструментальных измерений</i></p>  |
| <p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b><br/>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</p> | <p>– <i>Аналитический обзор литературных источников с целью определения методов исследования, реализации прогнозированной модели в программном обеспечении, исследование частотных характеристик кабельных и воздушных линий электропередачи</i></p> |

|   |                                |
|---|--------------------------------|
| <b>Перечень графического материала</b><br>(с точным указанием обязательных чертежей)        | – Презентация в Power Point.   |
| <b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b><br>(с указанием разделов) |                                |
| <b>Раздел</b>   | <b>Консультант</b>             |
| «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»                           | Сергейчик Сергей Иванович      |
| «Социальная ответственность»  | Извеков Владимир Николаевич    |
| Раздел магистерской диссертации, выполненный на иностранном языке                           | Низкодубов Гавриил Анатольевич |
| <b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>     |                                |
| Реферативная работа   |                                |

|   |  |
|---|--|
| <b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b> |  |
|---|--|

**Задание выдал руководитель:**

| Должность         | ФИО                      | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-------------------|--------------------------|------------------------|---------|------|
| Директор РЦР ЭНИН | Ушаков Василий Яковлевич | Д.Т.Н., профессор      |         |      |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО                             | Подпись | Дата |
|--------|---------------------------------|---------|------|
| 5AM5B  | Мамаджонов Умиджон Адхамжонович |         | .    |

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

|               |                  |
|---------------|------------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>       |
| 5AM5B         | Мамаджонов. У.А. |

|                            |                           |                                  |   |
|----------------------------|---------------------------|----------------------------------|---|
| <b>Институт</b>            | <b>Физико-технический</b> | <b>Кафедра</b>                   | Электрические сети и электротехника   |
| <b>Уровень образования</b> | Магистратура              | <b>Направление/специальность</b> | Электроэнергетика и электротехника/<br>Энергосбережение и энергоэффективность |

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

|  |  |
|--|--|
| 1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих | <i>В научном исследовании были задействованы 2 человека (руководитель, инженер).</i> |
| 2. Нормы и нормативы расходования ресурсов   |  |
| 3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования                                  |  |

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

|  |   |
|--|---|
| 1. Планирование научных исследований   | <i>В данном разделе составлена структура работ, определена трудоемкости выполнения работ. Разработан график проведения научного исследования, иерархическая структура работ, календарный план-график реализации проекта</i> |
| 2. Формирование бюджета научных исследований   | <i>Произведён расчёт затрат исследовательского проекта, составлена смета</i>  |
| 3. Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности научного исследования | <i>Определение ресурсоэффективности проекта.</i>  |

**Перечень графического материала** (с точным указанием обязательных чертежей)

Календарный план проекта  
Бюджет проекта

**Дата выдачи задания для раздела по линейному графику**

**Задание выдал консультант:**

|                            |                |                |             |
|----------------------------|----------------|----------------|-------------|
| <b>Должность</b>           | <b>ФИО</b>     | <b>Подпись</b> | <b>Дата</b> |
| Доцент кафедры менеджмента | Сергейчик С.И. |                |             |

**Задание принял к исполнению студент:**

|               |                 |                |             |
|---------------|-----------------|----------------|-------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>      | <b>Подпись</b> | <b>Дата</b> |
| 5AM5B         | Мамаджонов У.А. |                |             |

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

|               |                                 |
|---------------|---------------------------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>                      |
| 5AM5B         | Мамаджонов Умиджон Адхамжонович |

|                            |                |                                  |   |
|----------------------------|----------------|----------------------------------|---|
| <b>Институт</b>            | Энергетический | <b>Кафедра</b>                   | Электрические сети и электротехника                                       |
| <b>Уровень образования</b> | Магистратура   | <b>Направление/специальность</b> | Электроэнергетика и электротехника/Энергосбережение и энергоэффективность |

**Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:**

|   |  |
|---|--|
| <p>1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Оценивание показателей качества и добавочных потерь электроэнергии в распределительных сетях по результатам ограниченного объема инструментальных измерений</li> <li>-Исследование частотных характеристик</li> <li>-Сравнения частотных характеристик кабельных и воздушных линий</li> </ul> |
|---|--|

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

|   |  |
|---|--|
| <p><b>1. Производственная безопасность</b><br/>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты;</li> <li>– (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</li> </ul> | <p><i>Повышенный уровень электромагнитных и ионизирующих излучений;</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Отклонение параметров микроклимата в помещении</li> <li>- Недостаточная освещенность рабочей зоны;</li> <li>- Повышенный уровень шума.</li> </ul> |
| <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</li> </ul> <p>пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).</p>  | <p><b>Опасные факторы:</b><br/><i>Электрический ток;</i><br/><i>-Пожароопасность</i></p>   |

|  |  |
|--|--|
| <p><b>2. Экологическая безопасность:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– защита селитебной зоны</li> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul> | <p><i>Вся оргтехника должна утилизироваться по методике утвержденной Государственным комитетом РФ по телекоммуникациям (от 19 октября 1999 г.).<br/>Люминесцентные лампы утилизируются в соответствии с ГОСТ 12.2.007.13-88.</i></p> |
| <p><b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul>   | <p><i>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях<br/>На участке проведения работ возможны возникновения следующих видов чрезвычайных ситуаций различного характера</i></p> <p><i>-Пожар</i></p>  |
| <p><b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>   | <p><i>Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.</i></p> <p><i>Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны</i></p>   |
| <p><b>Перечень графического материала:</b></p>   |  |
| <p>При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)</p>  | <p>1. План помещения и размещения светильников.</p>  |

|  |                        |                               |                |             |
|--|------------------------|-------------------------------|----------------|-------------|
| <p><b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b></p> |                        |                               |                |             |
| <p><b>Задание выдал консультант:</b></p>                           |                        |                               |                |             |
| <p>Должность</p>   | <p>ФИО</p>             | <p>Ученая степень, звание</p> | <p>Подпись</p> | <p>Дата</p> |
| <p>Доцент кафедры ЭБЖ</p>  | <p>Извеков В.Н.</p>    | <p>к.т.н. доцент</p>          |                |             |
| <p><b>Задание принял к исполнению студент:</b></p>                 |                        |                               |                |             |
| <p>Группа</p>  | <p>ФИО</p>             |                               | <p>Подпись</p> | <p>Дата</p> |
| <p>5АМ5В</p>   | <p>Мамаджонов У.А.</p> |                               |                |             |

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт Энергетический (ЭНИН)

Направление подготовки 13.04.02 – Электроэнергетика и электротехника

Уровень образования магистр

Кафедра Электрические сети и электротехника

Период выполнения осенний 2015/2016/, весенний семестр 2016/2017 учебного года

Форма представления работы:

магистерская диссертация

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН**  
**выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:

| <b>Дата контроля</b>  | <b>Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)</b>                         | <b>Максимальный балл раздела (модуля)</b> |
|-----------------------|--|---|
| 20.09.2016-10.11.2016 | <i>Литературный обзор.</i>   |   |
| 21.11.2016-20.01.2017 | <i>Математическая модель режимов линии, исследование и создание модели (расчет).</i> |   |
| 03.02.2017-10.05.2017 | <i>Расчет частотных характеристик кабельных и воздушных линий</i>                    |   |

Составил преподаватель:

| <b>Должность</b>  | <b>ФИО</b>   | <b>Ученая степень, звание</b> | <b>Подпись</b> | <b>Дата</b> |
|-------------------|--------------|-------------------------------|----------------|-------------|
| Директор РЦР ЭНИН | Ушаков В. Я. | д.т.н., профессор             |                |             |

**СОГЛАСОВАНО:**

| <b>Зав. кафедрой</b> | <b>ФИО</b>     | <b>Ученая степень, звание</b> | <b>Подпись</b> | <b>Дата</b> |
|----------------------|----------------|-------------------------------|----------------|-------------|
| ЭСиЭ                 | Прохоров А. В. | к.т.н.                        |                |             |

## **Реферат**

Выпускная квалификационная работа 173 с., 30 рис., 21 табл., 33 источника, 2 приложение.

Ключевые слова: энергосистема, кабельная линия, воздушная линия, частотные характеристики, потери электроэнергии, мероприятия по снижению потерь и электроэнергии.

Объектом исследования являются кабельные и воздушные линии напряжением 110 кВ.

Цель работы – разработка математической модели, для определения частотных характеристик входного сопротивления кабельных и воздушных линий электропередачи.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе MS Word и представлена на компакт-диске (в конверте на обороте обложки).

## Список используемых сокращений

РЭС – районные электрические сети

ЭС – энергосистема

ВЛ – воздушная линия

КЛ – кабельная линии

Т – трансформатор

ТН – трансформатор напряжения

ТТ – трансформатор тока

ПС – подстанция

ЭЭС – электроэнергетическая система

ЛЭП – линия электропередач

ПС – подстанция

УШР – управляемый шунтирующий реактор

БСК – батарея статических конденсаторов

СК – синхронный компенсатор

РМ – реактивная мощность

## **Оглавление**

|  |    |
|--|----|
| <b>Введение</b> .....  | 13 |
| <b>Глава 1. Анализ проблемы потерь и снижения качества электроэнергии при ее транспортировке</b> .....                                   | 15 |
| 1.1 Природа потерь электроэнергии при передаче и распределении.....  | 15 |
| 1.2. Структура потерь электроэнергии .....   | 17 |
| 1.3. Показатели качества электроэнергии .....  | 22 |
| 1.4. Высшие гармонические составляющие тока и напряжений и их источники в электрических сетях.....                                       | 26 |
| 1.5. Основные мероприятия по сокращению технологических потерь .....   | 34 |
| 1.6 Выводы к главе 1.....  | 36 |
| <b>Глава 2. Параметры многопроводной линии электропередачи</b> .....   | 37 |
| 2.1 Воздушные линии электропередачи.....   | 37 |
| 2.1.1. Грозозащитный трос.....   | 39 |
| 2.1.2. Опоры воздушной линии электропередачи.....  | 40 |
| 2.2 Кабельные линии электропередачи .....  | 42 |
| 2.3. Погонные параметры ВЛ с учетом их конструктивных особенностей .....   | 43 |
| 2.3.1. Погонное сопротивление линии ВЛ .....   | 44 |
| 2.3.2 Погонная емкостная проводимость ВЛ.....  | 48 |
| 2.3.3 Погонная активная проводимость ВЛ .....  | 51 |
| 2.4. Погонные параметры кабельной линии с учетом ее конструктивных особенностей .....  | 51 |
| <b>Глава 3. Математическая модель режимов многопроводной линии с учетом распределенности параметров. Ошибка! Закладка не определена.</b> |    |
| <b>Глава 4. Моделирование и анализ многопроводной линии электропередачи</b> .....  | 54 |
| 4.1 Частотные характеристики входного сопротивления ВЛ.....  | 55 |
| 4.2 Частотные характеристики входного сопротивления КЛ.....  | 57 |
| Выводы к главе 4.....  | 60 |
| <b>Глава 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</b> .....  | 61 |
| 5.1. Структура работ в рамках проектирования.....  | 61 |

|  |            |
|--|------------|
| 5.1.1. Определение трудоемкости выполнения работ.....  | 62         |
| 5.1.2. Разработка графика проведения проектирования .....  | 63         |
| 5.2. Расчет материальных затрат НТИ.....   | 66         |
| 5.2.1 Основная заработная плата исполнителей темы .....  | 66         |
| 5.2.2. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....  | 69         |
| 5.2.3. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проектирования .....                                    | 70         |
| 5.3. Оценка рисков проекта.....  | 70         |
| 5.4. Матрица ответственности .....   | 73         |
| Заключение по разделу.....   | 78         |
| <b>Глава 6. «Социальная ответственность» .....</b>   | <b>87</b>  |
| Аннотация .....  | 87         |
| 6.1. Производственная безопасность .....   | 88         |
| 6.1.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые может создать объект исследования .....                            | 88         |
| 6.1.2. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследований..... | 89         |
| 6.2.1. Электромагнитное и ионизирующее излучения от ЭВМ.....   | 90         |
| 6.2.2 Микроклимат.....   | 92         |
| 6.2.3 Освещение .....  | 94         |
| 6.2.4 Шум.....   | 99         |
| 6.3. Анализ выявленных опасных факторов среды .....  | 101        |
| 6.3.1. Электробезопасность.....  | 101        |
| 6.4. Экологическая безопасность.....   | 103        |
| 6.5. Чрезвычайные ситуации.....  | 104        |
| Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности. ....  | 108        |
| Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны .....  | 109        |
| Заключение по разделу.....   | 110        |
| <b>Список литературы .....</b>   | <b>111</b> |
| Приложение А .....   | 114        |
| Приложение Б.....  | 133        |

## **Введение.**

**Актуальность темы.** В наше время спрос на электрическую энергию растет каждым днем и естественно первостепенной задачей является, как сэкономить электрическую энергию. Потреблять электрическую энергию экономно и эффективно.

Энергоэффективность и энергосбережения является актуальной темой в мире. Это связано с большими потерями электроэнергии в электрических сетях. Эффективность работы электросетевых компаний характеризуется величиной потерь электрической энергии.

Энергосбережение — комплекс мероприятий, направленных на сохранение и рациональное использование электричества и тепла.

Энергоэффективность — это экономно использовать энергоресурсов. Использовать наименее затратную энергосистему для обслуживания ожидаемого спроса на электроэнергию и обеспечить экономическую жизнеспособность электростанций. Это дает возможность, уменьшит вредные выбросы на атмосферу, в конечном счете, можно одновременно оценить энергетическую и экологическую политику в области энергетики.

По оперативным данным ОАО «СО ЕЭС», потребление электроэнергии в Единой энергосистеме России в июле 2016 года составило 75,7 млрд. кВт·ч, что на 1,5 % больше объема потребления за июль 2015 года. Потребление электроэнергии в июле 2016 года в целом по России составило 77,5 млрд. кВт·ч, что на 1,3 % больше, чем в июле 2015 года. В июле 2016 года электростанции ЕЭС России выработали 77,6 млрд. кВт·ч, что на 2,3 % больше чем в июле 2015 года. Выработка электроэнергии в России в целом в июле 2016

года составила 79,0 млрд. кВт·ч, что на 2,1 % больше выработки в июле прошлого года.<sup>1</sup>

Вопросы энергосбережения во всех сферах производства жизнеобеспечения в настоящее время рассматривается при разработке законов, а также программ и мероприятий, разработанных на их основе. Основным документом в области энергосбережения является федеральный закон № 261-ФЗ [17]. А также ГОСТы и указы Президента РФ.

Снижение потерь электроэнергии – важнейший путь энергосбережения в электрических сетях. Снижение потерь электроэнергии в электрических сетях позволяет:

- уменьшит топливные расходы на электрических станциях. потому что снижается выработки электроэнергии для компенсации потерь;
- снизить объемы строительства генерирующих мощностей для надежного электроснабжения потребителей при намечающемся дефиците активной мощности;
- уменьшить тарифы на услуги по передаче электроэнергии по электрическим сетям и тарифы на электроэнергию для конечных потребителей.

**Цель диссертации** - Расчет частотных характеристик входного сопротивление воздушных и кабельных линий проводится с целью выявления зависимостей между длиной линии и погонным сопротивлением.

**Задачи диссертационного исследования:**

1. Исследование модели частотных характеристик входного сопротивление воздушных линии.
2. Адаптация модели для исследования частотных характеристик входного сопротивления кабельных линии.

---

<sup>1</sup> <http://minenergo.gov.ru/node/5701>

3. Изучение нормативной документации регламентирующей качество, контроль и мониторинг электрической энергии.
4. Расчет и анализ частотных характеристик ВЛ и КЛ.

## **Глава 1. Анализ проблемы потерь и снижения качества электроэнергии при ее транспортировке**

### **1.1 Природа потерь электроэнергии при передаче и распределении**

Электрическая энергия является и товар и физическая понятия. Как товар электрическая энергия должна соответствовать определенному качеству, требованием рынка и качества этого товара нормируется по ГОСТу. Электрическая энергия отличается следующими потребительскими свойствами от других видов энергии: электрическая энергия производится, транспортируется, потребляется и это процесс происходит одновременно, некачественная электрическая энергия не возвращается обратно производителю.

Электрическая энергия как физическое понятие – это способность электромагнитного поля совершать работу под действием приложенного напряжения в технологическом процессе ее производства, передачи, распределения и потребления.

Электрическая энергия не требует ресурсы для перемежения от места производства до потребителя, даже если расстояния между потребителем и электростанциями сотни километров. Для этого электрическая энергия расходует часть самой себя, следовательно, потери электрической энергии неизбежны

При передаче электрической энергии по высоковольтным сетям в нашей стране теряется около 9 % переданной энергии. В распределительных сетях потребителей теряется еще 3-4%, т. е. общие потери электрической энергии составляют 12-13%. Следовательно, при передаче и распределении в год. Будет потеряно около 150 млрд. кВт ч электрической энергии. Если учесть, что ГЭС

мощностью 2,5 или кВт (например, Волжская ГЭС) вырабатывает за год 10 млрд. кВт ч, то 15 таких электростанций будут работать только на покрытие потерь.

Фактические потери это отличия между полученной электрической энергии от потребленной энергопринимающими устройствами на этой сети. Фактическим потерям входят: потери которые теряется в элементах сети, расход электричество на работу оборудования, погрешность счетчиков во время учета электрической энергии, хищения электроэнергии, неуплата или неполная оплата показаний счетчиков и т.д.



Рисунок 1.1 Структура потерь электроэнергии

## 1.2. Структура потерь электроэнергии

Разделить потери можно по разным критериям: по характеру потерь или по классам напряжения, но чтобы анализировать и нормировать, лучше разделить их исходя из физической природы (укрупненная структура). По укрупненной структуре фактические потери разделяются:

1. Технические потери электроэнергии
2. Расход электроэнергии на собственных нужд подстанций.
3. Потери при измерении электрической энергии, т.е. погрешности счетчиков.
4. Коммерческие потери.

Технические потери электроэнергии - обусловленные преобразованием части передаваемой электрической энергии в тепло в элементах сетей. Их получают расчетным путем.

Расход электроэнергии на СН подстанций – эти расходы включают себя: расходы электроэнергии для комфорта обслуживающего персонала и для обеспечения работы оборудования. В подстанции имеются трансформаторы собственных нужд и им устанавливаются счетчики, которые регистрируют эти расходы.

Потери при измерении электроэнергии – эти потери связаны с погрешностями счетчиков. Их получают расчетным путем

Все эти потери можно объединить под термином **технологические потери.**

Технические потери в свою очередь подразделяется на:

- 1.2** Условно-постоянные – не зависящие от нагрузки и составляющие 24,7% от общих потерь (Из них 67% – потери холостого хода трансформаторов, 11% – собственные нужды подстанций, 22% – прочие потери);
- 1.3** Нагрузочные потери - зависящие от величины, передаваемой по сети мощности, составляющие 75,3% от общих потерь. (Из них 86 % – потери в ЛЭП и 14% – в трансформаторах).

Условно-постоянные потери электроэнергии включают:

- потери на холостой ход силовых трансформаторов (автотрансформаторов);
- потери на корону в воздушных линиях 110 кВ и выше;
- потери в синхронных компенсаторах, батареях статических конденсаторов, статических тиристорных компенсаторах, шунтирующих реакторах;
- потери в соединительных проводах и сборных шинах распределительных устройств подстанций; потери в системе учета электроэнергии (трансформаторах тока, трансформаторах напряжения, счетчиках и соединительных проводах);
- потери в вентильных разрядниках, ограничителях перенапряжений;
- потери в устройствах присоединений высокочастотной связи;
- потери в изоляции кабелей;
- потери от токов утечки по изоляторам ВЛ;
- расход электроэнергии на собственные нужды подстанций (далее - СН);
- расход электроэнергии на плавку гололеда.

