

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования
«ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»**

Структурное подразделение «Электроснабжения и электротехники»

УТВЕРЖДЕНА:

на заседании кафедры электроснабжения и электротехники

Протокол №12 от 18 июня 2025 г.

Рабочая программа дисциплины

«ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ. СПЕЦКУРС»

Направление: 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Оптимизация развивающихся систем электроснабжения

Квалификация: Магистр

Форма обучения: заочная

Документ подписан простой
электронной подписью
Составитель программы:
Крюков Андрей Васильевич
Дата подписания: 04.06.2025

Документ подписан простой
электронной подписью
Утвердил: Шакиров
Владислав Альбертович
Дата подписания: 18.06.2025

Документ подписан простой
электронной подписью
Согласовал: Сулов
Константин Витальевич
Дата подписания: 09.06.2025

Год набора – 2025

Иркутск, 2025 г.

1 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы

1.1 Дисциплина «Электроснабжение. Спецкурс» обеспечивает формирование следующих компетенций с учётом индикаторов их достижения

Код, наименование компетенции	Код индикатора компетенции
ПК-3 Способен решать инженерные задачи по конструированию, эксплуатации, техническому обслуживанию, реконструкции оборудования. Выявлять технические и технологические недостатки	ПК-3.5

1.2 В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы

Код индикатора	Содержание индикатора	Результат обучения
ПК-3.5	Знает существующие системы коммерческого учета электроэнергии, служащие для обеспечения финансовых расчетов между предприятиями, генерирующими и распределяющими электроэнергию, и потребителями	<p>Знать тенденции развития электротехнического оборудования разного назначения, видов современной изоляции электрооборудования, принципов конструирования изоляции электроустановок, типов молниезащиты и защиты от других внешних факторов; методы расчёта систем энергоснабжения (СЭС); системы коммерческого учета электроэнергии, включая новейшие автоматизированные для дистанционного сбора данных, долгосрочного их хранения, аналитической обработки, удаленного подключения и отключения от сети.</p> <p>Уметь осуществлять квалифицированный выбор оборудования с учетом компромисса между энергетической эффективностью и экономической;- умение хорошо ориентироваться в номенклатуре существующих серийных видов оборудования, кабеля и материалов, в том числе изоляционного; при необходимости спроектировать, смоделировать новые, модернизировать существующие виды оборудования и схемы энергообеспечения.</p> <p>Владеть навыками по разработке и проектированию бесперебойного и гарантированного</p>

		электрообеспечения; навыками поиска типовых схем энергообеспечения, в источниках технической информации.
--	--	--

2 Место дисциплины в структуре ООП

Изучение дисциплины «Электрообеспечение. Спецкурс» базируется на результатах освоения следующих дисциплин/практик:

Дисциплина является предшествующей для дисциплин/практик:

3 Объем дисциплины

Объем дисциплины составляет – 3 ЗЕТ

Вид учебной работы	Трудоемкость в академических часах (Один академический час соответствует 45 минутам астрономического часа)		
	Всего	Учебный год № 1	Учебный год № 2
Общая трудоемкость дисциплины	108	36	72
Аудиторные занятия, в том числе:	18	2	16
лекции	8	2	6
лабораторные работы	4	0	4
практические/семинарские занятия	6	0	6
Самостоятельная работа (в т.ч. курсовое проектирование)	81	34	47
Трудоемкость промежуточной аттестации	9	0	9
Вид промежуточной аттестации (итогового контроля по дисциплине)	, Экзамен, Курсовой проект		Экзамен, Курсовой проект

4 Структура и содержание дисциплины

4.1 Сводные данные по содержанию дисциплины

Учебный год № 1

№ п/п	Наименование раздела и темы дисциплины	Виды контактной работы						СРС		Форма текущего контроля
		Лекции		ЛР		ПЗ(СЕМ)		№	Кол. Час.	
		№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	№	Кол. Час.			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Установочная лекция									Отчет по лабораторной работе
	Промежуточная аттестация									

	Всего									
--	-------	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Учебный год № 2

№ п/п	Наименование раздела и темы дисциплины	Виды контактной работы						СРС		Форма текущего контроля
		Лекции		ЛР		ПЗ(СЕМ)		№	Кол. Час.	
		№	Кол. Час.	№	Кол. Час.	№	Кол. Час.			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Моделирование СЭС на основе фазных координат и решетчатых схем замещения							1, 2		Отчет по лабораторной работе
2	Моделирование современных СЭС, построенных на основе СИП, СПЭ-кабелей, мощных токопроводов									Отчет по лабораторной работе
3	Методы моделирования сложно-несимметричных, неполнофазных и аварийных режимов в СЭС									Отчет по лабораторной работе
4	Разработка, проектирование и эксплуатация систем бесперебойного и гарантированного электроснабжения									Отчет по лабораторной работе
	Промежуточная аттестация								9	Экзамен, Курсовой проект
	Всего								9	

4.2 Краткое содержание разделов и тем занятий

Учебный год № 1

№	Тема	Краткое содержание
1	Установочная лекция	<p>Моделирование СЭС на основе фазных координат и решетчатых схем замещения</p> <p>Моделирование современных СЭС, построенных на основе СИП, СПЭ-кабелей, мощных токопроводов</p> <p>Методы моделирования сложно-несимметричных, неполнофазных и аварийных режимов в СЭС</p> <p>Разработка, проектирование и эксплуатация систем бесперебойного и гарантированного электроснабжения</p>

Учебный год № 2

№	Тема	Краткое содержание
1	Моделирование СЭС на основе фазных координат и решетчатых схем замещения	Освоение темы предусматривает выполнение следующих лабораторных работ: моделирование режимов систем электроснабжения на основе фазных координат; моделирование систем электроснабжения железных дорог.
2	Моделирование современных СЭС, построенных на основе СИП, СПЭ-кабелей, мощных токопроводов	Освоение темы предусматривает выполнение следующих лабораторных работ: моделирование систем электроснабжения, построенных с использованием самонесущих изолированных проводов (СИП); моделирование систем электроснабжения, построенных с использованием СПЭ - кабелей; моделирование систем электроснабжения, построенных с использованием гибких симметричных токопроводов; моделирование систем электроснабжения, построенных с использованием жестких симметричных токопроводов; моделирование систем электроснабжения, построенных с использованием магистральных и распределительных шинопроводов.
3	Методы моделирования сложно-несимметричных, неполнофазных и аварийных режимов в СЭС	Освоение темы предусматривает выполнение следующих лабораторных работ: моделирование режимов несимметричных коротких замыканий в системах электроснабжения; моделирование неполнофазных режимов в системах электроснабжения; моделирование несинусоидальных режимов в системах электроснабжения.
4	Разработка, проектирование и эксплуатация систем бесперебойного и гарантированного электроснабжения	Освоение темы предусматривает выполнение следующих лабораторных работ: моделирование симметрирующих устройств; моделирование активных кондиционеров гармоник; моделирование электромагнитной обстановки в системах электроснабжения.

4.3 Перечень лабораторных работ

Учебный год № 2

№	Наименование лабораторной работы	Кол-во академических часов
1	Моделирование режимов систем электроснабжения на основе фазных координат	1
2	Моделирование систем электроснабжения железных дорог	1
3	Моделирование режимов несимметричных коротких замыканий в системах электроснабжения	1
4	Моделирование электромагнитной обстановки в	1

	системах электроснабжения	
--	---------------------------	--

4.4 Перечень практических занятий

Учебный год № 2

№	Темы практических (семинарских) занятий	Кол-во академических часов
1	Структура современных систем бесперебойного и гарантированного электроснабжения (СБЭ и СГЭ)	0
2	Классификация источников бесперебойного питания (ИБП)	0
3	Источники бесперебойного питания, построенные по технологиям VFD, VI и VFI.	1
4	Централизованные, распределенные и двухуровневые СБЭ	1
5	Динамические ИБП	1
6	Интеллектуальная система электроснабжения современного офиса.	1
7	Системы гарантированного электроснабжения	1

4.5 Самостоятельная работа

Учебный год № 1

№	Вид СРС	Кол-во академических часов
1	Подготовка к практическим занятиям (лабораторным работам)	34

Учебный год № 2

№	Вид СРС	Кол-во академических часов
1	Написание курсового проекта (работы)	37
2	Подготовка к практическим занятиям (лабораторным работам)	10

В ходе проведения занятий по дисциплине используются следующие интерактивные методы обучения: Исследовательский метод

5 Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины

5.1 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

5.1.1 Методические указания для обучающихся по курсовому проектированию/работе:

Задание на курсовой проект: спроектировать систему бесперебойного электро-снабжения объекта, включающего потребителей особой группы.

Цель курсового проекта. Закрепление теоретических знаний, полученных при изучении основных разделов дисциплины «Электроснабжение (спецкурс).

Требования к проектируемой системе электроснабжения(СЭС). Система электро-снабжения – это комплекс сооружений на территории объекта, обеспечивающий его функционирование, как в нормальных, так и в аварийных режимах его работы. При проектировании СЭС необходимо учитывать следующие требования:

1. СЭС должна быть надежной и обеспечивать бесперебойное электропитание основного оборудования аппаратуры телекоммуникаций, а также необходимые хозяйственные нужды. Для обеспечения бесперебойного питания следует применять агрегаты бесперебойного питания) с опорными АБ. Сеть аварийного освещения должна получать электропитание от одной из АБ, емкость которой должна обеспечивать возможность работы аварийного освещения в течение расчетного времени разряда.

2. СЭС должна быть технологичной при монтаже, и экономичной при эксплуатации. Проектирование линий электропередач и токораспределительных сетей (ТРС) рекомендуется осуществлять с учетом полного развития объекта, а количество трансформаторов и трансформаторных подстанций – с учетом возможности и целесообразности поэтапного наращивания мощности. Выбор архитектуры системы электропитания и оборудования должен обосновываться технико-экономическими показателями путём сравнения различных вариантов ее построения. При этом, необходимо учитывать требования безопасности обслуживания применением надежных схем, внедрением новой техники и энергосберегающих технологий.

3. электроснабжение осуществляется от электрической сети общего назначения и резервных источников электроэнергии трехфазного или однофазного переменного то-ка с частотой 50 Гц с номинальным напряжением 220/380 В.

4. Система должна предусматривать постоянный местный и дистанционный технический контроль (мониторинг) и управление режимами работы СЭС.

Все неисправности и аварийные состояния должны фиксироваться в хронологическом порядке, диагностироваться и передаваться сервисной службе. Для выполнения этих функций должна быть предусмотрена система мониторинга и управления (СМ и У), которая осуществляет контроль состояния всех узлов, сигнализирует о неисправностях и состоянии СЭС и осуществляет передачу всей информации в сервисный центр для управления с персонального компьютера через модем телефонной связи. СМ и У должна обеспечивать функционирование СЭС с АБ в следующих режимах : заряд ба тарей; буферный режим работы батареи; режим непрерывного подзаряда; разряд батареи. Кроме того, СМ и У должна обеспечивать:

- параллельное включение одноименного оборудования с целью его резервирования;
- распределение нагрузки между параллельно работающими блоками и селективное отключение неисправного оборудования;
- защиту от токовых перегрузок, длительных и кратковременных перенапряжений во входных цепях; защита должна осуществляться селективно с помощью автоматических выключателей и предохранителей;
- обеспечивать переключение на резервный источник переменного напряжения, подключение резервной цепи питания аппаратуры от АБ;
- обеспечить срабатывание защитных устройств отключения АБ от ее чрезмерно-го заряда или “глубокого ” разряда;
- обеспечивать включение вентиляции при заряде АБ;
- обеспечивать автоматический контроль электрических параметров АБ.