## Потери на холостой ход силовых трансформаторов

Холостой ход - это один из режимов работы всех трансформаторных устройств, который основан на выделенном питании какой-то одной обмотки в то время, как состояние всех остальных разомкнутое. При таком типе работы все утечки, которые неизбежно возникают при номинальных значениях уровня напряжения и частоты, принято называть потерями холостого хода.

Причины потери холостого хода трансформатора: Используемые сегодня трансформаторы можно разделить на сухие и масляные. Масляные до недавнего времени довольно активно использовались практически во всех сферах. Но так как они имеют некоторые ограничения по размещению и нюансы обслуживания, а также низкую пожаробезопасность, в последнее время все большей популярностью стали пользоваться модели сухих трансформаторов, не использующих в системе охлаждения масляные составы.

Активные потери холостого хода трансформатора есть и в тех, и в других устройствах. Основными их причинами являются:

Коррозия металла, которая происходит из-за нарушения целостности лакового слоя. В результате это значительно увеличивает вихревые токи и усиливает нагрев стали, используемой трансформаторе.

- Витковое замыкание, происходящее в обмотках и приводящее к резкому скачку напряжения.
- Недостаточная или некачественная изоляция стягивающих шпилек, приводящая к замкнутому накоротко контуру.
- Магнитные зазоры или некачественная шихтовка.
- Недостаточное или избыточное число витков на вольт, которое зависит от целого ряда характеристик. Числом витков можно не только увеличить

потери холостого хода, но и значительно уменьшить их при правильном расчете.

- Перегрев стальных узлов и элементов трансформатора неизбежно снижает качество работы трансформатора, все зависит только от скорости и прогрессии этих ухудшений. Чем выше температура, тем быстрее прибор выйдет из строя.

Это далеко не все возможные причины потери холостого хода силового трансформатора, многое также зависит и от условий эксплуатации, и от уровня обслуживания устройства.

#### Потери на корону на воздушных линиях 110 кВ и выше

Потери на корону – это потери при передаче электрической энергии во время коронного разряда. Среднегодовые потери мощности и энергии на корону ВЛ 330 и 500 кВ составляют 12 %, а ВЛ 750 кВ — 14 % от суммарных потерь (на корону и от тока нагрузки), при этом потери в проводах рассчитываются для натуральной мощности  $P_{\text{нат}}$ . Так как в действительности средние нагрузки ВЛ раза в 2 меньше  $P_{\text{нат}}$ , то потери на корону ВЛ 330 и 500 кВ составят 35 %, а ВЛ 750 кВ — 39 % от суммарных потерь.

#### Потери в компенсирующих устройствах

Потери в компенсирующих устройствах (КУ) зависят от типа устройства.

Потери в батареях статических конденсаторов (БСК) определяют на основе известных удельных потерь мощности  $\Delta\rho_{\text{бк}}$ :

$$\Delta W_{\text{бк}} = \Delta\rho_{\text{бк}} \cdot W_{Q_{\text{бк}}} \quad (1.1)$$

где  $W_{Q_{\text{бк}}}$  - реактивная энергия, выработанная батареями конденсаторов за расчетный период. Обычно  $\Delta\rho_{\text{бк}}=0,003$  кВт/квар.

Потери в статических тиристорных компенсаторах (СКТ) определяют по такой же формуле. Тиристорные компенсаторы, как правило имеют индивидуальную конструкцию, поэтому удельные потери в конкретном компенсаторе определяют на основе его паспортных данных. Среднее значение  $\Delta p_{\text{СКТ}}=0,006$  кВт/квар.

Потери синхронных компенсаторах (СК)

$$\Delta W_{\text{СК}} = \Delta P_{\text{НОМ}} \cdot T_{\text{СК}} \left[ d_x + (1 - d_x) k_{\text{макс}}^2 \cdot \frac{k_3 + 2k_3^2}{3} \right] \quad (1.2)$$

где  $\Delta P_{\text{НОМ}}$  - потери в СК при номинальной нагрузке;

$T_{\text{СК}}$  - время работы СК в расчетном периоде;

$k_{\text{макс}} = Q_{\text{макс.х}}/Q_{\text{НОМ}}$  - коэффициент максимальной нагрузке СК

$d_x$  - доля потерь холостого хода в значении  $\Delta P_{\text{НОМ}}$

Нагрузочные потери

Нагрузочные потери зависят от объёма транспортируемой энергии и прямо пропорциональны квадрату тока, протекающему по элементам сети.

Составляющие нагрузочных потерь входят:

- реактивная мощность у потребителей;
- недогрузка трансформаторов;
- перегрузка ЛЭП;
- низкое напряжение распределительных сетей.

Потери при передаче реактивной мощности это один из составляющих нагрузочных потерь. В сети реактивной мощность уменьшает пропускной способности. Потребителями РМ являются трансформаторы, электродвигатели, газоразрядные лампы и т.д. источниками РМ компенсаторные батареи, синхронные компенсаторы.

**Коммерческие потери**, является следствием случайных незаконное подключение электроэнергии для домов, а также манипуляции счётчика недобросовестных абонентов с целью мошенничества. Такие неоплаченные счета вызывают финансовые предрассудков для коммунальных предприятий.

В настоящее время, понятия качество (энергоснабжение без искажений) электроэнергии и эффективность использования электроэнергии (получение максимального полезного эффекта от ее использования) должны рассматриваться как одно целое. По этой причине следует оптимизировать как потребление энергии, так и ее передачу и использования.

Наиболее важным показателем качества и энергоэффективности энергосистемы является производство и передача максимального количества активной энергии, совершающей полезную работу. Это компенсирует колебания электрической нагрузки, а также непродуктивные нагрузки, потребляющие реактивную мощность, и искажения, вызываемые электрооборудованием с нелинейными характеристиками.

### **1.3. Показатели качества электроэнергии**

Кроме потерь на эффективность электроэнергии влияет еще показатели качества электроэнергии. Все эти показатели качества электроэнергии нормируются по ГОСТу [14,15,16]. Существует 11 показатели качества электроэнергии. Снижения один из них неблагоприятно для оборудования.

Отклонения частоты это один из ПКЭ.

$$\Delta f = f_m - f_{ном} \quad (1.3)$$

где  $f_m$  - значение основной частоты.

$f_{ном}$  - номинальное значение частоты (50Гц)

## Несимметрия напряжений

Напряжения или ток трехфазной системы является полностью симметричными, если все три фазы сдвинуты по фазе друг от друга на  $120^\circ$ , и модули их векторов равны.

Система будет несимметричной, если модули фазных векторов будут различны, или фазовой сдвиг между двумя векторами будет отличаться от  $120^\circ$ . Более того, эти два условия могут выполняться одновременно.

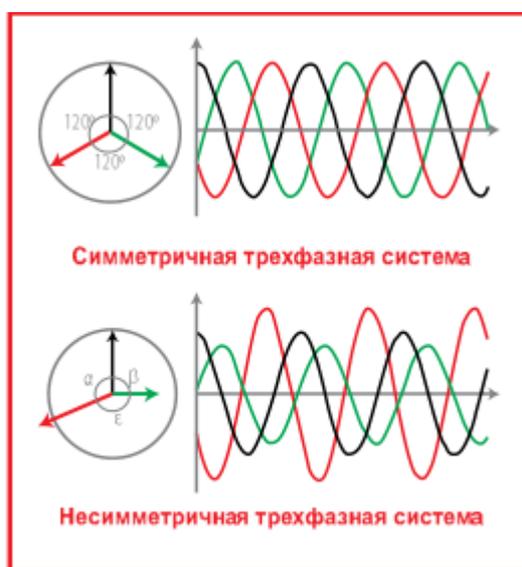


Рисунок 1.2 - Несимметричная система

Несимметрия напряжения можно наблюдать только в трехфазной системе. Несимметрия напряжения возникает при неравномерного распределения нагрузок и распределит их равномерно довольно сложно.

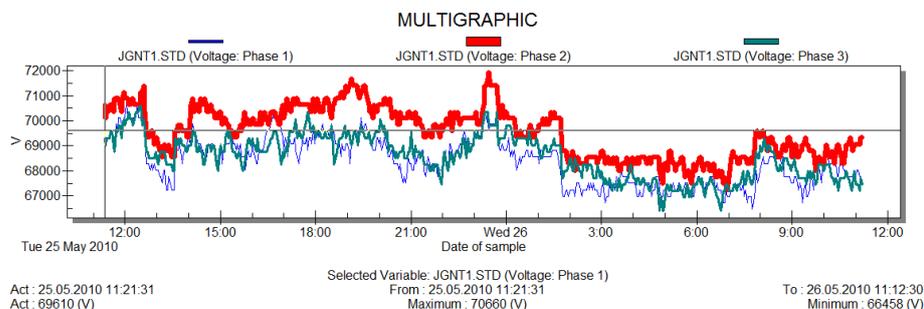


Рисунок 1.3 - Суточный график напряжения по 3 фазам

График из рисунка было получено во время измерительного обследования. Как видно не сложно заметит несимметрию напряжения.

Все показатели качества электроэнергии определяются в ходе измерительного обследования. Существует множество анализаторов ПКЭ для оценивания ПКЭ. Один из них является **CIRCUTOR** серий **AR.5/AR.5L** (рисунок 1.4)



Рисунок 1.4 - Анализатор ПКЭ  
CIRCUTOR серий AR.5/AR.5L

Анализаторы ПКЭ CIRCUTOR серий AR.5/AR.5L удобные и оценивают все показатели качества электроэнергии. У них присутствуют кабели RS-232 для подключения к компьютеру. Анализаторы CIRCUTOR серий AR.5/AR.5L работает с программой Power Vision. Ниже представлено схема подключения анализаторов CIRCUTOR серий AR.5/AR.5L.

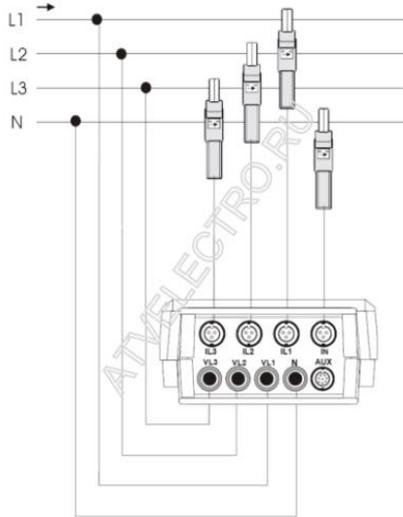


Рисунок 1.5 - Схема соединение системы 3 фазы- 4 провода

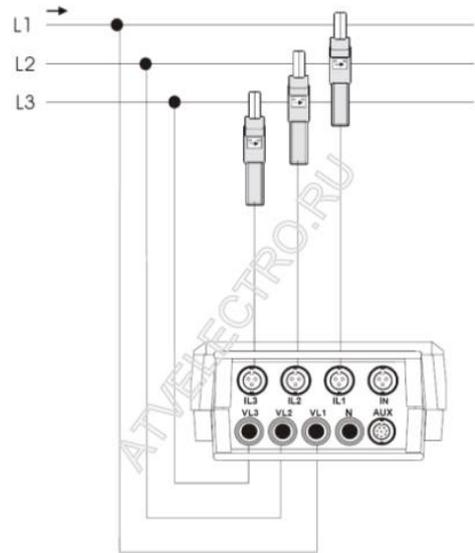


Рисунок 1.6 - Схема соединения системы 3 фазы - 3 провода

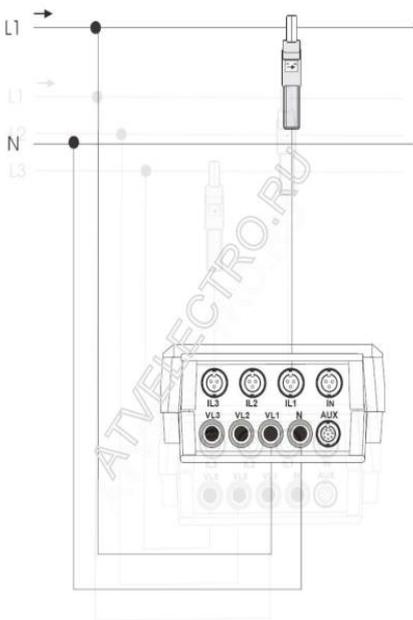


Рисунок 1.7. Схема соединение системы 3

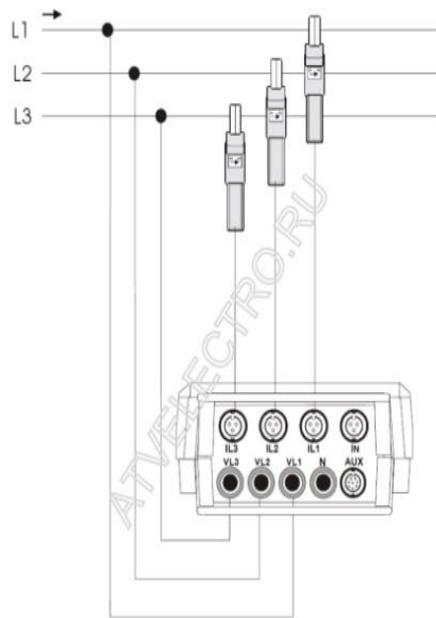


Рисунок 1.8. Схема соединения системы 3 фазы - 3 провода

## 1.4. Высшие гармонические составляющие тока и напряжений и их источники в электрических сетях

Когда форма тока, напряжения искажается это, говорит о том, что в сети присутствуют гармоники. А искажения напряжения или тока ухудшает качества электроэнергии. Основными источниками гармоники это нелинейные нагрузки, такие как преобразователи, дуговые печи и т.д.

В наше время устройства, которая генерирует гармоники, есть каждый сфере. Форма кривой тока, которая потребляет нелинейная нагрузка, отличаются от основной формы кривой.

Гармоники можно классифицировать по тем параметрам: порядку (номеру), частоте и типу последовательности. Эти параметры полностью определяют свойства гармонических составляющих в электросети.

Порядок гармоник: значения частоты в России составляет 50Гц а порядок гармоники – число раз, которое частота гармонической составляющей превышает значение основной частоты. 1,2,3,4,5,6,7... т.е. ряд натуральных чисел. Порядок может быть определен как отношение частоты гармоники ( $f_n$ ) к основной частоте ( $f_{50}$ )

$$n = \frac{f_n}{f_{50}} \quad (1.4)$$

Гармоники суммируются с основной частотой.

Например

1я гармоника =50Гц

2ая гармоника =100 ГЦ

3ая гармоника =150 и т.д.

Гармоники бывают четными, нечетными и кратными Зем. Нечетные гармоники встречаются в электросетях практически всех видов: на производстве, в строительстве, промышленности, аэропортах и т.д. четные гармоники можно обнаружить в несимметричных системах.

#### Последовательность

Гармоники прямой или обратной последовательности не отличаются друг от друга по степени влияния на электрическую сеть. Они одинаково вредны, независимо от типа последовательности. В отдельных случаях, например для конденсаторных батарей, корректирующий коэффициент мощности наиболее вредны гармоники обратной последовательности, особенно 5-я.

Гармоники нулевой последовательности имеют частоту кратную трем по отношению к основной частоте. Эти гармоники протекают по нулевому проводнику, и ток в нем может быть таким же по величине, как и фазном проводе, и даже превышать его. Это приводит к нагреву нулевого провода и, соответственно, к необходимости выполнять и нулевой, и фазные проводники жилами одиночного сечения. Основные параметры гармоник приведены в таблице 1.1

Таблица 1.1 - Основные параметры гармоник

| Порядок  | Частота | Последовательность |
|----------|---------|--------------------|
| 1        | 50      | +                  |
| 2        | 100     | -                  |
| 3        | 150     | 0                  |
| 4        | 200     | +                  |
| 5        | 250     | -                  |
| 6        | 300     | 0                  |
| 7        | 350     | +                  |
| ...      | ...     | ...                |
| <i>n</i> | $50*n$  | ...                |

Коэффициент гармонических искажений напряжения и тока.

Коэффициент гармонических искажений определяется как отношение (в процентах) действующего значения гармоники напряжения или тока определенной частоты к действующему значению напряжения или тока основной частоты.

$$HDU_n \% = \frac{U_{cafn}}{U_{caf50}} \quad (1.5)$$

$$HDI_n \% = \frac{I_{cafn}}{I_{caf50}} \quad (1.6)$$

Суммарный коэффициент гармонических искажений:  $THD_U$ - $THD_I$

Суммарный коэффициент гармонических искажений представляет собой суммарную величину искажений, отнесенную к величине сигнала на основной частоте.

$$THD_{f2-n} = \frac{\sqrt{h_2^2 + h_3^2 + h_4^2 + \dots + h_n^2}}{h_1} \cdot 100 \quad (1.7)$$

Для большей наглядности определим этот параметр (THD) для двух основных величин: действующего значения напряжения ( $U_{ca}$ ) и для действующего значения тока ( $I_{ca}$ ).

$$THD_{U2-n} = \frac{\sqrt{U_{ca2}^2 + U_{ca3}^2 + U_{ca4}^2 + \dots + U_{can}^2}}{U_{ca1}} \cdot 100 \quad (1.8)$$

$$THD_{I2-n} = \frac{\sqrt{I_{ca2}^2 + I_{ca3}^2 + I_{ca4}^2 + \dots + I_{can}^2}}{I_{ca1}} \cdot 100 \quad (1.9)$$

Значение суммарного коэффициента по току  $\text{THD}_I$  является следствием нелинейных нагрузок в электросети

Суммарный коэффициент по напряжению  $\text{THD}_U$  является результатом протекания в сети сильно искаженного тока. К сожалению, ГОСТ [14] не нормирует гармонические составляющие по току.

Основной ГОСТ определяет нормативные значения коэффициента  $\text{THD}_U$  до 40ой гармоники[14].

Гармонический спектр формируется путем разложения сигнала на его гармонические составляющие в частотной области. Он может быть представлен в виде гистограммы, отображающей информацию о процентном содержании каждой из гармоник сигнала. Сумма сигналов гармоник дает полную форму анализируемого сигнала.

На рисунке 1.9 представлен гармонический спектр, в котором 5ая гармоника составляет примерно 25% напряжения основной гармоники.

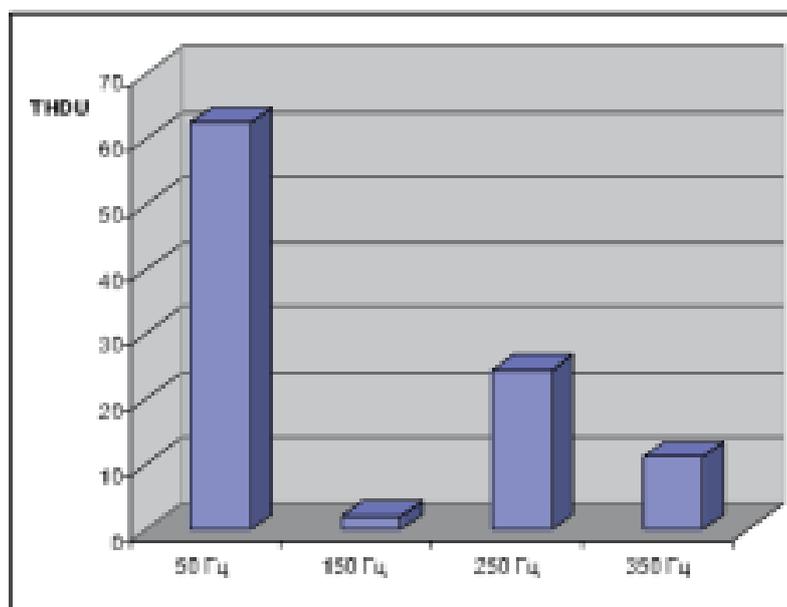


Рисунок 1.9 - Гармонический спектр

На рисунке 1.10 показан сигнал искаженной формы, причем его максимальное значение равно графической сумме двух синусоидальных составляющих.