Блочный принцип построения преобразовательных устройств позволяет обеспечивать равномерное распределение нагрузки при ее изменении и осуществлять селективное отключение неисправного оборудования в аварийных ситуациях.

5. СЭС должна быть надежной. Под надежность работы СЭС понимается свойство системы сохранять в установленных пределах значения параметров электрической энергии, характеризующих возможность системы обеспечивать электропитание

аппаратуры связи в заданных условиях применения и технического обслуживания. Проектируемая СЭС должна удовлетворять требуемым показателям надежности, к которым относятся – средняя наработка до отказа (ТО), среднее время восстановления (ТВ) и средний срок службы.

Для повышения надежности СЭС используется резервирование оборудования, устройства защиты от перегрузок по току, от “бросковых” напряжений и. т. д. Блочный принцип исполнения преобразовательных устройств позволяет осуществлять селективное отключение неисправного оборудования в аварийных режимах его работы.

Устройства автоматической защиты должны выполнять свои функции при следующих входных воздействиях : при воздействии одиночных импульсов тока 10...350 мкс с амплитудой 50 кА - для устройств первичной защиты; при воздействии одиночных импульсов напряжения 1...50 мкс с амплитудой 4 кВ - для устройств вторичной защиты; при отклонениях питающего напряжения на $\pm 40\%$ от номинального значения длительностью до 3 с, а также при импульсных перенапряжениях по каждой из фаз до ± 1000 В длительностью импульсов до 10 мкс - для остальных устройств.

В устройствах автоматической защиты токи утечки варисторов, входящих в состав устройств, не должны превышать 1 мА.

6. СЭС должна быть эффективной с точки зрения преобразования электрической энергии. С этой целью преобразовательные устройства строятся по схемам с бестрансформаторным входом, с двойным преобразованием электрической энергии, с импульсным способом регулирования напряжения и звеном коррекции коэффициента мощности. Для коммутации транзисторных ключей используются принципы “мягкой коммутации”. Качество электроэнергии в СЭС должно соответствовать установленным нормам качества электроэнергии на входах цепей питания аппаратуры телекоммуникаций.

7. СЭС должна выполняться в соответствии с требованиями безопасности на электроустановки зданий. Заземление нейтрали в трехфазных сетях переменного тока является рабочим, и сопротивление его не должно превышать 4 и 8 Ом соответственно при линейных напряжениях 380 и 220 В источника трехфазного тока. Это сопротивление должно быть обеспечено с учетом использования естественных и искусственных заземлителей. Заземлитель должен располагаться вблизи трансформатора, а для внутрицеховых подстанций около стены здания. Соединение нейтрали трансформатора или генератора с заземлителем осуществляется специальным проводом достаточного сечения. Корпуса оборудования должны иметь болт (винт, шпильку) для подключения защитного проводника, при этом для четырехпроводной внешней сети переменного тока должно быть выполнено заземление и зануление оборудования, а при пятипроводной сети - только заземление.

Состав материалов и документов проекта: проект состоит из расчетно-пояснительной записки и графической части.

В расчетно-пояснительной записке необходимо представить следующие разделы:

- задание на проектирование; введение;
- расчет электрических нагрузок, выбор схемы внешней сети и расчет системы общего электроснабжения;
- разработка устройства автоматического ввода резервного питания; выбор типов ИБП (VFD, VI, VFI);
- разработка структуры СБЭ (централизованная, распределенная, двухуровневая);
- расчет выбранной схемы СБЭ;
- расчет системы гарантированного электроснабжения;
- расчет системы заземления;
- проектирование системы компенсации реактивной мощности;

График выполнения проекта:

рекомендуется следующий ориентировочный календарный график работы:

- изучение литературы и других материалов – 2 недели;
- расчет электрических нагрузок, выбор схемы внешней сети и расчет системы общего электроснабжения – 2 недели;
- выбор типов ИБП, разработка структуры СБЭ, расчет выбранной схемы СБЭ– 2 недели;
- расчет системы гарантированного электроснабжения, расчет системы заземления – 2 недели;
- проектирование системы компенсации реактивной мощности – 2 недели;
- разработка методов улучшения качества электроэнергии – 2 недели.\

5.1.2 Методические указания для обучающихся по практическим занятиям

1. Практическое занятие № 1. Структура современных систем бесперебойного и гарантированного электроснабжения (СБЭ и СГЭ).

Структура современных систем бесперебойного и гарантированного электроснабжения (СБЭ и СГЭ)

Цель занятия: изучение структурных схем построения современных систем бесперебойного и гарантированного электроснабжения.

Задание: овладение методикой построения структурных схем СБЭ и СГЭ.

Рекомендации по выполнению заданий:

Структурная схема электроснабжения современного офиса или центра обработки данных, включает значительное число компьютерных и телекоммуникационных устройств.

При изучении структуры и алгоритмов функционирования СБЭ и СГЭ особое внимание следует обратить на характер взаимодействия отдельных подсистем. К концу занятия каждый слушатель должен построить временную диаграмму, иллюстрирующую порядок взаимодействия СОЭ, СБЭ и СГЭ.

2. Практическое занятие № 2. Классификация источников бесперебойного питания (ИБП).

Цель занятия: изучение принципов классификации источников бесперебойного питания.

Задание: составить комплексную схему классификации источников бесперебойного питания.

Рекомендации по выполнению заданий:

Классификация ИБП может осуществляться по следующим критериям:

- установленная мощность;
- климатическое исполнение;
- принцип действия;
- структурная схема;
- уровень защиты от основных проблем в сети;
- по надежности работы.

Классификация по трем последним критериям осуществляется на основании европейского стандарта IEC 620403. Согласно этому нормативному документу ИБП классифицируется так:

– по структурной схеме построения

- класс VFI (Voltage and Frequency Independent) — выходное напряжение и частота на выходе ИБП не зависят от входной сети;

- класс VI (Voltage Independent) – выход ИБП зависит от частоты входа, но напряжение поддерживается в заданных пределах пассивным или активным регулированием;

- класс VFD (Voltage and Frequency Dependent) — выходное напряжение и частота на выходе ИБП зависят от входной сети.

– по уровню защиты от основных проблем в сети:

SS – синусоидальная форма выходного сигнала (коэффициент гармонических искажений $K_{ги8\%}$) при линейной и нелинейной нагрузке.

XX – несинусоидальная форма выходного сигнала при нелинейной нагрузке (синусоидальная при линейной).

YY – несинусоидальная форма выходного сигнала при любой нагрузке.

Третья группа символов – динамические характеристики ИБП.

Обеспечение стабильности выходного напряжения ИБП при трёх типах переходных процессов:

«1» — класс 1, отлично;

«2» — класс 2, хорошо; и т.д.:

ИБП любого класса является сложным электронным прибором, вероятность отказа которого необходимо учитывать при оценке параметров надёжности защищаемой системы. Оставив в стороне вопросы построения ИБП параллельной архитектуры для повышения коэффициента готовности систем, оценим показатели надёжности единичного блока.

Наиболее часто для оценки показателей надёжности используются следующие параметры:

- MTBF — (Mean Time Between Failure — среднее время безотказной работы) характеризует надёжность собственно системы или блока;
- MTTR — (Mean Time To Repair — среднее время ремонта) может составлять от получаса, если инженеры и запчасти находятся поблизости, до неопределённого срока; характеризует в большей степени уровень обслуживания блока или системы;
- частота отказов ($1/MTBF$) — удобная величина для оценки числа отказов в год.

Например, если $MTBF=20$ лет, то частота отказов равна 0,05, или 5 % в год. Другими словами, для парка из 50 одинаковых блоков можно ожидать 2,5 отказа в год.

Значение $MTBF$ рассчитывается производителем на основе схемы ИБП, на него непосредственно влияют простота схемных решений, отказоустойчивость компонентов, их количество и воспринимаемая нагрузка. Эти вычисления позволяют сравнивать различные схемные решения при проектировании, но не дают реальных цифр. Производители не рассчитывают значения $MTBF$ для ИБП классов VI и VFD. Топология этих блоков такова, что в основном режиме работы мощность передаётся с входа прямо в нагрузку. Очевидно, при этом блок испытывает несоизмеримо меньшую нагрузку, чем при работе от батареи, поэтому $MTBF$ в этом режиме может иметь неограниченно большое значение.

Для оценки надёжности ИБП классов VI и VFD можно ориентироваться на параметр «число отказов в год» (Annual Failure Rate), вычисляемый компанией APC для своих Smart UPS на основе данных о сотнях тысяч установленных по всему миру блоков; среднее значение AFR составляет 0,5%. Фирма GEDE предоставляет значения параметра $MTBF$ для ИБП следующих серий:

Match (класс VI) — $MTBF=50$ лет;

NetPro (класс VFI) — $MTBF=30$ лет;

SitePro, LanPro (класс VFI) — $MTBF=16$ лет.

3. Практическое занятие № 3. Источники бесперебойного питания, построенные по технологиям VFD, VI и VFI.

Цель занятия: изучение источников бесперебойного питания, построенным по технологиям VFD, VI и VFI.

Задание: изучить принципы действия, достоинства и недостатки ИБП, построенных по технологиям VFD, VI и VFI.

Рекомендации по выполнению заданий:

На основании анализа структурных схем устройств, а также осциллограмм их работы в различных режимах составить комплексную таблицу, отражающую достоинства и недостатки технологий VFD, VI, VFI

4. Практическое занятие № 4. Централизованные, распределенные и двухуровневые СБЭ. Цель занятия: изучение схем построения систем бесперебойного электроснабжения. Задание: проанализировать достоинства и недостатки централизованных, распределенных и двухуровневых структур построения СБЭ.

Рекомендации по выполнению заданий:

Построение систем бесперебойного электроснабжения может производиться по различным схемам в зависимости от требований к надежности работы системы, количества и мощности потребителей, строительно-архитектурных особенностей зданий, условий размещения основного оборудования СБЭ и некоторых других факторов, определяемых заданием на проектирование и результатами рабочего проектирования.

В соответствии со сложившейся технической практикой создания СБЭ можно выделить две традиционные структуры систем — распределенную и централизованную (локальную). В распределенной системе СБЭ, электроприемник (или небольшая группа электроприемников) получает питание от отдельного (локального) ИБП.

Централизованная система строится на основе одного или нескольких мощных ИБП.

Преимуществами распределенной системы являются:

- отсутствие необходимости переделки кабельной сети при использовании «розе-точных» ИБП;

- простота наращивания мощности и изменения конфигурации;

- отключение только части системы при отказе одного ИБП и устранение последствий отказа простой заменой поврежденного источника;

- отсутствие необходимости выделения специальных помещений для размещения ИБП.

Недостатками распределенной системы являются:

- неэффективное использование установленной мощности ИБП из-за невозможности обеспечения номинальной загрузки всех ИБП;

- время автономной работы всей системы не является общим для всех нагрузок;

- недостаточная перегрузочная способность системы при подключении дополнительной нагрузки или коротком замыкании в цепи нагрузки одного ИБП; этот недостаток не является существенным и проявляется редко;

- при использовании ИБП с режимами работы VFD или VI даже при сбалансированной симметричной нагрузке в нейтральном проводнике возникают токи, значения которых могут превосходить значения токов в фазных проводниках; это явление приводит к перегрузке нейтрального проводника и ухудшению электромагнитной совместимости.

Преимуществами централизованной структуры СБЭ являются:

- эффективное использование установленной мощности ИБП и емкости батарей;

- устойчивость к локальным перегрузкам;

- возможность увеличения времени автономной работы за счет отключения менее ответственных потребителей в соответствии с так называемым планом «деградации» системы;

- исключение перегрузки нейтрального проводника на участке от ввода до ИБП.

Недостатком централизованной системы является вероятность общего отказа из-за неисправности распределительной сети бесперебойного электроснабжения или самого ИБП.