На один период сигнала основной частоты приходится три периода сигнала 3-й гармоники, причем максимумы для основной гармоники и для 3-й совпадают во времени

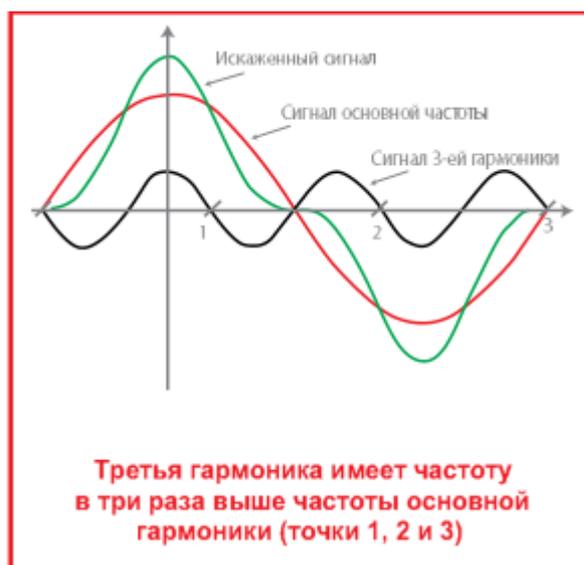


Рисунок 1.10 - 5я гармоника и сигнал искаженной формы

Сигнал 3-й гармоники имеют важную особенность: его частота кратна сигналу основной гармоники (в электрических градусах), и он относится к сигналам нулевой последовательности. Поэтому в трехфазных четырехпроводной системе, входом которой являются три фазы, ток гармоники протекает в нулевом проводе. То же самое касается 6-й, 9-й и т.д. гармоник.

На рисунке 1.11 показана 5я гармоника и сигнал искаженной формы. Максимальное значение искаженного сигнала равно графической сумме сигнала основной частоты и гармонических составляющих.

Как было рассмотрено ранее, на один период сигнала основной частоты приходится пять периодов сигнала 5й гармоники, причем максимумы основной гармоники и 5й гармоники, совпадают во времени.

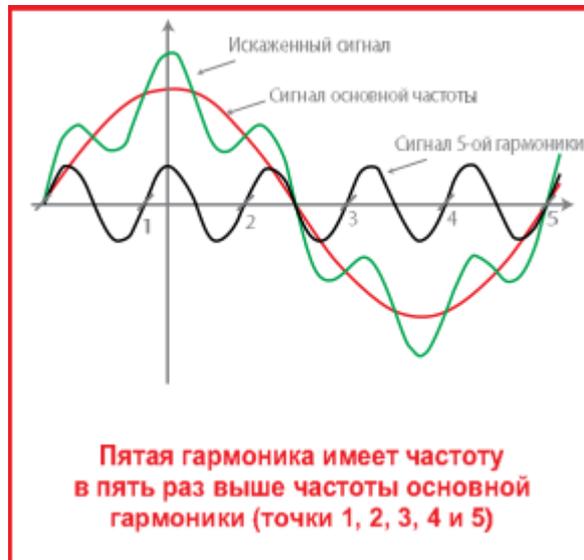


Рисунок 1.11. 5я гармоника и сигнал искаженной формы

В отличие от 3й гармоники, 5я гармоника не является кратной (в электрических градусах) сигналу основной частоты, поэтому с частотой гармоники протекают по фазам и оказывают влияние на конденсаторы и трехфазную систему, так же как 7я, 11я и т.д. Ниже приводятся спектральные составы напряжений и токов по результатам инструментального обследования параметров электропотребления подстанций

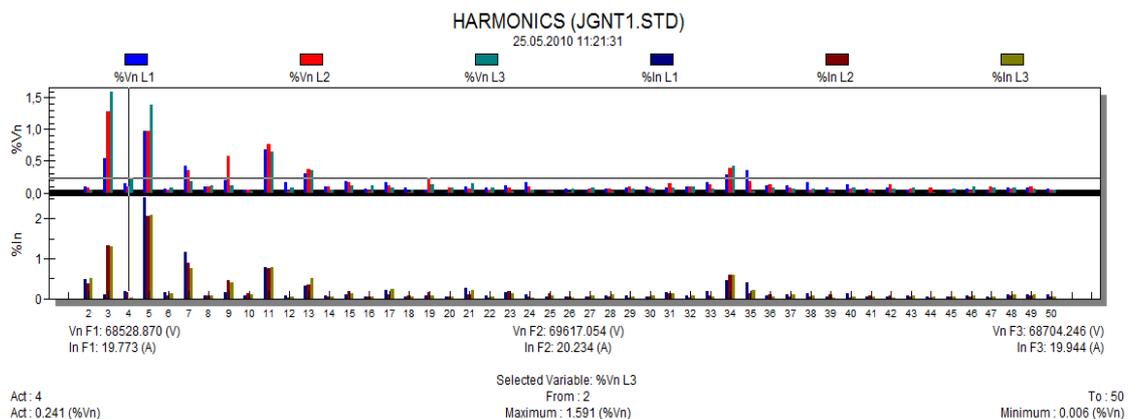


Рисунок 1.12 - Гармонический состав тока и напряжения

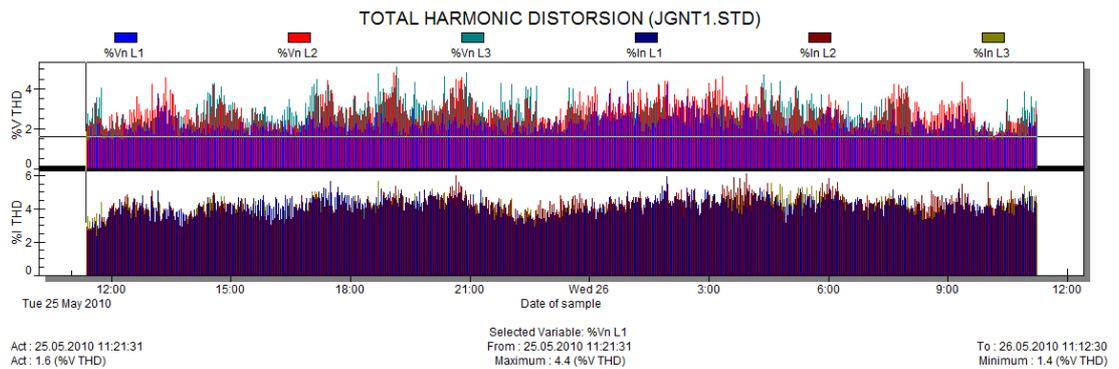


Рисунок 1.13 - Суммарный коэффициент гармонических искажений THD- $U$ -THD $_I$

Как видно из рисунка 1.12 3я гармоника 3й фазы превышает значению, установленному по ГОСТу[14].

#### 1.4.1. Гармонический резонанс

Явления резонанса возникает при равенстве емкостного и индуктивного реактивных сопротивлений  $X_L = X_C$  в параллельной или последовательной цепи с нелинейными нагрузками, конденсаторами или индуктивными нагрузками.

$$\left. \begin{array}{l} X_L = \omega \cdot L \\ X_C = 1 / \omega \cdot C \end{array} \right\} \Rightarrow \omega \cdot L = \frac{1}{\omega \cdot C} \quad (1.4.1)$$

Значения частоты, на которой имеет место равенство емкостного и индуктивного реактивных сопротивлений, называется резонансной частотой  $f_R$ .

$$\omega_R = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}} \Rightarrow 2 \cdot \pi \cdot f_R = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}} \Rightarrow f_R = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}} \quad (1.4.2)$$

Оба реактивных сопротивления зависят от частоты ( $f$ ), но индуктивное сопротивление  $X_L$  имеет прямо пропорциональную зависимость, тогда как емкостное сопротивление  $X_C$  обратно пропорционально частоте. Поэтому с ростом частоты значение реактивного емкостного сопротивления  $X_C$  уменьшается, а реактивного индуктивного сопротивления  $X_L$  увеличивается.

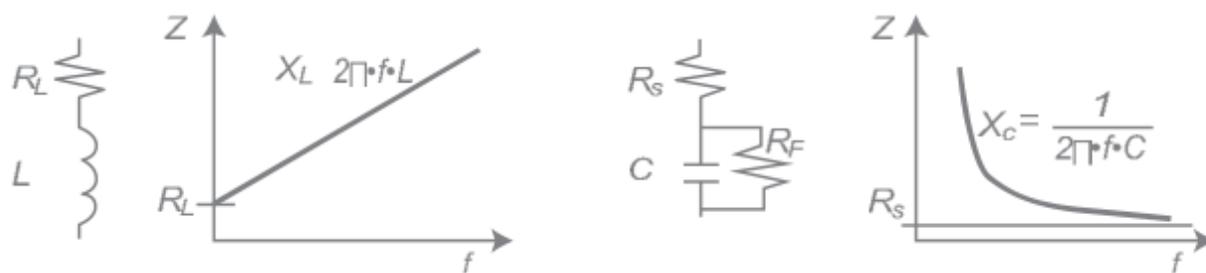


Рисунок 1.4.1.1 Реактивное сопротивление катушки индуктивности и реактивное сопротивление конденсатора.

Обычно конденсаторы в промышленных установках соединены параллельно. Такая схема выполняет роль делителя тока, и если значения емкостного сопротивления  $X_c$  будет наименьшим, большая часть тока будет протекать через конденсаторы. Именно это может стать причиной повреждения конденсаторов.

#### Параллельный резонанс

Резонанс в параллельной LC –цепи наступает, когда результирующий ток и напряжения совпадают по фазе. Это происходит при определенном значении частоты, называемом «резонансной частотой», например на частоте  $\omega_R=150$  Гц (частота 3й гармоники). Эта цепь имеет индуктивный характер при  $\omega < \omega_R$ , при этом ток отстает по фазе, т.е. напряжение будет опережать ток. Если цепь имеет емкостной характер  $\omega > \omega_R$ , то ток будет опережать напряжение.

В LC цепи, результирующий ток катушки индуктивности равен току конденсатора, но противоположен ему по знаку, поэтому и алгебраическое и векторное суммирование дают в результате максимальное значение сопротивления и нулевое значение суммарного тока.

В этих условиях ток в обеих ветвях LC цепи будет слишком большим, что очень опасно для конденсатора, поскольку значение его емкостного сопротивления будет наименьшим.

При наличии гармонических искажений для защиты конденсаторов можно использовать пассивный фильтр. Задача заграждающего пассивного

фильтра состоит в предотвращении усиления преобладающей гармоники (главным образом, 5й гармоники тока и напряжения), а также воспрепятствование параллельному резонансу между индуктивной нагрузкой и конденсаторами, чтобы избежать перегрузок и возможного повреждения автоматической батареи конденсаторов, компенсирующей реактивную мощность.

Фильтр имеет каскадную структуру, предварительно рассчитывается и настраивается, и состоит из:

- Трех однофазных катушек индуктивности
- Трех однофазных конденсаторов требуемой мощности

Различные LC цепи образует автоматически управляемую батарею конденсаторов, которая выступает в роли полноценного фильтра, выполняя задачу компенсации коэффициента мощности, причем суммарная мощность фильтра равна сумме мощностей всех его ветвей.

### **1.5. Основные мероприятия по сокращению технологических потерь**

Мероприятий бывает организационными и техническими.

Существует ряд организационных мероприятий, направленных на поддержание оптимального режима схемы, такие, как:

- повышение уровня рабочего напряжения в сети
- управление потоками мощности в неоднородных сетях
- выравнивание графиков нагрузок
- оптимизация режимов работы трансформаторов
- оптимальное распределение активной мощности между электростанциями
- размыкание замкнутых сетей в оптимальных точках
- оптимизация режимов реактивной мощности

- выравнивание нагрузок фаз в сетях 0.4 кВ
- Дорогостоящим техническим мероприятием является:
- установка устройств принудительного распределения мощности в замкнутых неоднородных сетях (ВДТ, ЛРТ, УПК)
- установка устройств компенсации реактивной мощности
- децентрализация генераторных мощностей
- применение накопителей энергии, оптимизация замены проводов ВЛ распределительных сетей
- замена перегруженных и недогруженных трансформаторов
- применение СИП для ВЛ. 0.4-10 кВ
- применение столбовых трансформаторов малой мощности для снижения протяжённости потерь в сетях 0,4 кВ.

Основным и наиболее эффективным мероприятием по снижению **технических потерь электроэнергии** является компенсация реактивной мощности в электрических сетях и у потребителей, а также ряд других мероприятий, которые окупаются в сроки, приемлемые для инвесторов программ снижения потерь.

### **Компенсация реактивной мощности**

При разработке схем развития 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 сети и на ее качество у потребителя. Батарея статистических конденсаторов в данном варианте установки является одновременно и элементом регулирования напряжения.

## **1.6 Выводы к главе 1.**

1. В настоящее время качество электрической энергии нормирует ГОСТ [14] , мониторинг и контроль устанавливает ГОСТ[15] , а методы измерения ПКЭ устанавливает ГОСТ [16]
2. Важно отметить, что гармонические составляющие нормируются только по напряжению, в тоже время они тоже негативно влияет на режим работы сети.

## Глава 2. Параметры многопроводной линии электропередачи

### 2.1 Воздушные линии электропередачи

Известно, что после повышения генераторного напряжения с помощью трансформаторов, электрическая энергия передается по линиям электропередачи. Существуют кабельные и воздушные линии для передачи электрической энергии.

Важнейшие характеристики воздушных линии (ВЛ) электропередачи

- Длина пролета (расстояния между соседними опорами)
- Наибольшая стрела провеса провода в пролете
- Габарит воздушной линии
- Длина гирлянды изоляторов
- Расстояния между соседними проводами (фазами) линии
- Полная высота опоры

Воздушную линию можно называть устройством для передачи электрической энергии по проводам. Воздушные линии конструируются на открытом воздухе, и они прикрепляются к опорам с помощью изоляторов. На рисунке 2.1 можно увидеть часть ВЛ.

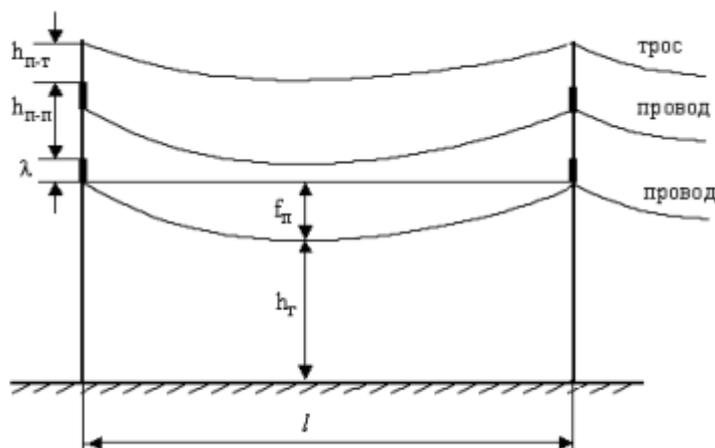


Рисунок 2.1 - Фрагмент воздушной линии

где  $l$ - разность между соседних опор (пролет).

$f_{\text{п}}$ - стрела провеса провода расстояния по вертикали между прямой линией, соединяющий точки подвеса провода и низшей точкой его провисания.

$h_{\text{г}}$ - габарит воздушной линии расстояния от низшей точки провисания провода до земли.

$\lambda$ - длина гирлянды изоляторов

$h_{\text{п-п}}$ - расстояния между проводами соседних фаз

$h_{\text{п-т}}$ - расстояния между точками подвеса верхнего провода и троса

Провода ВЛ. служат непосредственно для передачи электроэнергии и различаются по конструкции и используемому проводниковому материалу. Алюминий является самым дешевым и оптимальным вариантом для проводов ВЛ. Воздушные линии электропередачи бывают:

- Однопроволочные;
- Многопроволочные;
- Многопроволочные из 1-го сплава (монометаллические);
- Многопроволочные из 2-ух металлов;
- Самонесущие изолированные.

На рисунке 2.2 показано конструкции неизолрированных проводов ВЛ.

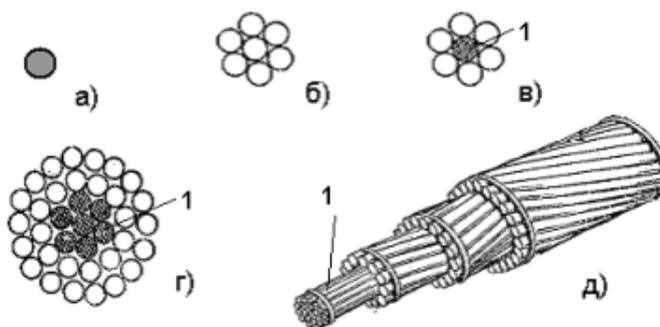


Рисунок 2.2 - Конструкции неизолрированных проводов ВЛ.

### 2.1.1. Грозозащитный трос.

Для защиты воздушных линии от погодных перенапряжений, возникающий при грозовых разрядах в ВЛ или вблизи нее, применяют грозозащитные тросы.

Грозозащитный трос- заземленный протяженный молниеотвод, натянутый вдоль воздушной линии электропередачи. В свойстве грозозащитных кабель-тросов могут использоваться металлические канаты. Стальные канаты обычно означают буквой С и числовыми единицами, эти цифры показывают их сечения. Смотря на расположению, суммированного числа проводов на опорах ВЛ, сопротивления грунта, класса напряжения , необходимой степени грозозащиты монтирует 1 либо несколько тросов. Высота подвески канатов молниезащиты определяется в зависимости от угла защиты, то есть угол между вертикальной линией, проходящей через грозатрос , и линией, соединяющий с крайним проводом; угол может изменяться широких пределах.

Обычно если, напряжения воздушные линии низкие (до 20кВ), то грозозащитные тросы не используется. Грозозащитные тросы устанавливаются на линиях напряжением 35 кВ и выше. Линии 110кВ и выше на металлических и железобетонных опорах защищают тросом на всем протяжении.

Подвеска тросов осуществляется на тросостойках, выполняемых в виде пространственных конструкций типа усеченной пирамиды. Положение троса на опоре по условиям грозозащиты определяется величиной угла защиты проводов тросом –  $\alpha$ . Линии со смешанным способом подвеса проводов защищаются одним тросом, а линии с горизонтальным подвесом проводов – двумя, как показано на рисунке 2.3

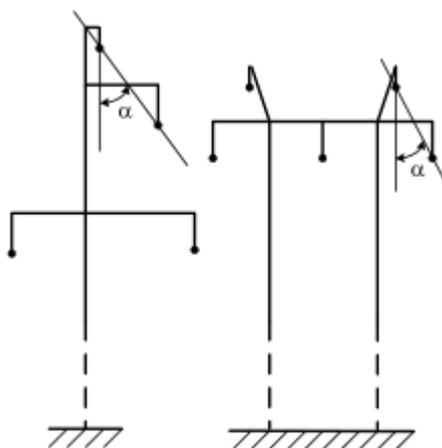


Рисунок 2.3. Расположения тросов на опорах

На каждом анкерном участке до 10 км тросы должны быть заземлены в одной точке путем устройства специальных перемычек на анкерной опоре. При большей длине анкерных пролетов количество точек заземления в пролете выбирается таким, чтобы при наибольшем значении продольной электродвижущей силы, наводимой в тросе при коротком замыкании (КЗ) на ВЛ, не происходил пробой ИП [1].

### 2.1.2. Опоры воздушной линии электропередачи

Для удержания проводов и грозозащитных тросов воздушной линии электропередачи на заданном расстоянии от поверхности земли служат опоры воздушной линии электропередачи. Опоры воздушной линии классифицируют по назначению.