На практике часто применяют двухуровневую систему, которая представляет собой комбинацию централизованной и распределенной системы (рис. 9).

Оптимизация установленной мощности ИБП и соответственно стоимости оборудования состоит в выделении наиболее ответственных потребителей, которые будут получать электроснабжение от ИБП малой мощности (ИБП «второго уровня»), последовательно подключенных к централизованной системе. Целью двухуровневого резервирования является защита такого оборудования, как, например, файловые серверы и наиболее ответственные рабочие станции управления ЛВС, коммуникационное оборудование,

системы связи, от обесточивания вследствие аварий в электрической сети внутри здания, вызванных локальными повреждениями — короткими замыканиями или перегрузками (в том числе в сети бесперебойного электроснабжения, подключенной к основному ИБП).

5. Практическое занятие № 5. Системы гарантированного электроснабжения.

Цель занятия: изучение систем гарантированного на базе дизель-генераторных установок (ДГУ).

Задание: изучение структуры СГЭ, а также устройств управления ДГУ.

Рекомендации по выполнению заданий:

В нормальных условиях, т.е., при сохранении основного питания, оборудование СГЭ функционирует в следующем режиме:

Контактор в блоке управления и коммутации нагрузки ДГУ находится в положении "Mains", т.е. основная сеть. Электроснабжение потребителей группы "В" осуществляется через этот контактор напрямую от основной сети. ИБП запитан также от основной сети через контактор БУ КН ДГУ. Работая в режиме двойного преобразования энергии, ИБП обеспечивает стабильно высокие показатели качества электро-энергии на выходе. Аккумуляторные батареи находятся в режиме поддерживающего заряда, тем самым обеспечивается их максимальный ресурс при отключении внешнего питания ИБП. При возникновении аварийной ситуации (отключение централизованного электроснабжения) пропадает питание на входе основных ИБП, которые переходят в режим работы от аккумуляторных батарей. Перерыва в электроснабжении потребителей группы "А" не происходит, поскольку схема VFI гарантирует бесперебойность работы инвертора. По команде от датчика наличия входной сети, встроенного в БУ КН ДГУ, начинается отсчет времени (длительность интервала программируется), после окончания которого блок управления дает команду на запуск ДГУ. Если первая попытка запуска была неудачной, блок автоматики повторяет команду на запуск. После выхода ДГУ на рабочий режим (частота и напряжение в пределах допуска), блок управления обеспечивает переключение контактором нагрузки на выход генератора. Блок микро-процессорного управления ИБП имеет алгоритм "мягкого старта", с помощью которого увеличение потребления по входу при возобновлении питания ИБП происходит не скачкообразно, а постепенно (длительность этого интервала увеличения нагрузки до максимального значения составляет не менее 10 секунд). Эта функция ИБП позволяет не перегружать генератор при подключении нагрузки большой мощности и сохранять ПКЭ на его выходе в пределах номинальных значений. В автономном режиме СГЭ может функционировать в течение длительного промежутка времени, определяемого количеством топлива в топливном баке ДГУ и удельным расходом топлива (величина этого параметра зависит от нагрузки). Если централизованное электроснабжение не восстанавливается по окончании ресурса топлива в штатном топливном баке, то блок автоматики ДГУ останавливает генератор, не вырабатывая минимальный резерв топлива, необходимый для гарантированного запуска ДГУ в дальнейшем. В этом случае дежурный персонал должен принять решение о прекращении работы оборудования и отключении ИБП, либо о продолжении работы до исчерпания ресурса аккумуляторных батарей и автоматического отключения ИБП. Время автономной работы ИБП является функцией от величины текущей потребляемой мощности, поэтому уменьшение энергопотребления путем отключения менее ответственной нагрузки позволяет существенно продлить время автономной работы.

Каскадная структура построения СГЭ обеспечивает дополнительный ресурс автономной работы для наиболее ответственного оборудования (серверные комплексы, активное сетевое оборудование, а также системы связи). Поэтому даже при отключении центрального ИБП файловые структуры на серверах не нарушаются, поскольку специальное программное обеспечение связи с ИБП инициирует процесс закрытия серверов в автоматическом режиме при отключении центрального ИБП.

При устранении аварии энергоснабжения здания до исчерпания ресурса топлива ДГУ блок управления ДГУ по команде от датчика состояния входной сети переключает контактором нагрузку на основной вход. После этого (через 120 секунд после отключения нагрузки от генератора) происходит автоматическое глушение двигателя. Этот промежуток времени, в течение которого ДГУ работает без нагрузки, позволяет быстро охладить генератор и двигатель, что гарантирует более надежный запуск ДГУ при следующих авариях. Поскольку энергоснабжение ответственных потребителей (группы "А") осуществляется через ИБП, искажения и помехи, вызываемые переключениями контактора ДГУ, не оказывают влияния на сеть защищенного электропитания.

6. Практическое занятие № 6. Динамические ИБП

Цель занятия: изучение динамических источников бесперебойного питания, реализуемых на базе электромашинных комплексов с маховиками.

Задание: изучение схем и характеристик современных ИБП динамического типа.

Рекомендации по выполнению заданий:

Эта машина с маховиком может служить кратковременным источником энергии и в статических, и в динамических ИБП. При наличии напряжения во внешней сети маховик раскручивается (аккумулируя энергию), а при его пропадании машина начинает работать в качестве электрогенератора, отдавая накопленную энергию нагрузке. Типовое время резервирования, обеспечиваемого маховиком, составляет всего несколько десятков секунд. Поставщики статических ИБП часто рекомендуют устанавливать такое устройство вместе с АКБ, чтобы он брал на себя все кратковременные перебои в этом случае аккумуляторы задействуются гораздо реже, что повышает срок их службы.

Согласно классификации, предложенной Frost Sullivan, динамические ИБП делятся на три группы:

- дизельные (Diesel Rotary UPS),
- гибридные (Hybrid Rotary UPS),
- ИБП типа Ride-through.

Типичный дизельный динамический ИБП (ДДИБП) представляет собой собранные соосно на одном валу дизельный двигатель, электромагнитную муфту сцепления, синхронную электрическую машину и маховик. Такую конструкцию имеют решения компаний EuroDiesel, Hitec Power Protection и Hitzinger; в ДДИБП компании Piller маховик вынесен отдельно. Следует обратить внимание еще на один элемент ДДИБП — специальный развязывающий дроссель, который соединяет вход сетевого напряжения с выходом «чистого» напряжения системы ИБП. Этот дроссель обеспечивает высокую степень развязки между входом и выходом, блокируя прохождение гармоник и переходные процессы.

При наличии внешнего электропитания синхронная электрическая машина ДДИБП работает в режиме электродвигателя, поддерживая вращение жестко закрепленного на валу ротора маховика. При выходе параметров сети за установленные пределы она переводится в генераторный режим, поддерживая на нагрузке непрерывное синусоидальное напряжение. Источником энергии во время переходного процесса является маховик, благодаря которому сохраняется устойчивая частота вращения вала ротора синхронной электрической машины. Кинетическая энергия вращения маховика может достигать значений 16 МДж. Спустя 200..300 мс от момента обнаружения пропадания напряжения в сети система управления ДДИБП подает сигнал на запуск дизельного двигателя от стартерных АКБ. Через одну секунду — не важно, произошел ли пуск дизеля от АКБ или нет — закрывается муфта сцепления, установленная между валом ротора синхронного генератора и коленчатым валом дизеля. Кинетическая энергия маховика продолжает расходоваться как на поддержание выходного напряжения на шинах синхронного генератора, так и для вывода на рабочую частоту вращения (1500 об/мин.) коленчатого вала дизеля. В такой ситуации дизель может не запуститься лишь по одной-

единственной причине — если отсутствует дизельное топливо, поскольку требуемая компрессия в цилиндрах двигателя обеспечивается принудительным внешним вращением коленчатого вала на рабочей частоте. Общая продолжительность переходного процесса и выхода на рабочий режим занимает от 2 до 5 с (в зависимости от типа используемого накопителя кинетической энергии).

В гибридном динамическом ИБП (ГДИБП) присутствует как мотор-генератор, так и свойственные статическим ИБП выпрямитель и инвертор. Однако основной путь подачи электричества потребителю проходит через мотор-генератор: входное напряжение поступает на его моторные обмотки, а с генераторных обмоток снимается «чистое» напряжение. Система UBR компании Piller работает в таком режиме до тех пор, пока напряжение во входной сети находится в диапазоне $\pm 8\%$ от номинального. При выходе за эти пределы ГДИБП переключается на цепь двойного преобразования (через выпрямитель и инвертор), этот режим поддерживается при колебаниях напряжения от $+10$ до -15% (-20% кратковременно). В случае дальнейшего ухудшения качества напряжения или его полного пропадания система переходит на работу от аккумуляторной батареи. Альтернативный источник энергии (дизель-генератор) может подключаться так же, как в схемах с обычным статическим ИБП.

Системы типа Ride-through во многом схожи с ДДИБП, отличаясь лишь отсутствием «встроенного» дизельного двигателя. Соответственно, такие системы способны обеспечивать резервное питание ровно столько, сколько будет «держаться» маховик — как правило, несколько десятков секунд. Некоторые производители, например Active Power и Caterpillar, называют подобную архитектуру параллельной онлайн-вой (parallel online). Она противопоставляется типичной для статических ИБП архитектуре с двойным преобразованием энергии, при этом подчеркивается, что отказ от двойного преобразования повышает КПД систем. Как и в ГДИБП, в системах Ride-through внешний дизель-генератор можно подключить по типовым схемам, а имеющиеся технические решения позволяют организовать его запуск от энергии, генерируемой маховиком.

7. Практическое занятие № 7. Интеллектуальная система электроснабжения современного офиса.

Цель занятия: изучение принципов построения интеллектуальных систем электроснабжения офисных зданий и ЦОД.

Задание: изучить структуру и основные элементы интеллектуальных систем электроснабжения офисных зданий и ЦОД.

Рекомендации по выполнению заданий:

Интеллектуальная система электроснабжения (ИСЭЛ) использует открытые протоколы обмена данными между различными элементами через сетевые контроллеры, позволяя создать распределенную инфраструктуру, которая имеет высокую степень открытости для наращивания и модернизации. В максимальной конфигурации ИСЭЛ может осуществлять централизованный мониторинг оборудования и управление следующими инженерно-техническими системами и комплексами:

- ввода и распределения электроэнергии;
- защиты и заземления;
- общего электроснабжения;
- аварийного электроснабжения;
- гарантированного и бесперебойного электроснабжения;
- энергосбережения и оптимизации нагрузки;
- электропитания высокотехнологического оборудования;
- контроля, управления и учета электроэнергии.

Архитектура ИСЭЛ позволяет сформировать пять уровней шин электропитания, обеспечивающих необходимую надежность, эффективность и качество энергии в соответствии со стандартом для различных групп электрооборудования и обеспечить

решение системных задач по электромагнитной совместимости (ЭМС).

ИСЭЛ предусматривает:

- обеспечение централизованного контроля и управления электроснабжением предприятия (здания, объекта) с заданной надежностью и энергоэффективностью;
- управление в автоматическом режиме работой коммутирующими аппаратами и распределения электроэнергии по потребителям;
- обеспечение бесперебойного питания критичного электрооборудования;
- получение объективной информации о работе и состоянии всех подсистем и своевременного сообщения диспетчерам о необходимости вызова специалистов по сервисному обслуживанию в случае отклонения параметров элементов системы от штатных показателей;
- обеспечение адаптации системы к проблемам ЭМС, перенастройки параметров и структуры системы для оптимальной работе в условиях нелинейных нагрузок;
- оптимальный режим управления инженерным оборудованием с целью сокращения затрат на использование энергоресурсов;
- осуществление своевременной локализации аварийных ситуаций.