**Анкерные опоры** предназначены для поддержания проводов, тросов и для преодоления сооружений или рельефные преграды. Анкерные опоры устанавливаются на прямых участках ВЛ и они воспринимают основную продольную нагрузку от тяжения проводов и тросов. Конструкция анкерных опор отличаются жесткостью и прочностью.

**Промежуточные опоры** составляют около 80 - 90 % опор ВЛ. Они служат, чтобы поддержать проводов и тросов и конструируются на прямых участках ВЛ. Такие опоры не рассчитаны от тяжения проводов вдоль линии.

**Концевые опоры** – являются опорами анкерного типа и устанавливаются под самый конец и в начале линии. Концевые опоры воспринимают нагрузку от одностороннего тяжения проводов и тросов при нормальных условиях работы ВЛ

**Угловые опоры** – предназначены для изменения направления воздушные линии электропередачи. Угловые опоры устанавливаются в тех местах, где нужно изменить направления линии. Они воспринимают равнодействующую сил натяжения проводов и тросов смежных пролетов при нормальных условиях работы. Если, угол поворота маленький тогда устанавливаются промежуточные угловые опоры.

Существует еще специальные опоры, и они бывают:

- Ответвительные;
- Повышенные;
- Транспозиционные;

Ответвительные опоры это опоры предназначены для ответвления линии электропередачи

Повышенные опоры если пролет большой, то тогда используется повышенные опоры. Если при стройке ЛЭП придется, сделать переход через широкие реки тут используется такие опоры.

Транспозиционные опоры

Несимметричное расположение проводов на опорах, а оно таковым является в абсолютном большинстве случаев, при большой длине ВЛ приводит к несимметрии токов и напряжений фаз. В таком случае несимметрия фаз

устраняется путем изменения взаимного расположения проводов на опоре, т.е. транспозиции. Транспозицию необходимо осуществлять на ВЛ напряжением 110 кВ и выше длиной более 100 км на специальных транспозиционных опорах. Провод каждой фазы проходит первую треть длины ВЛ на одном месте, вторую треть – на другом и третью – на третьем. Такое размещение проводов называется полным циклом транспозиции [3]. Можно отметить, что ВЛ напряжением 110 кВ редко достигают длины 100 км.

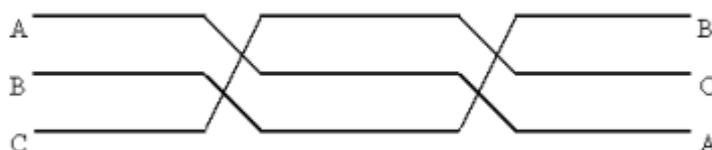


Рисунок 2.4 - Транспозиция проводов (полный цикл)

## 2.2 Кабельные линии электропередачи

Для передачи и распределения электроэнергии наряду с воздушными линиями электропередачи применяют силовые кабельные линии.

Кабельные линии электропередачи (КЛ) – линия для передачи электроэнергии, состоящая из одного или нескольких параллельных кабелей с соединительными, стопорными и концевыми муфтами и крепежными деталями.

В кабельных системах высокого напряжения 110...500 кВ используются уже более тридцати лет кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ). За последнее десятилетие было предложено очень много эффективных улучшений и новые разработки для кабельных линий с изоляцией сшитого полиэтилена. Это позволило существенно снизить стоимость строительство кабельных линий. На современном этапе кабели сшитого полиэтилена могут спокойно конкурировать с воздушными линиями. Если, сравнить технический и экологический и даже экономический то они не уступают воздушным линиям. Достоинства СПЭ кабелей:

- Увеличивается строительная длина, а благодаря меньшему наружному диаметру сокращается количество барабанов, что уменьшает транспортные расходы;
- Меньшее количество соединений дает снижения затрат не только на сами муфты, но и на их монтаж, строительные и земляные работы;
- Облегчается установка благодаря меньшим размерам и меньшему весу кабелей;
- Уменьшается термическое расширения и сжатие;
- Улучшается экологичность благодаря меньшему количеству отходов на конце разделанной фазы, меньшему загрязнению в процессе производства и во время транспортировки и прокладки, более низкому электромагнитному полю.

В целом кабельные СПЭ – системы отвечают следующим экологическим требованиям:

- Меньшее количество материала для производства и меньший объем отходов по окончании срока службы благодаря уменьшению толщины изоляции;
- Пониженное электромагнитное поле по сравнению с ВЛ
- Нет необходимости технического обслуживании, что позитивно отражается как на затратах так и на экологии;
- Не выделяются в воздух или воду агрессивные вещества;
- Бесшумность.

### **2.3. Погонные параметры ВЛ с учетом их конструктивных особенностей**

Расчет режимов длинных линий высокого напряжения выполняется на основе известных из теории электрических цепей телеграфных уравнений [5,6,7,8,9]. Важной частью такого расчета является определение собственных и

взаимных погонных сопротивлений и проводимостей проводов, которые в общем виде выглядят как:

$$Z = r + jx$$

$$Y = g + jb,$$

где  $r, x$  – активное и индуктивное сопротивление линии;

$g, b$  – активная и емкостная проводимость линии.

Определение этих погонных параметров линии с высокой степенью точности выполняется на основе классических выражений с применением элементов матричного исчисления [10].

### **2.3.1. Погонное сопротивление линии ВЛ**

Индуктивное сопротивление линии зависит от магнитного поля, возникающего вокруг и внутри проводов линии. Магнитное поле каждого фазного провода наводит ЭДС в каждом проводе линии. И поскольку величина потокосцепления зависит от расстояния между проводами, то и ЭДС и, пропорциональное ему индуктивное сопротивление линии зависят от взаимного расположения проводов. Если провода расположены симметрично на одинаковом расстоянии друг от друга, то обеспечиваются одинаковые потокосцепления каждого провода, одинаковые величины наводимых ЭДС и одинаковые индуктивные сопротивления.

В реальных электрических сетях расстояние между фазными проводами различное, зависящее от расположения проводов (горизонтальное, вертикальное и др.). Транспозицией проводов обеспечивается симметрирование наводимых ЭДС и, следовательно, индуктивных сопротивлений.

Принято считать, что собственной индуктивностью фазы является индуктивность петли «провод – земля». При этом за исходное можно принять

полное погонное сопротивление линии «провод – земля», определяемое по формуле Карсона (Ом/км):

$$\dot{z} = r_{II} + (\pi^2 f + j \cdot 29 f \lg \frac{0,178}{\rho \sqrt{f \gamma \cdot 10^{-9}}}) 10^{-4} \quad (2.1)$$

где  $r_{II}$  - погонное активное сопротивление провода;

$f$  – частота тока в линии;

$\rho$  – эквивалентный радиус провода в предположении поверхностного распределения тока (при замене внутреннего поля внешним);

$\gamma$  – удельная проводимость грунта.

Для стандартной частоты  $f = 50$  Гц из формулы (2.1) можно получить следующую формулу для определения полного сопротивления эквивалентной двухпроводной линии:

$$\dot{z} = r_{II} + 0,05 + j0,145 \lg \frac{D_3}{\rho}, \quad (2.2)$$

где  $D_3 = 938 \text{ м} \approx 1000 \text{ м}$  – глубина прохождения эквивалентного тока земли при условии замены ее обратным проводом того же эквивалентного радиуса, м;

$\rho$  – для нерасщепленной фазы равняется радиусу провода.

Если фаза расщеплена (для уменьшения потерь на корону) то ее радиус расщепленной фазы заменяют некоторым эквивалентным радиусом, рассчитываемым по формуле

$$R_{\text{э}} = \sqrt[N]{\frac{D_{\text{ИП}}}{2} \cdot \prod_{i=2}^N a_{1i}} \quad (2.3)$$

где  $a_{ij}$  -расстояния от одного провода фаз от остальных.

Для определения эквивалентного радиуса расщепленной фазы при расположении проводов по вершинам правильного многоугольника выражение (2.3) можно привести к виду

$$R_{\Sigma} = \sqrt[N]{\frac{D_{\text{ПП}}}{2} \cdot N \cdot \rho_{\phi}^{N-1}} = \rho_{\phi}^N \cdot \sqrt[N]{\frac{D_{\text{ПП}}}{2} \cdot \frac{N}{\rho_{\phi}}} \quad (2.4)$$

где  $\rho_{\phi}$  -радиус описанной вокруг расщепленного провода окружности, рассчитываемый по формуле

$$\rho_{\phi} = \frac{a}{2 \sin\left(\frac{\pi}{N}\right)} \quad (2.5)$$

где  $a$  – расстояние между соседними проводами.

Поскольку прохождение тока в земле связано с потерей активной мощности в ней, то вполне естественно, что наряду с достаточно большим индуктивным сопротивлением цепи обнаруживается некоторое дополнительное активное сопротивление (0,05 Ом/км).

Под взаимной индуктивностью обычно понимается величина взаимной индуктивности между петлями «провод-земля». При этом погонное сопротивление взаимной индукции между фазами  $i$  и  $j$  определяется:

$$x_{\text{м}} = x_{ij} = \omega L_{ij} = 0,14511 \text{г} \frac{D_{\text{з}}}{D_{ij}}. \quad (2.6)$$

Погонное индуктивное сопротивление линии, включающее в себя собственные индуктивности проводов (тросов) и взаимные индуктивности между проводами (и тросами), определяется исходя из следующего равенства (пример для одноцепной ВЛ с грозозащитным тросом):

$$\frac{D_3}{D_{ij}} \begin{vmatrix} \frac{D_3}{\rho_{II}} & \frac{D_3}{D_{ab}} & \frac{D_3}{D_{ac}} & \frac{D_3}{D_{at}} \\ \frac{D_3}{D_{ab}} & \frac{D_3}{\rho_{II}} & \frac{D_3}{D_{bc}} & \frac{D_3}{D_{bt}} \\ \frac{D_3}{D_{ac}} & \frac{D_3}{D_{bc}} & \frac{D_3}{\rho_{II}} & \frac{D_3}{D_{ct}} \\ \frac{D_3}{D_{at}} & \frac{D_3}{D_{bt}} & \frac{D_3}{D_{ct}} & \frac{D_3}{\rho_t} \end{vmatrix}$$

где  $D_{ij}$  -расстояние между проводами фаз (в т.ч. тросом)

Величина индуктивного сопротивления на частотах высшего порядка определяется умножением правой части уравнения (2.6) на номер гармоники

Расчет активного сопротивления проводов и тросов необходимо производить для каждой гармоники отдельно, так как при повышенных частотах переменного тока проявляется поверхностный эффект, причиной появления которого вихревые токи, возникающие в материале провода под действием переменного электромагнитного поля повышенной частоты.

В соответствии с рекомендациями [3, 28] влияние поверхностного эффекта проявляется с увеличением активного сопротивления провода, таблица 2.1

Таблица 2.1 - Формулы определения активного сопротивления провода в зависимости от  $\chi$

| -          | $\chi < 1$                   | $\chi > 1$                           | $\chi > 30$                                       |
|------------|------------------------------|--------------------------------------|---|
| $r_{II} =$ | $r_0 \cdot (1 + \chi^{4/3})$ | $r_0 \cdot (\chi + 0,25 + 3/64\chi)$ | $r_0 \cdot (\chi + 0,265) \approx r_0 \cdot \chi$ |

Величину  $\chi$  можно определить по формуле:

$$\chi = \frac{R}{2} \sqrt{\omega \mu \gamma / 2}, \quad (2.7)$$

где  $R$  – радиус провода,  $\omega$  – круговая частота,  $\mu$ ,  $\gamma$  – магнитная проницаемость материала и его проводимость, определяемые из справочных материалов.

### 2.3.2 Погонная емкостная проводимость ВЛ

На участке холостой линии с приложенным к фазам напряжением наблюдается увеличение реактивной мощности и потери активной мощности. Поэтому считается, что любой участок воздушной линии обладает некоторой погонной проводимостью.

$$y = g + jb_c \quad (2.3)$$

В сетях сверхвысоких номинальных напряжений влияние емкостных проводимостей воздушных линии оказывается достаточно большим. По этому требуется определения этих параметров с достаточной точностью. В частности, необходим учет влияния близости земли. Для определения емкостных проводимостей нужно найти потенциальные коэффициенты, которые аналогично входным сопротивлением некоторой многоузловой схемы.

Для определения емкостных проводимостей с учетом влияния земли можно за исходное принят выражение для вычисления емкости двухпроводной линии. Как известно, емкость системы «провод-земля» легко определяется, если землю заменить зеркально отраженным проводом. При этом емкость, обусловленная электрическим полем, возникающим между проводом и землей, определяется как емкость одного из двух последовательно соединенных конденсаторов вместо соответствующих емкостей системы из двух проводов. (рисунок 2.3.2)

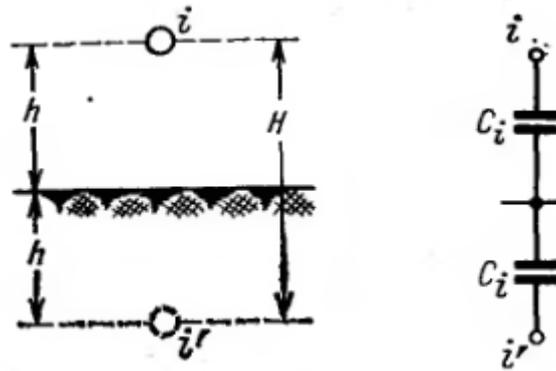


Рисунок 2.3.2 - Схема определения емкости системы «провод-земля»

Следовательно, емкость системы «провод – земля» определяется:

$$p = c \lg \begin{vmatrix} \frac{H_{aa}}{\rho_n} & \frac{H_{ab}}{D_{ab}} & \frac{H_{ac}}{D_{ac}} \\ \frac{H_{ab}}{D_{ab}} & \frac{H_{bb}}{\rho_n} & \frac{H_{bc}}{D_{bc}} \\ \frac{H_{ac}}{D_{ac}} & \frac{H_{bc}}{D_{bc}} & \frac{H_{cc}}{\rho_n} \end{vmatrix} \quad (2.3.5)$$

Где  $H_{ij}$ - расстояние между проводом и его зеркальным отражением относительно поверхности земли;  $\rho_n$ - внешний радиус поперечного сечения провода;  $c$  – постоянный коэффициент,  $c=41,4 \cdot 10^6$ , км/Ф

С учетом провеса провода воздушной линии следует принимать:

$$H = 2\left(h + \frac{f}{3}\right) \quad (2.3.2)$$

Где  $h$ - расстояние провода от земли;  $f$ - стрела провеса провода в пролете.

Влияние одного заряженного провода  $i$  на потенциал другого провода  $j$ , подвешенного параллельно первому, определяется следующей величиной:

$$C_{ij} = \frac{1}{c \lg \frac{H_{ij}}{D_{ij}}} \quad (2.3.3)$$

Где  $D_{ij}$  расстояние между проводами  $i$  и  $j$ ;  $H_{ij}$ - расстояние между проводом  $j$  и зеркально отраженным проводом  $i$ .

Система емкостных проводимостей для трехфазной линии с грозозащитным тросом определяется:

$$b_c = \omega C = \omega p^{-1} \quad (2.3.4)$$

где  $p$  для одноцепной трехпроводной ВЛ с грозозащитным тросом.

$$p = c \lg \begin{vmatrix} \frac{H_{aa}}{\rho_n} & \frac{H_{ab}}{D_{ab}} & \frac{H_{ac}}{D_{ac}} \\ \frac{H_{ab}}{D_{ab}} & \frac{H_{bb}}{\rho_n} & \frac{H_{bc}}{D_{bc}} \\ \frac{H_{ac}}{D_{ac}} & \frac{H_{bc}}{D_{bc}} & \frac{H_{cc}}{\rho_n} \end{vmatrix} \quad (2.3.5)$$

Матрица потенциальных коэффициентов.

Матрицы  $p$  и  $C$  – квадратные порядка  $n$  ( $n$ - число проводов), симметричные, неособенные. Наибольшими получаются элементы этих матриц, расположенные на главной диагонали, так как

$$\rho_n \ll D_{ij}$$

В случае применения расщепленных проводов допустимым можно считать приближенное решение. Поскольку внешний радиус проводов значительно меньше шага расщепления  $d$ , а последний значительно меньше расстояний  $D_{ij}$  между проводами разных фаз

$$\rho_n \ll d \ll D_{ij}$$

То фазы, можно рассматривать в целом, предполагая, что потенциалы проводов в каждой фазы одинаковы и заряды распределяются между ними поровну. При этом каждую фазу можно представит одним проводом эквивалентного радиуса  $\rho_3$ . правила определения этого эквивалентного радиуса

получается такими же, как и для случая вычисления индуктивного сопротивления, по формуле

$$\rho_3 = \sqrt[n]{\rho_n \prod_{i=2}^n d_{li}} \quad (2.3.6)$$

Разница получается только в том, что здесь  $\rho_n$  – внешний радиус каждого провода в фазе (а не приведенный)

### 2.3.3 Погонная активная проводимость ВЛ

Затраты активной мощности на ионизацию воздуха (потери мощности на корону  $-\Delta P_{\text{коро}}$ ) учитываются введением активной проводимости линии ( $g$ ). Погонное значение определяется по среднегодовым значениям потерь мощности на корону ( $P_{\text{коро}}$ ) и номинальному напряжению линии согласно

$$g_0 = \frac{\Delta P_{\text{коро}0}}{U_{\text{ном}}^2} \quad (2.3.7)$$

Значение  $\Delta P_{\text{коро}}$  определяется экспериментально для различных районов. У ВЛ с нерасщепленной фазой при напряжении 110 кВ и менее потери на корону пренебрежительно малы. Эти потери становятся заметной величиной в суммарных потерях активной мощности и требуют их учета в расчетах начиная с номинального напряжения 220 кВ. Для ВЛ 330 кВ среднегодовые потери на корону составляют 2-4 кВт/км, а у ВЛ 750 кВ ( $N=5$ ) достигают значений 9-16 кВт/км.

## 2.4. Погонные параметры кабельной линии с учетом ее конструктивных особенностей

Конструктивные отличия кабельной от воздушной линии в том, что токопроводящие жилы близко друг к другу. Кабельной линии существует твердая изоляция. Еще у кабельной линии имеются металлические экраны, и

оболочки они окружают каждую или все жилы кабеля, кроме того кабельные линии, как правило, работают при максимально допустимых или близких к ним температурах нагрева жил (до 85-90 °С), и пренебрежение их отличием от 20°С вносит заметную погрешность.

Индуктивность кабеля при других условиях прокладки рассчитывается по формуле:

$$L = 0,1 + 0,2 \ln \frac{h-r}{r}, \quad (2.4)$$

где  $L$  – индуктивность (мГн/км);

$h$  – расстояние между центрами жил кабеля, мм.,  $r$  – радиус жилы кабеля, мм.

Индуктивное сопротивление рассчитывается по формуле:

$$X_L = 2\pi f \cdot \frac{L}{1000}, \text{ Ом/км} \quad (2.4.1)$$

где  $X_L$  – индуктивное сопротивление. Ом/км;

$f$  – частота (Гц),  $L$  – индуктивность (мГн/км).

### **Глава 3. Математическая модель режимов многопроводной линии с учетом распределенности параметров.**

С помощью представленных выше уравнений можно проводить исследования режимов линий с различным количеством проводов и грозозащитных тросов (практически реализованная модель – до 8 проводов и тросов). Кроме того, на основе этих уравнений возможно исследование частотных свойств ВЛ различной длины и определение резонансных частот, определение потерь мощности, а при измерениях на суточных и более интервалах – потерь электрической энергии.