Архитектура ИСЭЛ также позволяет:

- осуществлять своевременную локализацию аварийных ситуаций; оперативно принимать решения при аварийных и нештатных ситуациях (отключении электроснабжения, пожаре и т.п.);
- ввести объективный анализ работы оборудования и действий инженерных служб;
- сократить расходы на дорогостоящие ремонт и замену вышедшего из строя оборудования, продлить срок его службы за счет постоянного мониторинга параметров системы и своевременного проведения ремонтных работ;
- снизить на 20...30% ежемесячные платежи за счет работы систем в наиболее экономном режиме и автоматического перевода инженерии объекта из дневного в ночной режим работы;
- сократить в 2-3 раза расходы на службу эксплуатации электрооборудования за счет перевода системы в автоматический режим, что снижает расходы на ремонт или замену дорогостоящего оборудования, вышедшего из строя по причине халатности персонала или ошибок оператора;
- снизить расходы при расширении системы и модернизации за счет использования возможностей открытой архитектуры.

Архитектура ИСЭЛ позволяет обеспечить общий контроль системы с помощью программно-аппаратных средств управления и мониторинга параметров системы. Наиболее часто потребители электроэнергии встречаются с следующими видами искажения напряжения в системах электропитания:

- импульсные помехи и высокочастотный шум;
- повышенное или пониженное напряжение;
- отклонение частоты или гармонические искажения напряжения;
- искажение напряжения при переходных процессах;
- кратковременные перебои или полное пропадание электропитания.

Эти помехи вызываются различными причинами, включая аварии, проблемы при переключениях в кабельных сетях и распределительных устройствах, работа мощного промышленного оборудования, экстремальные погодные условия. Проблемы с электропитанием могут приводить к снижению производительности, выходу из строя оборудования, ухудшению качества продукции, ошибкам в обработке данных, рискам потери важной информации и т.д.

Обобщенная структура ИСЭЛ представлена на рис.19. Формирование шин питания различного уровня обеспечивается аппаратными и программными средствами для стабилизации, преобразования и резерва электропитания потребителей различного уровня

надежности.

Нулевой уровень шины питания соответствует качеству напряжения входного фидера с трансформаторной подстанции ТП.

Два входных фидера с ТП и АВР 1 формируют шину первого уровня с качеством электроэнергии, поступающей от общепромышленной сети.

Вводнораспределительное устройство (ВРУ) формирует шину второго уровня, защищенную от сетевых перенапряжений, высокочастотных гармоник и шума. Шина второго уровня обеспечивает защиту от перегрузок, короткого замыкания, компенсацию реактивной составляющей мощности.

Стабилизатор напряжения переменного тока (СН) формирует шину третьего уровня, обеспечивающую стабильное напряжение питания в определенном диапазоне отклонений напряжения сети.

Источник бесперебойного питания (ИБП) переменного тока формирует шину четвертого уровня переменного тока, обеспечивающую бесперебойное питание однофазных и трехфазных нагрузок переменного тока 50 Гц с высокой стабильностью и низким коэффициентом искажения синусоидальности напряжения шины.

Зарядное устройство (ВЗУ) формирует шину четвертого уровня постоянного тока, обеспечивающую бесперебойное питание нагрузок постоянного тока.

В структуре ИСЭЛ принят многоуровневый способ включения компенсаторов реактивной мощности (КРМ) и компенсаторов мощности искажения (КМИ) на шинах второго и третьего уровней (рис. 20). КРМ подключаются непосредственно как на входе питания мощных индуктивных (ИН), например асинхронных электродвигателей, так и на общей шине соответствующего уровня. КМИ подключаются на входе не-линейных нагрузок (НН) типа выпрямителей, ИБП, преобразователей частоты (ПЧ), импульсных источников питания и т.д. для компенсации высших гармоник тока, генерируемых нелинейной нагрузкой в общую шину.

ВРУ содержит средства защиты, коммутации и распределения электроэнергии сети. Для обеспечения ЭМС с сетью такие помехи, как кратковременные выбросы, переходные перенапряжения, высокочастотный шум, гармонические искажения, могут быть устранены путем применения специальных фильтрующих и защитных устройств:

- сетевые автоматические выключатели,
- сетевые фильтры высоко частотных шумов,
- фильтры высших гармоник (250, 350, 550 Гц),
- варисторные блоки устройств защиты от перенапряжений,
- устройства дифференциальной защиты от токов утечки.
- быстродействующие предохранители – плавкие вставки,
- счетчики учета электроэнергии.

Указанные блоки могут быть дополнительно установлены в вводнораспределительном устройстве (ВРУ), формируя шину трехфазного сетевого напряжения второго уровня гарантии. В состав ВРУ входят также многофункциональный измерительный контроллер (МИК), анализатор состояния изоляции кабеля (АСИ), анализатор качества заземления (АКЗ).

Ступенчатые КРМ переключают секции конденсаторных батарей, обеспечивая оптимальную компенсацию реактивной мощности. В зависимости от используемых коммутаторов КРМ делятся на: контакторные и тиристорные. Диапазон мощностей КРМ-0,4кВ принят от 10 до 1600 квар.

Гармоники тока, создаваемые нелинейными нагрузками, могут представлять собой серьезные проблемы для систем электропитания. Гармонические составляющие тока с частотами, кратными основной частоте источника питания, вызывают появление мощности искажения. Высшие гармоники тока, накладываемые на основную гармонику, приводят к искажению формы тока. В свою очередь искажение тока влияет на форму

напряжения в системе электропитания, вызывая недопустимые воздействия на нагрузки системы. Увеличение общего действующего значения тока при наличии высших гармонических в системе приводит к перегреву всего оборудования распределенной сети электропитания, снижению коэффициента мощности, снижению электрического и механического КПД нагрузок, ухудшению характеристик защитных автоматов и снижению требуемой мощности автономных электроэнергетических установок.