На основе уравнений (2.4.1) рассчитываются эпюры распределения напряжений и токов вдоль линии для всех гармонических составляющих, учитываемых в расчете. Расчет эпюр распределения напряжений и токов позволяет исследовать их изменение в зависимости от конструктивных особенностей, марки провода, и проводить соответствующие исследования потерь активной мощности в линии в условиях несимметрии и несинусоидальности [13].

Протекание гармонических процессов в сложных электрических сетях на сегодняшний день не изучено, и это препятствует расчету частотных характеристик и предсказанию условий возникновения резонансных частот в таких сетях. Концепция моделирования сложных электрических сетей с учетом распределенности параметров на гармониках высшего порядка в общих чертах описана, но практически она пока не была реализована. Однако на базе уже разработанной модели оказалось возможным рассчитывать и предсказывать условия возникновения резонансов в радиальных электрических сетях. Ниже следуют примеры расчета частотных характеристик ВЛ и экспериментальное подтверждение адекватности рассматриваемой математической модели путем расчета резонирующих частот в радиальной линии и их сравнения с измеренными входными частотными характеристиками радиальной ВЛ.

## Глава 4. Моделирование и анализ многопроводной линии электропередачи

Под частотными характеристиками ВЛ будем понимать зависимость входного сопротивления фаз линии от частоты приложенного напряжения. Величина этих проводимостей численно будет равна фазному току, возникающему в фазах линии под действием трехфазной симметричной системы напряжений единичной величины, приложенной к зажимам линии

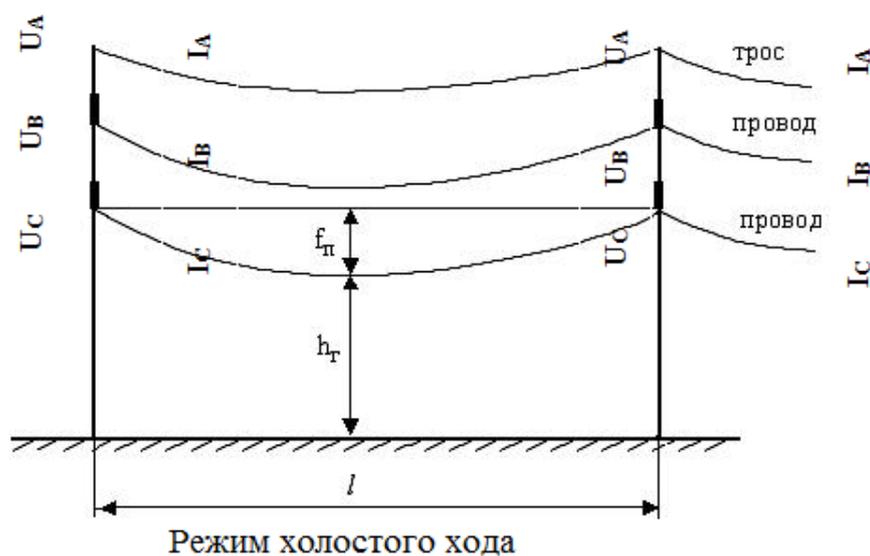


Рисунок 4.1.1 Постановка задачи

В начале линии напряжение известны, токи подлежат определению, в конце линии напряжение подлежит определению, токи известны и равны нулю. В приложение 3 предвиден текст программы.

После проведения реализации программного расчета осуществленного по алгоритму, на рисунке (4.1) продемонстрированы частотные характеристики кабельных и воздушных линий электропередачи, длиной 10,50,100 км.

## 4.1 Частотны характеристики входного сопротивления ВЛ

Ниже представлены графики входного сопротивления ВЛ.

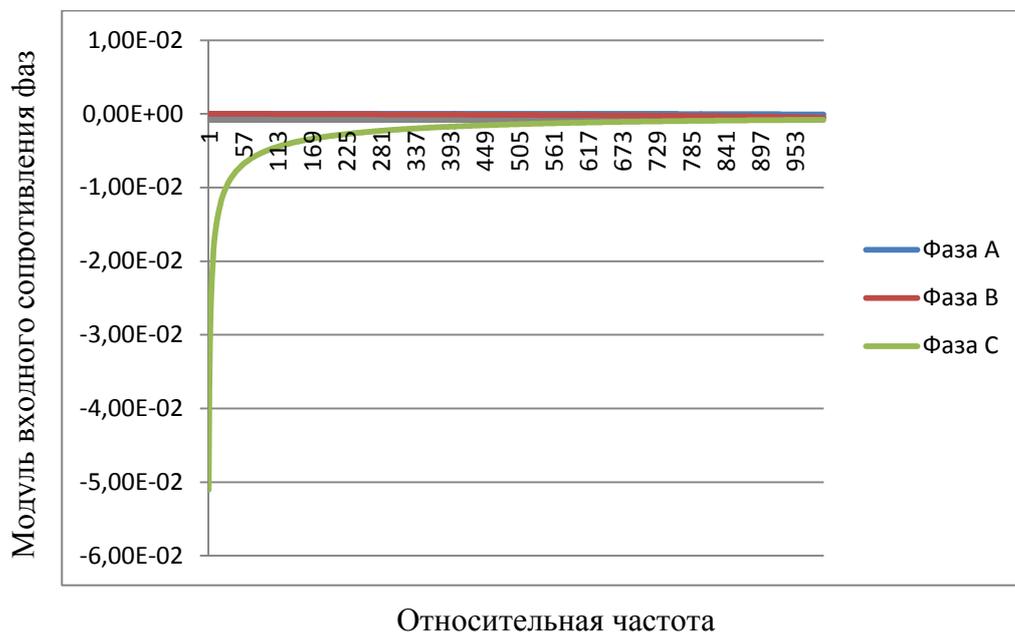


Рисунок 4.1. Частотные характеристики ВЛ длиной 10 км

Как видно из графика. Воздушной линии длиной 10 км резонансные частоты не наблюдаются.

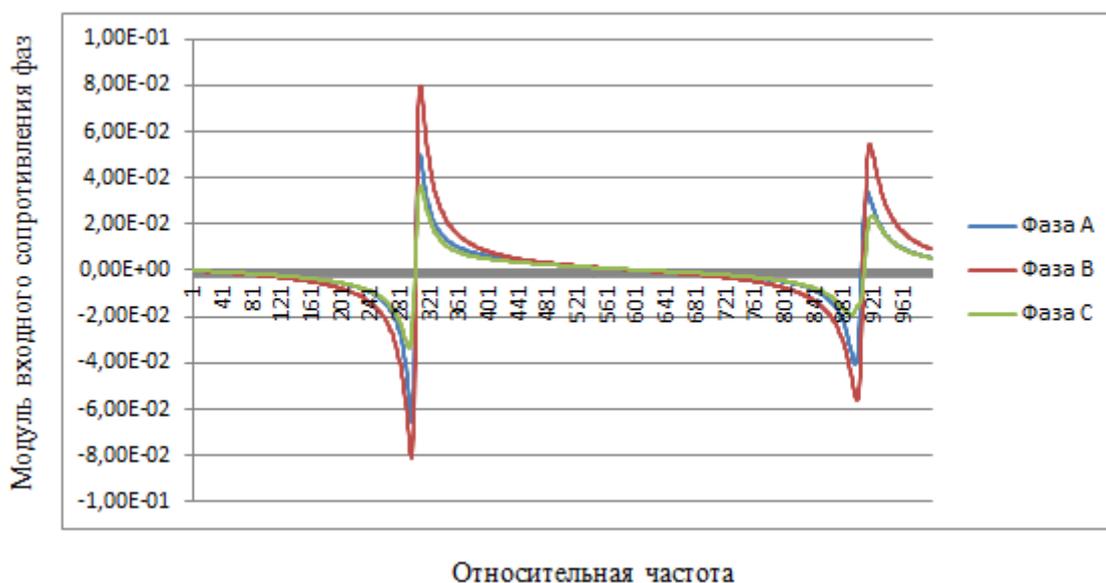


Рисунок 4.2 частотные характеристики линии длиной 50 км

На этом графике №4.2 видно, что появляются резонансные частоты. Длина линии 50 км марка провода АС120/19 на опоре П110-5В можно сказать, что с увеличением длины линии увеличиваются количество резонансных контуров.

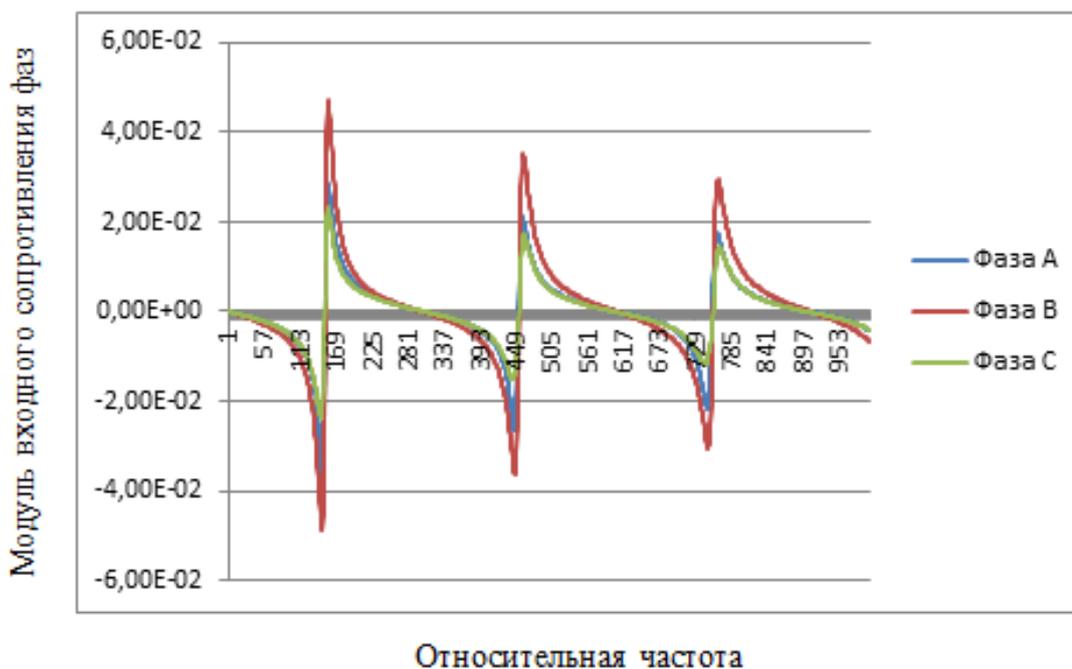


Рисунок 3. частотные характеристики ВЛ длиной 100 км

На этом графике представлены графики частотных характеристик линии протяженностью 100 км. Как видно на графике с увеличением длины линии увеличивается число резонансных контуров.

## 4.2 Частотны характеристики входного сопротивления КЛ

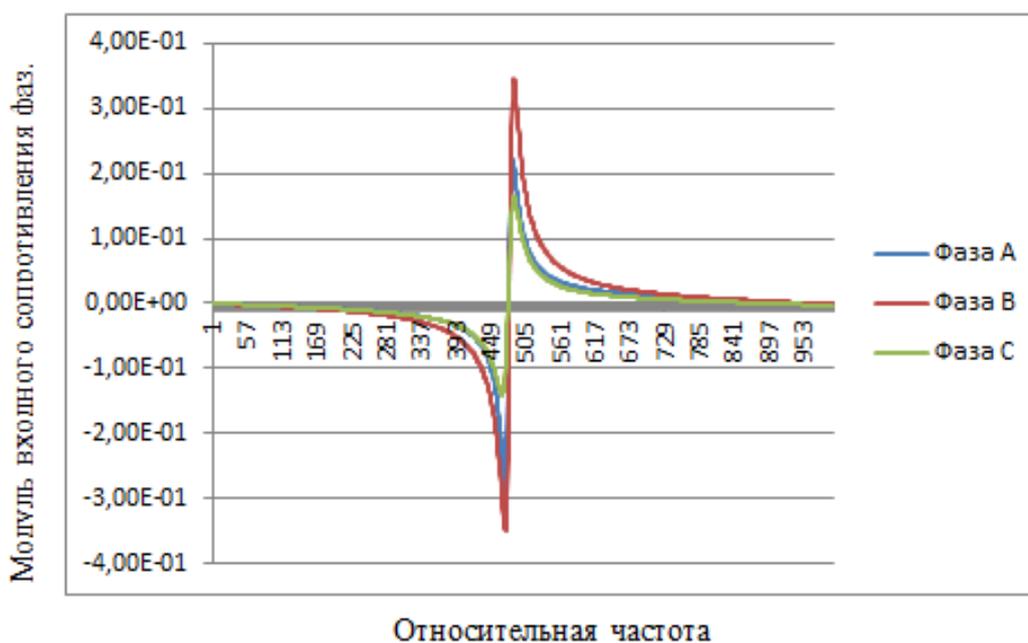


Рисунок 4.2.1 частотные характеристики КЛ длиной 10 км

На рисунке 4.2.1 показаны графики частотных характеристик кабельной линии. Длина линии 10 км, тип кабеля АПвП2г. В отличие от ВЛ, в КЛ явление резонанса проявляется уже на небольших расстояния.

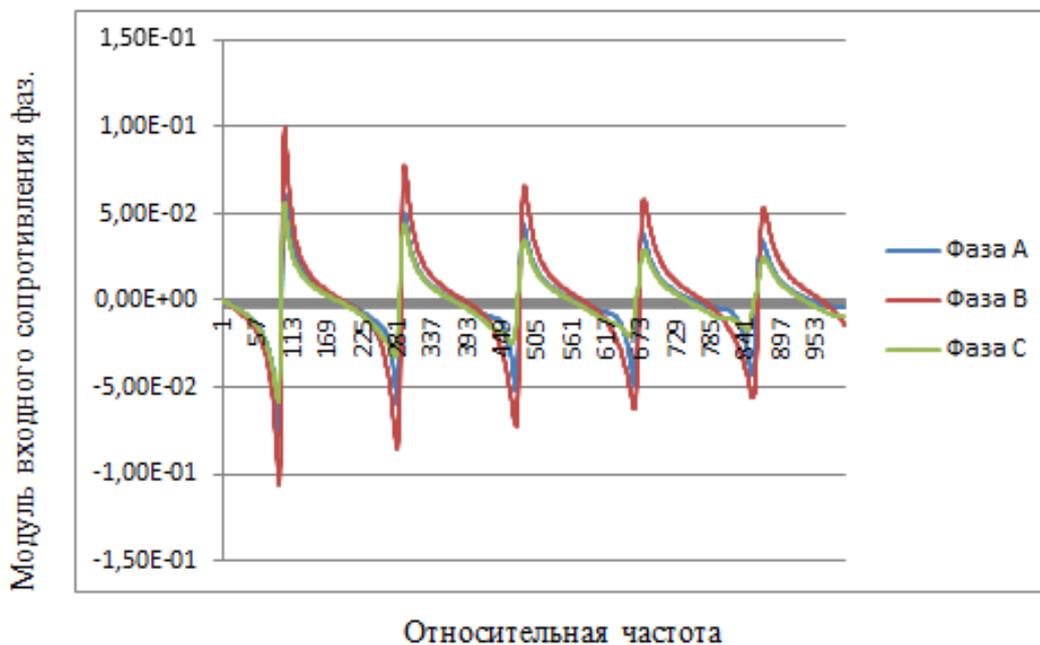


Рисунок 4.2.2. частотные характеристики КЛ длиной 50 км.

В КЛ, так же как и в ВЛ, с увеличением длины линии увеличивается число резонансных контуров, однако резонансные частоты наблюдаются в кабельной линии чаще, чем в ВЛ.

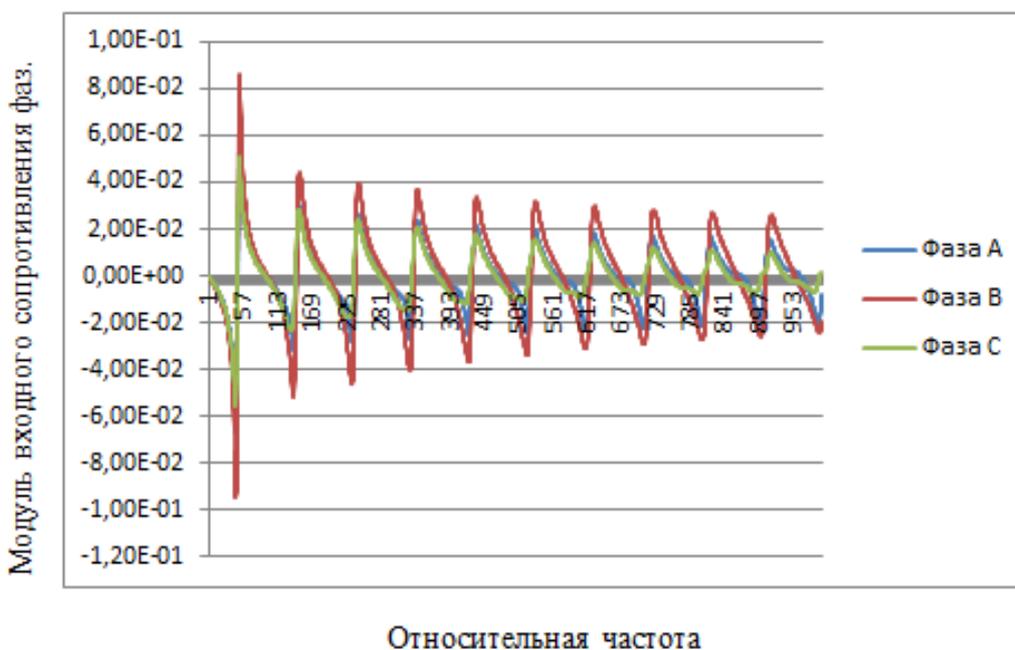


Рисунок 6. частотные характеристики КЛ длиной 100 км.

При длине КЛ 100 км интенсивность частотных характеристик сильно увеличиваются.

#### **Выводы к главе 4.**

Расчет частотных характеристик многопроводной линии был реализован в программе написанной на языке Fortran.

Для демонстрации влияния длины линии на ее частотные свойства представлен графики частотных характеристик ВЛ и КЛ длиной 10,50,100 км.

С помощью разработанной модели стало возможным моделирование ВЛ и КЛ ,различной длины, определение условий возникновения резонансов в существующих и проектируемых радиальных электрических сетях

Исследование частотных характеристик многопроводной линии электропередачи дает возможность моделировать проектируемых новых линий электропередачи и расчет существующих линий в научно-исследовательских целях

Это открывает возможность использовать ее для расчета и исследования частотных характеристик отдельных ВЛ, эпюр гармонических составляющих напряжений и токов всех гармоник, для исследования и расчета основных и добавочных потерь. В перспективе она может быть применена для моделирования сложных электрических сетей и решения аналогичных задач.

## **Глава 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

### **5.1. Структура работ в рамках проектирования**

Целью данной работы является, расчет материальных и трудовых ресурсов по написанию диссертации на тему «Оценивание показателей качества и добавочных потерь электроэнергии в распределительных сетях по результатам ограниченного объема инструментальных измерений».

Планирование комплекса предполагаемых работ производится в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения работ по проектированию формируется группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

В данном разделе мы составляем перечень этапов и работ в рамках проведения исследования, производим распределение работ. Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 5.1.

Таблица 5.1 - Перечень этапов, работ и распределение

| Основные этапы                   | № раб | Содержание работ   | Должность исполнителя |
|----------------------------------|-------|--|-----------------------|
| Разработка технического задания  | 1     | Составление и утверждение технического задания                               | Руководитель          |
| Выбор направления Исследований   | 2     | Подбор и изучение материалов по теме   | Студент               |
|                                  | 3     | Выбор направления исследований   | Студент               |
|                                  | 4     | Календарное планирование работ по теме                                       | Руководитель          |
| Теоретические исследования       | 5     | Анализ проблемы потерь электроэнергии  | Студент               |
|                                  | 6     | Изучение структуры и видов потерь электроэнергии                             | Студент               |
|                                  | 7     | Изучение методик расчета потерь электроэнергии                               | Студент               |
|                                  | 8     | Изучение высших гармонических составляющих тока и напряжения                 | Студент               |
|                                  | 9     | Изучение мероприятий по сокращению технологических потерь                    | Студент               |
| Обобщение и оценка результатов   | 10    | Оценка эффективности полученных результатов                                  | Руководитель          |
| Проведение вычислений и расчетов | 11    | Анализ инструментального обследования  | Студент               |
|                                  | 12    | Обработка данных полученных в результате инструментального обследования      | Студент               |
| Оформление отчета                | 13    | Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации) | Студент               |

### 5.1.1. Определение трудоемкости выполнения работ

Важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников проектирования.

Трудоемкость выполнения работ оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ож}$  используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (5.1)$$

где  $t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

### 5.1.2. Разработка графика проведения проектирования

Наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

**Диаграмма Ганта** – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (5.1.2)$$

где  $T_{\text{кал}}$  – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$  – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$  – количество праздничных дней в году.

Пример:

$$t_{ож1} = \frac{3 \cdot t_{\min 1} + 2 \cdot t_{\max 1}}{5} = \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 9}{5} = 5 \text{ чел. - дни,}$$

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{365}{365 - 118} = 1,47;$$

На основании таблицы 5.1.1 строится календарный план-график. График строится на основе таблице 5.1.2 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени дипломирования.

Таблица 5.1.1 - Временные показатели проведения научного исследования

| Название работы  | Трудоёмкость работ   |         |                      |         |                            |         | Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$ |         | Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$ |         |
|--|----------------------|---------|----------------------|---------|----------------------------|---------|--|---------|--|---------|
|  | $t_{\min}$ , чел-дни |         | $t_{\max}$ , чел-дни |         | $t_{\text{ожс}}$ , чел-дни |         | Руководитель                               | Инженер | Руководитель                                   | Инженер |
|  | Руководитель         | Инженер | Руководитель         | Инженер | Руководитель               | Инженер |  |         |  |         |
| Составление ТЗ   | 5                    |         | 10                   |         | 8                          |         | 5  |         | 8  |         |
| Подбор и изучение материалов по теме                         |                      | 10      |                      | 12      |                            | 11      |  | 8       |  | 9       |
| Выбор направления исследований                               |                      | 7       |                      | 12      |                            | 9       |  | 5       |  | 6       |
| Календарное планирование работ по теме                       | 10                   |         | 15                   |         | 12                         |         | 6  |         | 8  |         |
| Анализ проблемы потерь электроэнергии                        |                      | 8       |                      | 11      |                            | 9       |  | 6       |  | 8       |
| Изучение структуры и видов потерь электроэнергии             |                      | 5       |                      | 7       |                            | 6       |  | 5       |  | 6       |
| Изучение методик расчета потерь электроэнергии               |                      | 10      |                      | 14      |                            | 12      |  | 6       |  | 8       |
| Изучение высших гармонических составляющих тока и напряжения |                      | 9       |                      | 13      |                            | 11      |  | 7       |  | 9       |
| Изучение мероприятий по сокращению технологических потерь    |                      | 7       |                      | 11      |                            | 9       |  | 3       |  | 5       |
| Оценка эффективности полученных результатов                  | 6                    |         | 10                   |         | 8                          |         | 4  |         | 5  |         |
| Анализ инструментального обследования                        |                      | 8       |                      | 12      |                            | 10      |  | 6       |  | 9       |

|  |  |    |  |    |  |    |  |    |  |    |
|--|--|----|--|----|--|----|--|----|--|----|
| Обработка данных полученных в результате инструментального обследования      |  | 9  |  | 12 |  | 10 |  | 10 |  | 12 |
| Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации) |  | 10 |  | 12 |  | 11 |  | 7  |  | 9  |

Таблица 5.1.2 Календарный план-график проведения НТИ по теме

|   | Вид работ  | Исполнители  | кал<br>дн | Продолжительность выполнения |   |     |   |       |   |     |   |      |   |  |   |   |  |
|---|--|--------------|-----------|------------------------------|---|-----|---|-------|---|-----|---|------|---|--|---|---|--|
|   |  |              |           | Т. работ                     |   |     |   |       |   |     |   |      |   |  |   |   |  |
|   |  |              |           | ев                           |   | арт |   | прель |   | май |   | июнь |   |  |   |   |  |
|   | Составление ТЗ   | Руководитель |           | ■                            |   |     |   |       |   |     |   |      |   |  |   |   |  |
|   | Подбор и изучение материалов по теме   | Инженер      | 9         |                              | ▨ |     |   |       |   |     |   |      |   |  |   |   |  |
|   | Выбор направления исследований   | Инженер      | 6         |                              |   | ▨   |   |       |   |     |   |      |   |  |   |   |  |
|   | Календарное планирование работ по теме                                       | Руководитель | 8         |                              |   | ■   |   |       |   |     |   |      |   |  |   |   |  |
|   | Анализ проблемы потерь электроэнергии  | Инженер      | 8         |                              |   |     | ▨ |       |   |     |   |      |   |  |   |   |  |
|   | Изучение структуры и видов потерь электроэнергии                             | Инженер      | 6         |                              |   |     |   | ▨     |   |     |   |      |   |  |   |   |  |
|   | Изучение методик расчета потерь электроэнергии                               | Инженер      | 8         |                              |   |     |   |       | ▨ |     |   |      |   |  |   |   |  |
|   | Изучение высших гармонических составляющих тока и напряжения                 | Инженер      | 9         |                              |   |     |   |       |   | ▨   |   |      |   |  |   |   |  |
|   | Изучение мероприятий по сокращению технологических потерь                    | Инженер      | 5         |                              |   |     |   |       |   |     | ▨ |      |   |  |   |   |  |
| 0 | Оценка эффективности полученных результатов                                  | Руководитель | 5         |                              |   |     |   |       |   |     |   | ▨    |   |  |   |   |  |
| 1 | Анализ инструментального обследования  | Инженер      | 9         |                              |   |     |   |       |   |     |   |      | ▨ |  |   |   |  |
| 2 | Обработка данных полученных в результате инструментального обследования      | Инженер      | 12        |                              |   |     |   |       |   |     |   |      |   |  | ▨ |   |  |
| 3 | Составление пояснительной записки (эксплуатационно-технической документации) | Инженер      | 9         |                              |   |     |   |       |   |     |   |      |   |  |   | ▨ |  |

■ - Руководитель, ▨ Инженер

Итого длительность работ в календарных днях руководителя равняется 21 день, а инженера 81 день

## 5.2. Расчет материальных затрат НТИ

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносим в таблицу 5.2

Табл.5.2- Материальные затраты

| Наименование      | Единица измерения | Количество | Цена за ед., руб. | Затраты на материалы, (З <sub>м</sub> ), руб. |
|-------------------|-------------------|------------|-------------------|---|
| Тетрадь           | Штука             | 1          | 60                | 60  |
| Ручка             | Штука             | 1          | 30                | 30  |
| Бумага формата А4 | Упаковка          | 1          | 200               | 200   |
| Картридж          | Штука             | 1          | 600               | 600   |
| <b>Итого</b>      |                   |            |                   | <b>890</b>                                    |

### 5.2.1 Основная заработная плата исполнителей темы

В данную статью входит основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме проектирования. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20 –30 % от тарифа или оклада. Расчет основной заработной платы приведен в таблице 8.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НТИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (5.2)$$

где  $Z_{осн}$  – основная заработная плата;

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ( $Z_{осн}$ ) руководителя рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}}, \quad (5.2.1)$$

где  $Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата одного работника;

$T_{\text{раб}}$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб.дн.

$Z_{\text{дн}}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле

$$Z_{\text{дн}} = (Z_{\text{м}} \cdot M) / F_{\text{д}}, \quad (5.2.2)$$

где  $Z_{\text{м}}$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

– при отпуске в 24 раб.дня  $M=11,2$  месяца, 5-дневная неделя;

– при отпуске в 48 раб.дней  $M=10,4$  месяца, 6-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб.дн.

В таблице 5.2 представлен баланс рабочего времени.

Таблица 5.2. Баланс рабочего времени

| Показатели рабочего времени                  | Руководитель | Студент |
|--|--------------|---------|
| Календарное число дней                       | 365          | 365     |
| Количество нерабочих дней:                   |              |         |
| – выходные дни;                              | 52           | 104     |
| – праздничные дни                            | 14           | 14      |
| Потери рабочего времени:                     |              |         |
| – отпуск;                                    | 48           | 24      |
| – невыходы по болезни                        | –            | –       |
| Действительный годовой фонд рабочего времени | 251          | 223     |

Студент во время прохождения преддипломной практики получает стипендию, равную 2783 руб/месяц. Среднедневная стипендия (оплата) составляет:

$$Z_{\text{дн}} = (2783 \cdot 11,2) / 223 = 139,8 \text{ руб/день.}$$

Основной заработок студента за время преддипломной практики составляет:

$$Z_{\text{оснстуд}} = 254,6 \cdot 109 = 15238,2 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата научного руководителя рассчитывается на основании отраслевой оплаты труда. Отраслевая система оплаты труда в ТПУ предполагает следующий состав заработной платы:

- оклад – определяется предприятием. В ТПУ оклады распределены в соответствии с занимаемыми должностями, например, ассистент, ст. преподаватель, доцент, профессор.
- стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т.д.
- иные выплаты: районный коэффициент.

Руководителем данной научно-исследовательской работы является профессор, доктор технических наук. Оклад составляет 23264 рубля.

Надбавки к заработной плате составляют 1,4 (премиальный коэффициент), также районный коэффициент по Томску равен 1,3.

Основная заработная плата научного руководителя:

$$Z_{\text{осн}} = 23264 \cdot (1+0,4+0,3) = 39548,8 \text{ руб / месяц.}$$

Среднедневная заработная плата научного руководителя:

$$Z_{\text{дн}} = (39548,8 \cdot 10,4) / 251 = 1638,7 \text{ руб / день.}$$

### **Дополнительная заработная плата**

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий и компенсаций.

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot Z_{\text{осн}} \quad (5.2.3)$$

где  $Z_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{\text{доп}}$  – коэффициент дополнительной зарплаты;

$Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата, руб.

Примем коэффициент дополнительной заработной платы равным 0,15 для научного руководителя и 0,1 для студента. Результаты расчёта основной и дополнительной заработной платы исполнителей научного исследования представлены в таблице 5.2.1

Таблица 5.2.1. Заработная плата исполнителей исследовательской работы

| <b>Заработная плата</b>         | <b>Руководитель</b> | <b>Студент</b> |
|---------------------------------|---------------------|----------------|
| Основная зарплата               | 39548,8             | 15238,2        |
| Дополнительная зарплата         | 5932,32             | 2285,73        |
| Зарплата исполнителя            | 45279,68            | 17523,93       |
| Итого по статье $C_{\text{зп}}$ | 62803,61            |                |

### 5.2.2. Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (5.2.2.)$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

В текущем 2017 году действуют такие тарифные ставки для работающих граждан нашего государства:

1. Для ПФР – 22%;
2. Для соцстраха – 2,9;
3. Для медицинского страхования – 5,1%.

Величина отчислений во внебюджетные фонды составляет:

$$C_{\text{внеб}} = 0,3 \cdot (39548,8 + 5932,32) = 13644,34 \text{ руб}$$

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = 0,1 \cdot C_{\Sigma} \quad (5.2.3)$$

$$C_{\Sigma} = C_m + C_{\text{зн}} + C_{\text{соц}} \quad (5.2.4)$$

$$C_{\text{накл}} = 0,1 \cdot \frac{890 + 62803,61 + 13644,34}{0,9} = 7885,40 \text{ руб.}$$

Следовательно, накладные расходы составили 7885.40 рубля.

### 5.2.3. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проектирования

Рассчитанная величина затрат проектирования работы является основой для формирования бюджета затрат проекта.

Определение бюджета затрат на проектирование по каждому варианту исполнения приведен в таблице 5.4.

Табл.5.2.2 Расчет бюджета затрат НТИ

| Наименование статьи                                       | Сумма, руб |
|---|------------|
| 1. Материальные затраты исследования                      | 890        |
| 2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы | 62803,61   |
| 3. Отчисления во внебюджетные фонды                       | 13644,34   |
| 4. Накладные расходы (10% от итоговой суммы)              | 7885,40    |
| Бюджет затрат исследования                                | 85223,35   |

### 5.3. Оценка рисков проекта

При расчетах и анализе данных возможно проявление негативных факторов, приводящих к дополнительным затратам или ущербу. Эти факторы формируются во внешней среде, но могут нести в себе негативные последствия.

Такие факторы называются рисками проекта. Различают достаточно большое количество рисков и видов влияния.

Для данного проекта были выделены следующие группы рисков:

- 1) экономические;
- 2) социальные;
- 3) политические;
- 4) технологические.

Каждая группа рисков включает в себя отдельные риски, проявление которых возможно на пути реализации проекта. Все риски записаны в таблицу 5.3.

Для определения общего риска проекта необходимо определить вероятность возникновения рисков в каждой группе. Для этого определена вероятность возникновения каждого риска  $p_i$  в процентах, где значение от 0 до 25% – очень малая вероятность возникновения риска, от 25 до 50% – средняя вероятность риска, от 50 до 75% – большая вероятность риска, от 75 до 100% – очень большая вероятность возникновения риска.

Для каждого риска определен его ранг  $b_i$ , который показывает значимость риска. Весовой коэффициент риска  $w_i$  – это отношение ранга риска в сумме рангов всех рисков, входящих в группу:

$$w_i = \frac{b_i}{\sum b_i} \quad (5.3)$$

где  $w_i$  – весовой коэффициент риска;  $b_i$  – ранг риска.

Далее определена итоговая оценка риска по формуле:

$$t_i = p_i \cdot w_i \quad (5.3.1)$$

где  $t_i$  – оценка риска;  $p_i$  – ранг риска;  $w_i$  – весовой коэффициент риска..

Данные расчеты проведены для каждого риска и определена итоговая оценка группы риска, как сумма всех оценок рисков, входящих в группу.

$$t_{gp} = \sum t_i \quad (5.3.2)$$

где  $t_{gp}$  – оценка риска группы;  $t_i$  – оценка риска.

Все расчеты для упрощения сведены в таблицу 5.3

Таблица 5.3. Проведение экспертизы рисков

| <b>Экономические</b>                      | $p_i$ | $b_i$     | $w_i$      | $t_i$        |
|---|-------|-----------|------------|--------------|
| 1 Рост цен                                | 50    | 5         | 0,31       | 15,5         |
| 2 Инфляция                                | 50    | 5         | 0,31       | 15,5         |
| 3 Изменение налогообложения               | 25    | 4         | 0,25       | 6,25         |
| 4 Непредвиденные расходы                  | 25    | 2         | 0,125      | 3,125        |
| <b>Итого:</b>                             |       | <b>16</b> | <b>1,0</b> | <b>40,37</b> |
| <b>Социальные</b>                         |       |           |            |              |
| 1 Несоблюдение техники безопасности       | 25    | 5         | 0,5        | 12,5         |
| 2 Отсутствие командной работы             | 50    | 3         | 0,3        | 15           |
| 3 Потеря и хищение имущества              | 25    | 2         | 0,2        | 5            |
| <b>Итого:</b>                             |       | <b>10</b> | <b>1,0</b> | <b>32,5</b>  |
| <b>Технологические</b>                    |       |           |            |              |
| 4 Сложность применяемых технологий        | 25    | 5         | 0,56       | 14           |
| 5 Травмоопасность подготовленных этапов   | 25    | 4         | 0,44       | 11           |
| <b>Итого:</b>                             |       | <b>9</b>  | <b>1,0</b> | <b>25</b>    |
| <b>Политические</b>                       |       |           |            |              |
| 1 Нарушение действующего законодательства | 25    | 7         | 0,54       | 13,5         |
| 2 Запрет на реализацию проекта            | 25    | 6         | 0,46       | 11,5         |
| <b>Итого:</b>                             |       | <b>13</b> | <b>1,0</b> | <b>25</b>    |

Определив вероятность возникновения рисков каждой группы, произведена оценка общего риска проекта. Для этого определен ранг каждой группы рисков  $P_i$ ; вес группы  $W_i$ ; вероятность рисков каждой группы  $V_i$  приведена в таблице 8. как  $t_i$  всей группы. Расчет представлен в таблице 8.

Таблица 5.3.1. Оценка общего риска проекта

| Риски            | Ранг (Pi) | Вес (Wi) | Вероятность (Vi) | Общая оценка проекта |
|------------------|-----------|----------|------------------|----------------------|
| Экономические    | 6         | 0.22     | 40,4             | 8,88                 |
| Социальные       | 4         | 0.15     | 32,5             | 4,8                  |
| Профессиональные | 7         | 0.26     | 25               | 6,5                  |
| Технологические  | 10        | 0.37     | 25               | 9,25                 |
| Итого:           | 27        | 1        |                  | 29,43                |

Для того чтобы избежать риски или минимизировать их воздействие на проект необходимо проводить мероприятия по борьбе с рисками. Рекомендуемые мероприятия приведены ниже.

**Социальные:** отсутствие командной работы – обеспечение квалифицированного персонала всех областей деятельности.

**Экономические:** рост цен – в последнее время нестабильность на валютном рынке может неблагоприятно отразиться на проекте. Для устранения этого фактора рекомендуется просчитать все расходы с учетом инфляции. Изменение налогообложения – в ближайшее время не планируется.

**Технологические:** травмоопасность подготовленных этапов – прохождение инструктажа по технике безопасности, допуск до особо ответственных работ только квалифицированный персонал.

#### 5.4. Матрица ответственности

Степень ответственности каждого члена команды за принятые полномочия регламентируется матрицей ответственности. Матрица ответственности данного проекта представлена в таблице 5.4

Таблица 5.4. Матрица ответственности

| Этапы проекта  | Научный руководитель | Консультант раздела «Финансовый менеджмент» | Консультант раздела «Соответственность» | Консультант по языковому разделу | Студент |
|--|----------------------|---|---|----------------------------------|---------|
| Разработка технического задания                              | О                    |   |   |                                  |         |
| Подготовка теоретической части                               | О                    |   |   |                                  | И       |
| Сбор и анализ научно-теоретического материала по теме        |                      |   |   |                                  | И       |
| Календарное планирование работ                               | О                    |   |   |                                  | И       |
| Подготовка технической части                                 |                      |   |   |                                  | И       |
| Изучение программного обеспечения и измерительных приборов   |                      |   |   |                                  | И       |
| Подготовка данных для расчётов                               | О                    |   |   |                                  | И       |
| Проведение вычислений и расчётов                             |                      |   |   |                                  | И       |
| Обработка и оценка результатов                               | О                    |   |   |                                  | И       |
| Определение доли добавочных потерь от основных               |                      |   |   |                                  | И       |
| Выполнение оценки ресурсоэффективности и ресурсосбережения   |                      | С   |   |                                  | И       |
| Выполнение раздела по социальной ответственности             |                      |   | С                                       |                                  | И       |
| Выполнение перевода части работы на английский язык          |                      |   |   | С                                | И       |
| Обобщение и оценка результатов                               |                      |   |   |                                  | И       |
| Составление пояснительной записки                            |                      |   |   |                                  | И       |
| Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки | С                    |   |   |                                  | И       |
| Подготовка к защите  |                      |   |   |                                  | И       |

Степень участия в проекте характеризуется следующим образом:

- ответственный (О) – лицо, отвечающее за реализацию этапа проекта и контролирующее его ход;
- исполнитель (И) – лицо (лица), выполняющие работы в рамках этапа проекта. Утверждающее лицо (У) – лицо, осуществляющее утверждение результатов этапа проекта (если этап предусматривает утверждение);
- согласующее лицо (С) – лицо, осуществляющее анализ результатов проекта и участвующее в принятии решения о соответствии результатов этапа требованиям.

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется:

$$I_{финр}^{исп.i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{max}}, \quad (5.4)$$

где  $I_{финр}^{исп.i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{max}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат

разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Так как разработка имеет одно исполнение, то

$$I_{финр}^p = \frac{\Phi_p}{\Phi_{max}} = \frac{93520,78}{93520,78} = 1;$$

Для аналогов (с использованием ПО, которое стоит 10000 руб и 15000 руб) соответственно:

$$I_{фина1}^{a1} = \frac{\Phi_{a1}}{\Phi_{max}} = \frac{103520,78}{93520,78} = 1,11; \quad I_{фина2}^{a2} = \frac{\Phi_{a2}}{\Phi_{max}} = \frac{108520,78}{93520,78} = 1,16;$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (5.4.1)$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$b_i^a, b_i^p$  – бальная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

Расчёт интегрального показателя ресурсоэффективности представлен в таблице 5.4.1.

Таблица 5.4.1. Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

| Критерии \ ПО                                       | Весовой коэффициент параметра | Текущий проект | Аналог 1 | Аналог 2 |
|---|-------------------------------|----------------|----------|----------|
| 1. Способствует росту эффективности электропередачи | 0,4                           | 5              | 3        | 2        |
| 2. Удобство в эксплуатации                          | 0,2                           | 5              | 2        | 2        |
| 3. Помехоустойчивость                               | 0,1                           | 5              | 4        | 4        |
| 4. Надёжность                                       | 0,25                          | 5              | 4        | 4        |
| 5. Малая величина погрешностей                      | 0,15                          | 5              | 3        | 4        |
| ИТОГО   | 1                             | 5              | 3,45     | 3,2      |

$$I_{\text{тп}} = 5 \cdot 0,4 + 5 \cdot 0,2 + 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,15 = 5;$$

$$\text{Аналог 1} = 3 \cdot 0,4 + 2 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,15 = 3,45;$$

$$\text{Аналог 2} = 2 \cdot 0,4 + 2 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,15 = 3,2.$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ( $I_{\text{финр}}^p$ ) и аналога ( $I_{\text{финаi}}^{ai}$ ) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_m^p}{I_{\text{финр}}^p}; I_{\text{финаi}}^{ai} = \frac{I_m^{ai}}{I_{\text{финаi}}^{ai}};$$

В результате:

$$I_{\text{финр}}^p = \frac{I_m^p}{I_{\text{финр}}^p} = \frac{5}{1} = 5; I_{\text{фина1}}^{a1} = \frac{I_m^{a1}}{I_{\text{фина1}}^{a1}} = \frac{3,45}{1,09} = 3,16; I_{\text{фина2}}^{a2} = \frac{I_m^{a2}}{I_{\text{фина2}}^{a2}} = \frac{3,2}{1,13} = 2,83.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта.

Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{финр}}^p}{I_{\text{финаi}}^{ai}} \quad (5.4.2)$$

Результат вычисления сравнительной эффективности проекта и сравнительная эффективность анализа представлены в таблице 5.4.2.

Таблица 5.4.2. Сравнительная эффективность разработки

| № | Показатели  | Аналог 1 | Аналог 2 | Разработка |
|---|---|----------|----------|------------|
| 1 | Интегральный финансовый показатель разработки           | 1,09     | 1,13     | 1          |
| 2 | Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки | 3,45     | 3,2      | 5          |
| 3 | Интегральный показатель эффективности                   | 3,16     | 2,83     | 5          |
| 4 | Сравнительная эффективность вариантов исполнения        | 1,58     | 1,76     | 1          |

Таким образом, основываясь на определении ресурсосберегающей, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования, проведя необходимый сравнительный анализ, можно сделать вывод о превосходстве выполненной разработки над аналогами.

#### **Заключение по разделу**

В данном разделе менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение представлен расчет трудовых и материальных вложений для проведения научно-исследовательской работы. Определена структура работ и количество исполнительской работы. Разработан календарный план-график для проведения НИР. Определен бюджет НИР, а также проведена оценка рисков проекта. Таким образом, при учете возможности возникновения факторов, указанных при оценке рисков, а также при применении мероприятий по снижению рисков, предлагаемый проект является реализуемым. В особенности при проведении эксперимента, следует обратить внимание на экономические и технологические риски.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила устройства электроустановок. – СПб.: Издательство ДЕАН, 2001. 928 с.
2. Ю. М. Фролов, В.П. Шелякин основы электроснабжения// Издательский дом ЛАНЬ-2012. -432с.
3. Костин В.Н. Системы электроснабжения. Конструкции и механический расчет: учебное пособие. – СПб.: СЗТУ, -93 с.
4. Каганов З.Г. Электрические цепи с распределенными параметрами и цепные схемы. – М.: Энергоатомиздат, 1990 – 248 с.
5. Бацева Н.Л. Специальные вопросы проектирования электроэнергетических систем и сетей: учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008.–254 с.
6. Базуткин В.В., Дмоховская Л.Ф. Расчеты переходных процессов и перенапряжений. М.: Энергоатомиздат, 1983.
7. ГОСТ Р 54149-2010 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения».– Введ. 01.01.2013. М.: Стандартинформ, 2012.-16 с.
8. Добрусин Л.А. Приоритеты управления качеством электроэнергии в электрических сетях России: взгляд с позиции национальных интересов и стратегии международного электроэнергетического сотрудничества // Вести в электроэнергетике.-2007.-№2.
9. Железко Ю.С. Выбор мероприятий по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях: Руководство для практических расчетов. – М.: Энергоатомиздат, 1989.-176 с.
- 10.Зевеке Г.В., Ионкин П.А., Нетушил А.В., Страхов С.В. Основы теории цепей. Учебник для вузов. Изд. 4-е, переработанное. – М., Энергия, 1975.- 752 с.
- 11.Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. – М.: Высшая школа, 1996. – 638 с.

12. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике (для научных работников и инженеров). М., 1974 г. – 832 с.
13. Харлов Н.Н. Математическое моделирование и идентификация узлов нагрузки с нелинейными электроприемниками // Электричество.-2006.- №2.-С.7-12.
- 14.ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
15. ГОСТ 33073-2014 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Контроль и мониторинг качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения
- 16.ГОСТ 30804.4.30 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Методы измерений показателей качества электрической энергии
- 17.Федеральный закон "Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации" от 23.11.2009 N 261-ФЗ (последняя редакция)
18. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация
- 19.СП 51.13330.2011 Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003
20. СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение
- 21.Актуализированная редакция СНиП 23-05-95Санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.562-96 "Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки" (утв. постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 31 октября 1996 г. N 36)
- 22.СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату
- 23.НПБ 105-03 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности

- 24.. ГОСТ Р 12.1.019-2009 Система стандартов безопасности труда (ССБТ).  
Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты
- 25.СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы». Минздрав России, Москва. – 2003.
- 26.Безопасность жизнедеятельности. Учеб. для вузов //С.В. Белов, А.В. Ильницкая, А.Ф. Козьяков и др. – М.: Высш. шк., 1999.– 448 с.
- 27.Правила устройства электроустановок. Утверждены Приказом Минэнерго России от 08.07.2002 № 204.
- 28.ГОСТ 12.1.045-84. Система стандартов безопасности труда. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля. Издательство стандартов, Москва. – 1984.
- 29.Безопасность жизнедеятельности. Расчёт искусственного освещения. Методические указания к выполнению индивидуальных заданий для студентов дневного и заочного обучения всех специальностей. – Томск: Изд. ТПУ, 2008. – 12 с
- 30.СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Минздрав России, Москва. – 1996
- 31.Федеральный закон от 22.07.2008 N 123-ФЗ (ред. от 02.07.2013) "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности"
- 32.ГОСТ 12.0.004-90 Организация обучения безопасности труда. Общие положения.
- 33.ГОСТ Р 22.0.02-2016 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Термины и определения.

## Приложение А

### Investigation of frequency characteristics of multiconductor lines

Студент:

| Группа | ФИО                             | Подпись | Дата |
|--------|---------------------------------|---------|------|
| 5AM5B  | Мамаджонов Умиджон Адхамжонович |         |      |

Консультант кафедры ЭСиЭ \_\_\_\_\_:

| Должность         | ФИО          | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-------------------|--------------|---------------------------|---------|------|
| Директор РЦР ЭНИН | Ушаков В. Я. | д.т.н.,<br>профессор      |         |      |

Консультант – лингвист кафедры \_\_\_\_\_ Иностранных языков \_\_\_\_\_:

| Должность         | ФИО              | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-------------------|------------------|---------------------------|---------|------|
| Доцент, каф. ИЯЭИ | Низкодубов Г. А. | к.п.н,<br>доцент          |         |      |

## **Introduction**

**Relevance of the topic.** In our time, the demand for electric energy is growing every day and naturally the primary task is how to save electric energy.

Energy efficiency and conservation is a hot topic in the world. This is because of large losses in electric networks of power. Efficiency of power companies is characterized by the amount of electrical energy losses

Energy conservation is a set of activities aimed at the conservation and rational use of electricity and heat.

Energy efficiency is the economical use of energy resources. Use the least-cost energy system to service the expected electricity demand and ensure the economic viability of the power plants. This provides an opportunity to reduce harmful emissions to the atmosphere, and ultimately to assess both energy and environmental policies in the energy sector.

According to the operational data of OAO «CO EЭC», electricity consumption in the Russian single power system in July 2016 was 75.7 billion. kwh, which is 1.5% higher than the July 2015 consumption. Electricity consumption in July 2016 as a whole amounted to 77.5 billion in Russia. kwh, which is 1.3% more than in July 2015. In July 2016, the Russian EЭC power plant produced 77.6 billion. kwh, which is 2.3% higher than July 2015. Electricity generation in Russia as a whole was 79.0 billion in July 2016. kwh, which is 2.1% more of the work in July last year

An energy conservation issue in all spheres of production life support is currently being considered in the formulation of laws, as well as the programs and activities developed on their basis. The main instrument in the field of energy saving is the Federal law № 261-FZ [14]. As well as Gosts and decrees of the President of the Russian Federation.

The reduction of losses of the electric power is the most important way of energy-saving in electrical networks. Reduction of energy losses in electric networks enables you to:

- reduce fuel costs for power plants. because electricity is reduced to compensate for the losses;
- reduce construction of generating capacities for reliable power supply of consumers with an upcoming shortage of active power;
- reduce tariffs on electricity transmission grids and electricity tariffs for final consumers.

The purpose of the dissertation is to calculate the frequency characteristics of the input resistance of air and cable lines in order to identify the dependencies between the line length and the resistance.

Objectives of the research:

1. Study of the model of frequency characteristics of the input resistance of overhead lines.
2. Adapting the model for studies of frequency characteristics of the input resistance of the cable lines.
3. Examination of normative documents regulating the quality, control and monitoring of electrical energy.
4. Calculation and analysis of frequency characteristics of overhead lines and cable lines.

## **1. Analysis of the problem of losses and the decline in the quality of electricity during its transportation.**

### **1.1 The nature of electric power losses in transmission and distribution.**

Electricity is a commodity and physical concepts.

As a product of electricity must also meet a quality, the demand of the market and the quality of this product is normalized according to GOST. Electric energy has the following consumer properties of other types of energy: electricity is produced, transported, consumed and this process occurs at the same time, poor quality electricity will not be returned back to the manufacturer.

Electricity as the physical concept is the ability of an electromagnetic field to perform work under the influence of the applied voltage in technological process of production, transmission, distribution and consumption

Electricity does not require resources to alternation from the place of production to the consumer, even if the distances between the consumer and the power stations are hundreds of kilometres. For this, electric energy consumes part of itself, so the power loss is inevitable.

The transmission of electricity to high voltage networks in our country loses about 9 per cent of the energy transferred. Consumer distribution networks lose another 3-4%, that is. Total electricity losses account for 12-13 per cent. Therefore, for transmission and distribution per year. It'll be lost about 150 billion. kwh. Considering that the 2.5 or the KW gas station (for example, the Volga hydroelectric power station) earns 10 billion kwh, 15 of these power plants will only work to cover losses.

The actual losses are the difference between the resulting electrical powers from the energy-consuming devices consumed on the network. The actual losses

include: losses lost in network elements, power consumption of equipment, and error of meters during electrical power accounting, electrical theft, and non-payment.

## **1.2. Structure of electricity losses.**

Losses can be divided according to different criteria: on the nature of the losses or voltage classes, but to analyze and rationing, it's better to divide them on the basis of physical nature (integrated structure). On the enlarged structure of actual loss are separated:

1. Technical electricity losses
2. Electricity consumption at substations.
3. Loss when measuring electrical energy, i.e. the errors of counters.
4. Commercial losses.

Technical losses of electricity are resulting from the conversion of part of the transmitted electric energy into heat in the elements of the networks.

Electric power consumption of substations-these costs include: the cost of electricity for the comfort of service personnel and for the maintenance of equipment. The substation has its own needs transformers and sets up the counters that record these costs.

All of these losses can be combined under the term technological losses.

The technical losses in turn are divided into:

1. Conditional permanent losses
2. Load losses

Conditionally constant losses of electricity include:

- Loss of idling power transformers (Autotransformers);
- Losses in the Crown of the overhead lines 110 kV and above;

- Losses of synchronous condenser batteries, expansion joints, static thyristor expansion joints, shunt reactors;
- Losses in connecting wires and busbars of switchgears of substations; Losses in the electricity metering system (current transformers, voltage transformers, meters and connecting wires);
- Losses in insulation of cables;
- Electricity consumption for melting ice.

#### Losses in the idle power transformers

Idling is one of the modes of operation of all transformer devices, which is based on a dedicated nutrition one winding, while the State of all remaining open. In this type of work all leaks that inevitably arise with nominal values of voltage and frequency, commonly referred to as no-load losses.

Reasons for loss of idle transformer: The Transformers used today can be divided into dry and oil. The oil until recently was used quite extensively in almost all areas. But since they have some accommodation restrictions and nuances of service, as well as low fire, models of dry transformers that do not use oil in the cooling system have recently become more popular.

There are active losses of a transformer idling in both devices. Their main causes are: corrosion of the metal that occurs because of a violation of the integrity of the lacquered layer. As a result, it significantly increases the Eddy currents and increases the heating steel used by the transformer.

#### Load losses

Load losses depend on the volume of transported energy and are directly proportional to the square of the current flowing through the elements of the network.

Transmission losses reactive power is one of the components of the load losses. In the network reactive power reduces the bandwidth capacity. Consumers of

the Reactive power are the transformers, electric motors, gas-discharge lamps, etc. sources Reactive power compensatory batteries, synchronous compensators.

3. Commercial losses, is a consequence of random illegal electricity connection for homes, as well as manipulation of the counter from unscrupulous order to fraud. Such unpaid bills cause financial prejudice to public utilities.

#### Reasons for high technical losses

The following are the major reasons for high technical losses in our country: -

- Inadequate investment on transmission and distribution, particularly in sub-transmission and distribution. While the desired investment ratio between generation and T&D should be 1:1, during the period 1956 -97 it decreased to 1:0.45. Low investment has resulted in overloading of the distribution system without commensurate strengthening and augmentation.
- Haphazard growths of sub-transmission and distribution system with the short term objective of extension of power supply to new areas.
- Too many stage of transformations.
- Improper load management.
- Inadequate reactive compensation
- Poor quality of equipment used in agricultural pumping in rural areas, cooler air conditioners and industrial loads in urban areas.

#### Reasons for commercial losses

Some of the modes for illegal abstraction or consumption of electricity are given below:

- Tampering the meter readings by mechanical jerks, placement of powerful magnets or disturbing the disc rotation with foreign matters.
- Stopping the meters by remote control.
- Willful burning of meters.
- Changing the sequence of terminal wiring.

- Bypassing the meter.
- Errors in meter reading and recording.
- Improper testing and calibration of meters.

In addition to the losses on the efficiency of electricity, the indicators of the quality of electricity also affect. There are 11 indicators of the quality of electricity. The reduction of one of them is unfavorable to equipment.

Frequency deviation is one of the indicators of power quality

$$\Delta f = f_m - f_{НОМ} \quad (1.3)$$

$f_m$ - the value of the fundamental frequency.

$f_{НОМ}$ - nominal frequency (50 Hz)

Voltage unbalance

The voltage or current of the phase system is fully symmetrical, if all three phases are shifted from each other by  $120^\circ$  and their vectors are equal.

The system will be unsymmetrical if the phase vector modules are different, or the phase shift between the two vectors is different from  $120^\circ$ . Moreover, these two conditions can be fulfilled simultaneously.

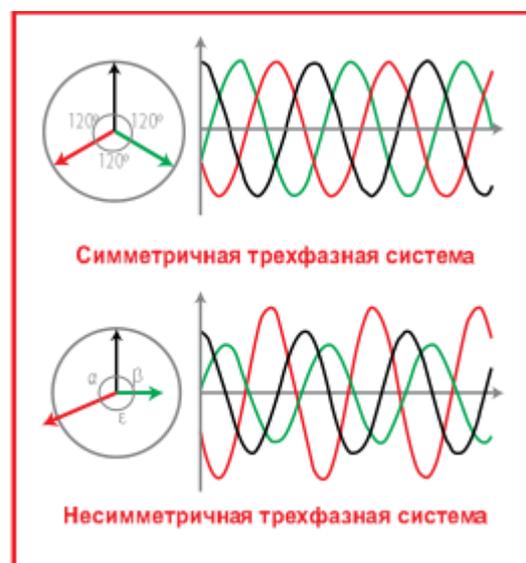
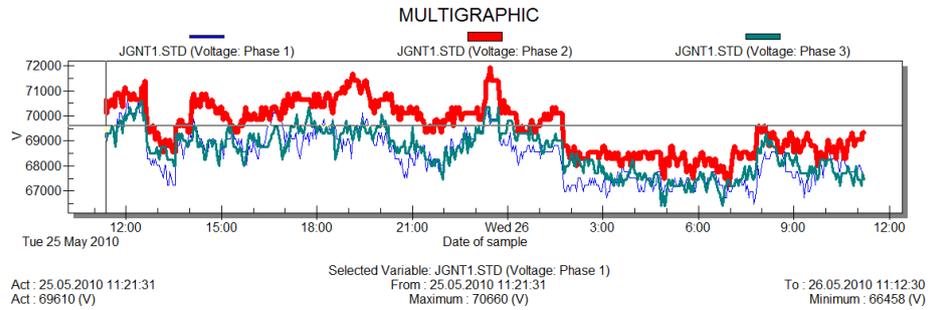


Fig.1.2. Voltage unbalance

Voltage unbalance can only be observed in a three-phase system. voltage unbalance occurs when the uneven distribution of loads and distributes them evenly is difficult



Pic. 1.3. 3-phase Daily voltage graph

The graph from the figure was obtained during the measurement survey. As can be seen, it is not difficult to notice the asymmetry of the voltage.

All energy quality indicators are determined by the measurement survey. There are many analyzers of energy quality indicators for estimating electricity quality. One of these is the Circutor Analyzer series of AR 5 (Pic. 1.4)

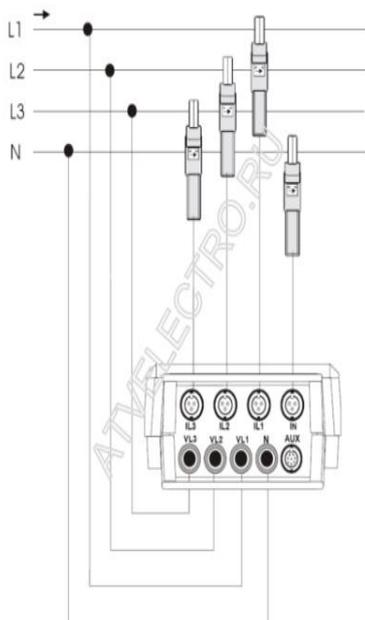


Pic.1.4 Circutor Analyzer series of AR 5

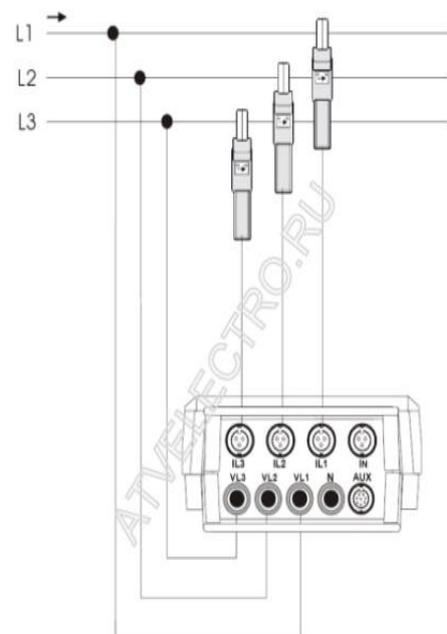
The majority of CIRCUTOR power analyzers have internal memory available where measured and calculated parameters are recorded. Because they are units that must perform measurements in a number of installations with very different features, they have setup menus for the most common installations (single-phase, two-phase, 3-wire or 4-wire three- phase).

The current measurement is performed by clamps for easy installation, as there is a wide variety of models and ways of measuring them.

The AR5L portable analyzer increases the benefits of the CIRCUTOR family as it has a display screen and records the measured parameters in 2 or 4 quadrants. It has an internal memory that stores the electrical parameters for subsequent downloading onto a computer via the communications cable. It allows for the selection of variables to be recorded, as well as the recording period and the starting conditions for recording the measured parameters. It has several operating programs running in order to perform harmonic studies, quality reports, flicker measurements, checking leakage currents and earth leakage relays, among others. The unit's recorded data is compatible with the programs Power Vision and Power Vision Plus.



Pic.1.5. Connection diagram for 3 phase-4 wires



Pic.1.6. Connection diagram for 3-phase system - 3 wires

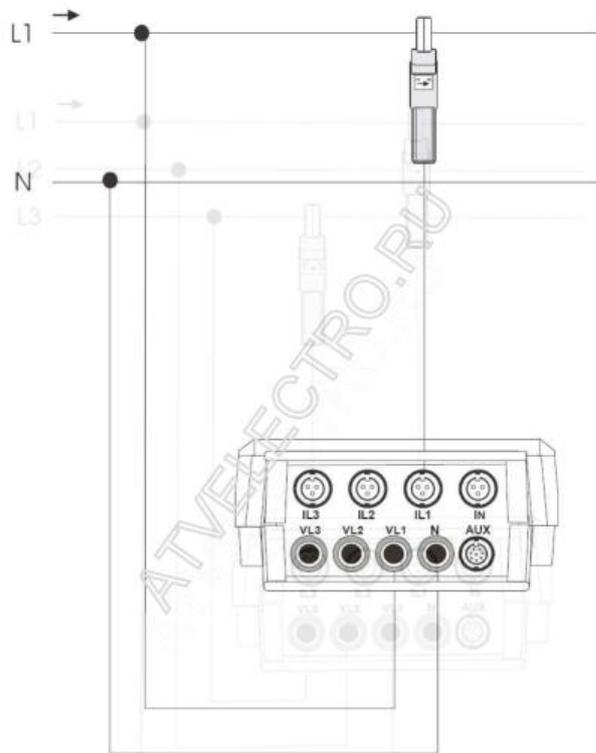
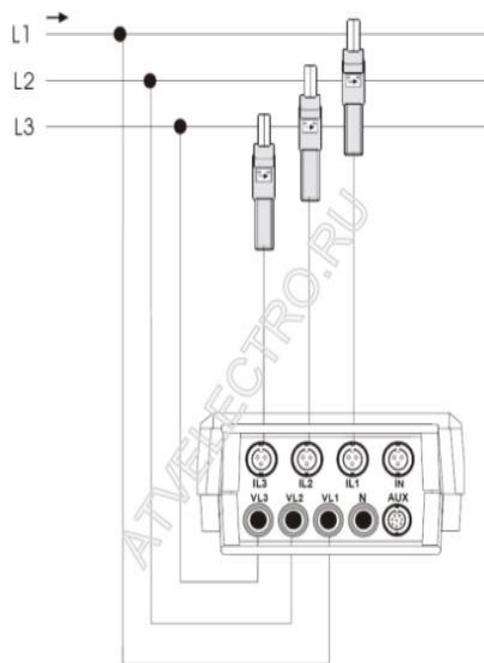


Рисунок 1.7 Connection diagram for 3 phase-4 wires



Pic1.8. Connection diagram for 3-phase system - 3 wires

### 1.3. Higher harmonic components of current and voltages and their sources in electrical networks

When the form of current, voltage is distorted it, says that network contains harmonics. And distortion of the voltage or current worsens the quality of electricity. The main sources of harmonics are nonlinear loads such as electric arc furnaces, converters, etc.

In our time, a device that generates harmonics has every sphere. The shape of the current curve, which consumes non-linear load, differs from the main shape of the curve.

Harmonics can be classified by the order (number), frequency, and sequence type. These settings fully define the properties of the harmonic parts in the power grid.

The order of harmonics: the frequency value in Russia is 50Hz and the order of the harmonic is the number of times the harmonic component frequency exceeds the value of the fundamental frequency. 1,2,3,4,5,6,7 ... i.e. series of natural numbers. The order can be defined as the ratio of the harmonic frequency ( $f_n$ ) to the fundamental frequency ( $f_{50}$ ).

$$n = \frac{f_n}{f_{50}} \quad (1.4)$$

Harmonics are summed with the fundamental frequency. for example:

1st harmonic = 50Hz

2nd harmonic = 100 HZ

3rd harmonic = 150 etc.

Harmonics can be even, odd and multiple three. Odd harmonics are found in electrical networks of almost all types: in production, in construction, industry, airports, etc. Even harmonics can be detected in asymmetric systems.

### **Sequence**

Harmonics of the direct or reverse sequence do not differ from each other in the degree of influence on the electrical network. They are equally harmful, regardless of the type of sequence. In some cases, for example, for capacitor banks, the corrective power factor is most harmful to the harmonic of the reverse sequence, especially the 5th.

The zero sequence harmonics have a frequency of a multiple of three with the fundamental frequency. These harmonics flow along the zero conductor, and the current in it can be the same in magnitude, as well as the phase conductor, and even

exceed it. This conducts to the heating of the zero wire and, accordingly, to the necessity of performing both the zero and the phase conductors with single-section wires. The main parameters of the harmonics are given in Table 1.1

Table 1.1 Parameters of harmonics

| Order | Frequency | Sequence |
|-------|-----------|----------|
| 1     | 50        | +        |
| 2     | 100       | -        |
| 3     | 150       | 0        |
| 4     | 200       | +        |
| 5     | 250       | -        |
| 6     | 300       | 0        |
| 7     | 350       | +        |
| ...   | ...       | ...      |
| $n$   | $50*n$    | ...      |

### Harmonic distortion of voltage and current.

The harmonic distortion factor is defined as the ratio (in percent) of the effective value of the voltage or current harmonic of a certain frequency to the actual value of the voltage or current of the fundamental frequency.

$$HDU_n \% = \frac{U_{caf n}}{U_{caf 50}} \quad (1.5)$$

$$HDU_n \% = \frac{I_{caf n}}{I_{caf 50}} \quad (1.6)$$

### Total Harmonic Distortion: THDU-THDI

The total harmonic distortion is the total amount of distortion related to the magnitude of the signal at the fundamental frequency.

$$THD_{f2-n} = \frac{\sqrt{h_2^2 + h_3^2 + h_4^2 + \dots + h_n^2}}{h_1} \cdot 100 \quad (1.7)$$

For greater clarity, we define this parameter (THD) for two basic values: the effective value of the voltage ( $U_{ca}$ ) and for the current value of the current ( $I_{ca}$ ).

$$THD_{U2-n} = \frac{\sqrt{U_{ca2}^2 + U_{ca3}^2 + U_{ca4}^2 + \dots + U_{can}^2}}{U_{ca1}} \cdot 100 \quad (1.8)$$

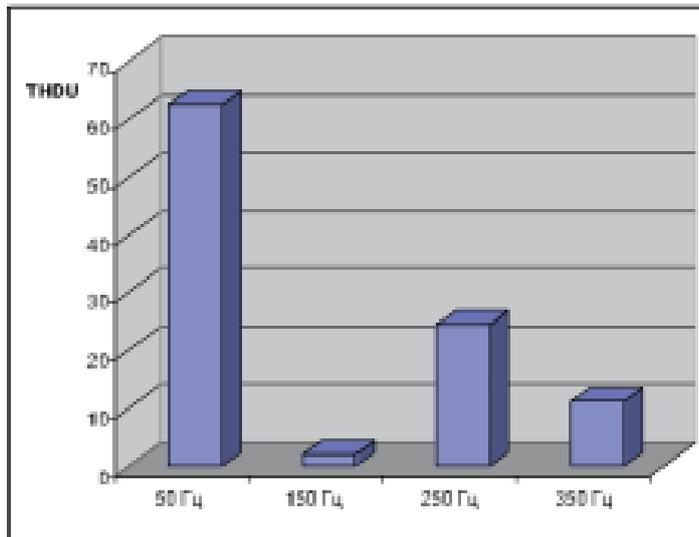
$$THD_{I2-n} = \frac{\sqrt{I_{ca2}^2 + I_{ca3}^2 + I_{ca4}^2 + \dots + I_{can}^2}}{I_{ca1}} \cdot 100 \quad (1.9)$$

The value of the total current factor THDI is a consequence of nonlinear loads in the electrical network.

The total voltage factor THDU is the result of a highly distorted current flowing through the network. Unfortunately, GOST [14] does not normalize the harmonic current components. The basic GOST defines the normative values of the THDU coefficient up to the 40th harmonic [14].

The harmonic spectrum is formed by decomposing the signal into its harmonic components in the frequency domain. It can be presented in the form of a histogram displaying information on the percentage content of each of the harmonics of the signal. The sum of the signals of the harmonics gives the complete form of the analyzed signal.

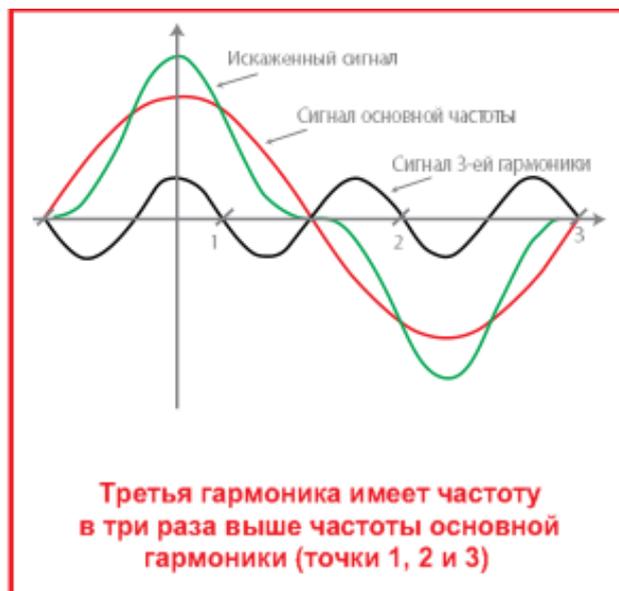
In picture 1.9 is shown the harmonic spectrum, in which the 5th harmonic is approximately 25% of the fundamental harmonic voltage.



Pic.1.9 - Harmonic spectrum

In picture 1.10 is shown a distorted waveform, with its maximum value equal to the graphical sum of the two sinusoidal components.

For one period of the signal of the fundamental frequency, there are three periods of the 3rd harmonic signal, with the maxima for the fundamental harmonic and for the 3rd harmonic in time

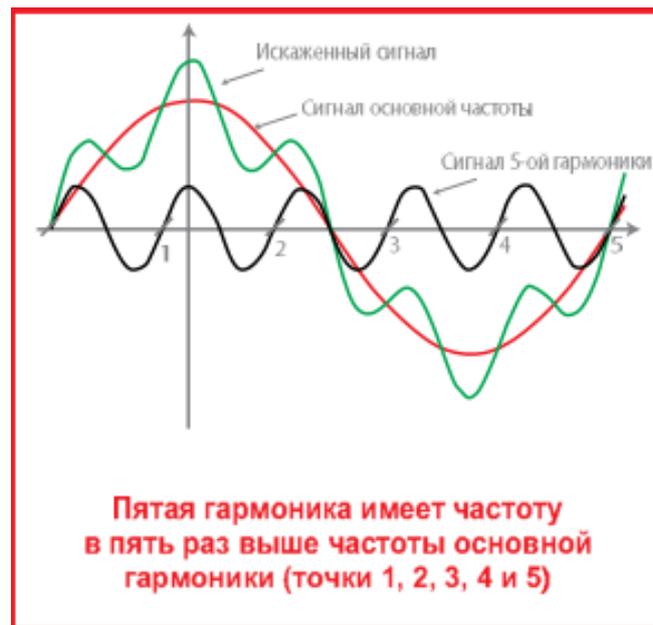


Pic.1.10 - Third harmonic signal

The 3rd harmonic signal has an important feature: its frequency is a multiple of the main harmonic signal (in electrical degrees), and it refers to zero sequence signals. Therefore, in the phase four system, which has three phases, the harmonic current is leaking into zero wire. The same applies to the 6th, 9th, etc. harmonics.

In picture 1.11 is shown the 5th harmonic and distorted form. The maximum value of a malformed graphics signal is the sum of the fundamental frequency and harmonics.

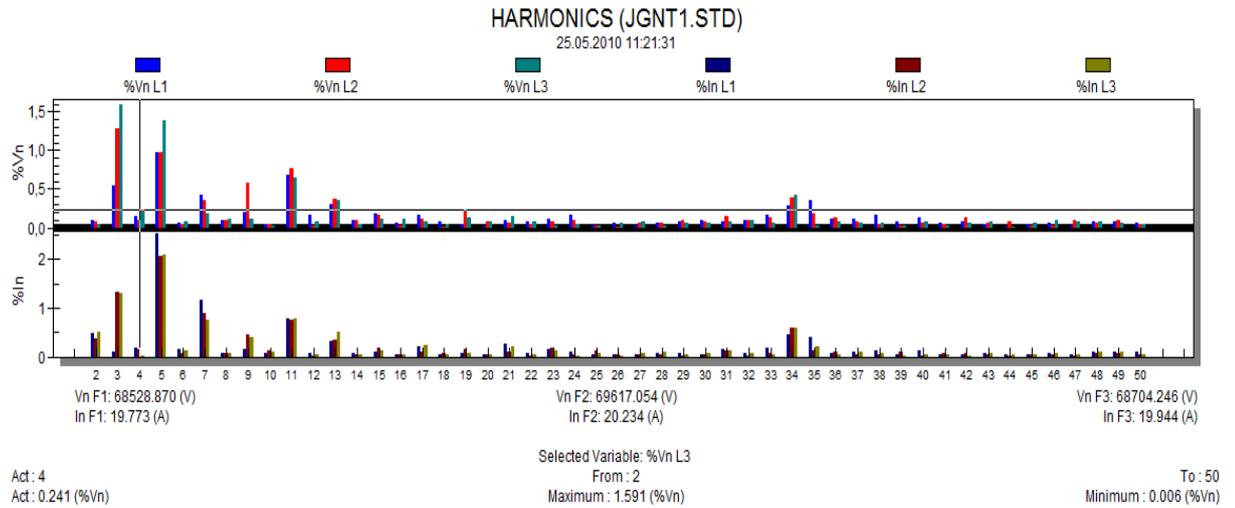
As discussed earlier, for one period of the main frequency signal, there are five periods of the 5th harmonic signal, with the maximum major harmonic and 5th harmonics coinciding in time.



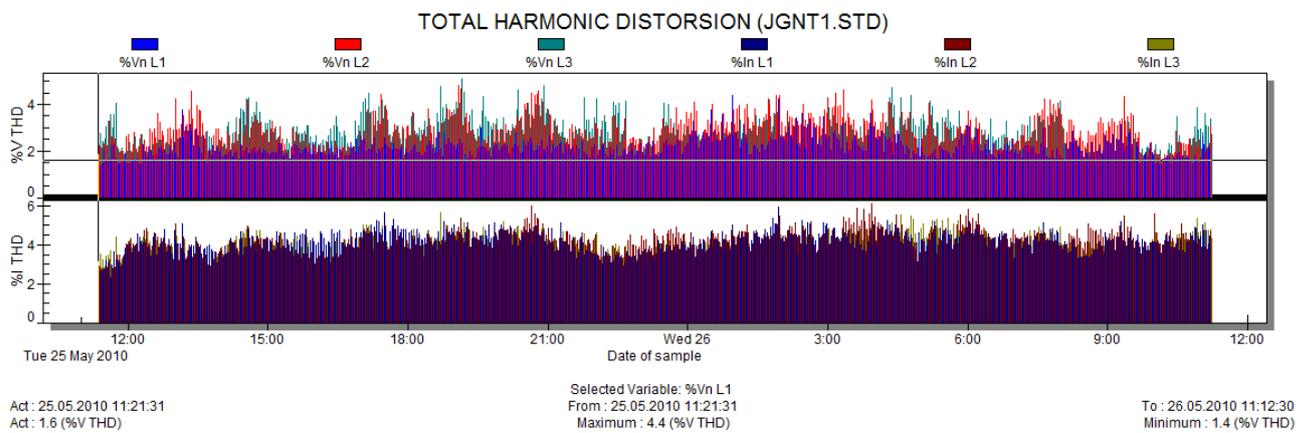
Pic.1.11 - 5th harmonic and distorted waveform

Unlike the 3rd harmonic, the 5th harmonic is not a multiple (in electric degrees) of the signal of the fundamental frequency, so with the frequency of the harmonic flow through the phases and affect the capacitors and the three-phase system, as well as 7n, 11d, etc. Below are the spectral compositions of voltages and

currents based on the results of an instrumental survey of the parameters of the power consumption of substations.



Pic.1.12 - Harmonic composition of current and voltage



Pic.1.13 - Total harmonic distortion  $THD_U-THD_I$

#### 1.4. Main measures to reduce technological losses.

There are a number of organizational measures aimed at maintaining the optimal mode of the scheme, such as:

- Increase in the level of operating voltage in the network.
- Control of power flows in heterogeneous networks.

- Alignment of load graphs.
- Optimization of transformer operation modes.
- Optimal distribution of active power between power plants.
- Opening closed networks at optimal points.
- Optimization of reactive power modes.
- Alignment of phase loads in 0.4 kV networks.

The main and most effective measure to reduce the technical losses of electricity is the compensation of reactive power in electrical networks and consumers, as well as a number of other activities that pay off in time, acceptable to investors, loss reduction programs.

## **Conclusion**

Electric transmission and distribution networks are one of the most important keys to the future. The quality of electricity is largely related to the processes of its transmission and distribution. It is a critical parameter for modern production. The development of electric grids throughout the world, the growth of the number of interconnections put new demands on reliability, security and, in particular, on the quality of the management of energy flows. To meet these requirements of the 21st century, modern facilities appear both at the project level and at the level of the finished equipment.