КМИ могут быть реализованы на основе пассивных LC-фильтров, настроенных на 3-ю гармонику для однофазных нагрузок, или на 5, 7, 11, 13-ю гармоники для трехфазных нагрузок. Возможно использование активных кондиционеров гармоник (АКГ), самонастраивающихся на определенные частоты высших гармоник. Точковый диапазон компенсации высших гармоник АКГ составляет 20 – 120 А.

Стабилизаторы напряжения переменного тока 50 Гц предназначены для поддержания стабильного напряжения питания нагрузок бытового и промышленного назначения при отклонениях сетевого напряжения в широком диапазоне. Стабилизатор напряжения компенсирует колебания (снижение или повышение) сетевого напряжения, формируя шину стабильного напряжения для потребителей (шину гарантированного напряжения переменного тока третьего уровня).

Различают следующие типы стабилизаторов:

- СТС - стабилизатор с подмагничиванием;
- СДТ - стабилизатор дискретный тиристорный;
- СДП - стабилизатор двойного преобразования;
- СТЭМ - стабилизатор электромеханический;

Диапазон мощностей трехфазных стабилизаторов составляет: 10 – 1000 кВ•А.

С помощью ИБП формируется шина гарантированного напряжения четвертого уровня для питания наиболее критичных нагрузок. ИБП предназначены для защиты электрооборудования пользователя от неполадок в сети, включая искажение или провал напряжения сети, а также подавление высоковольтных импульсов и высокочастотных помех, поступающих из нее. В структуре ИСЭЛ используются ИБП с двойным преобразованием энергии.

Выпрямительно-зарядные устройства входят в состав источников бесперебойного питания постоянного тока (ИБП) и щитов оперативного тока (ШОТ), формирующих шину гарантированного питания постоянного тока четвертого уровня. Электрические параметры ВЗУ: напряжение шины - 24, 48, 60, 120, 220 В; ток нагрузки 10 – 100 А.

Ряд нагрузок с высокими пусковыми токами, такие как асинхронные двигатели, должны оснащаться устройствами плавного пуска (УПП). Повышенный ток в моменты пуска двигателя вызывает перегрев обмоток двигателя, перегружает питающие кабели, может привести к срабатыванию защиты, сокращает срок службы оборудования. Кроме этого при прямом пуске мощных двигателей имеет место просадка напряжения на сетевой шине, что может отрицательно сказываться на работе другого оборудования.

Преобразователи частоты (ПЧ) рекомендуются для управления асинхронными электроприводами в различном технологическом оборудовании. Применение регулируемого электропривода позволяет создавать новую энергосберегающую технологию и предназначены для управления электродвигателями 0,4 кВ мощностью от 0,75 до 400 кВт.

АВР1 предназначено для подключения одного из двух сетевых фидеров к шине первого уровня. АВР2 предназначено для подключения автономной дизель-генераторной установки (ДГУ) к вводно-распределительному устройству (ВРУ) при длительном отсутствии сетевого напряжения. ДГУ оснащена автоматической панелью управления (АПУ).

ИСЭЛ использует открытые протоколы обмена данными между различными элементами через сетевые контроллеры, позволяя создать распределенную инфраструктуру, которая

имеет высокую степень открытости для наращивания и модернизации. Ежедневные операции по измерению, получению данных и планированию энергопотреблению выполняются с помощью высококачественных и эргономических машинных интерфейсов и систем наблюдения и контроля. Многофункциональный измерительный контроллер (МИК) и серия регуляторов коэффициента мощности (КРМ) поддерживают протокол Modbus RTU и Modbus ASCII при использовании RS-232 и RS-485 портов. Использование этих функций позволяет считывать показания приборов и управлять ими с помощью программного обеспечения удаленного контроля DCRJSW.

5.1.3 Методические указания для обучающихся по лабораторным работам:

1. Лабораторная работа № 1. Моделирование режимов систем электроснабжения на основе фазных координат.

Цель работы: работа с комплексом программ Fazonord, знакомство с цифровой моделью системы электроснабжения в фазных координатах.

Программа работы:

Моделирование осуществляется применительно к схеме СЭС, заданной преподавателем.

1. На основе моделирования режимов СЭС в программе Fazonord получить следующие результаты:

- уровни напряжений в узловых точках СЭС;
- параметры, характеризующие качество электроэнергии (отклонения напряжений, коэффициенты несимметрии по обратной и нулевой последовательности);
- интегральные характеристики режима СЭС (потери мощности и энергии в ЛЭП и трансформаторах);

2. Подобрать коэффициенты трансформации, обеспечивающие соблюдение требований ГОСТ Р 54149-2010 по установившимся отклонениям напряжения.

3. Перераспределить нагрузки по фазам с целью соблюдения требований ГОСТ по несимметрии напряжений по обратной и нулевой последовательностям.

4. Оценить энергоэффективность СЭС после рационализации ее режима.

Содержание отчета:

1. Цель работы.

2. Результаты моделирования исходного режима СЭС и их анализ.

3. Результаты моделирования рационализованного режима по условиям улучшения качества электроэнергии и энергоэффективности.

4. Выводы по результатам моделирования.

2. Лабораторная работа № 2. Моделирование систем электроснабжения железных дорог.

Программа работы:

1. Выполнить моделирование режимов системы электроснабжения магистральной железной дороги (СЭЖД). Особое внимание обратить на возможность использования районных обмоток тяговых трансформаторов как источников питания СЭС общего назначения.

2. Определить показатели качества электроэнергии в сетях 110 и 10 кВ.

4. Обоснованно оценить эффективность применения районных обмоток тяговых трансформаторов в качестве источников питания СЭС общего назначения.

Содержание отчета:

1. Цель работы.

2. Результаты моделирования режимов СЭЖД.

4. Оценка эффективности применения районных обмоток тяговых трансформаторов в качестве источников питания СЭС общего назначения.

5. Выводы по результатам моделирования.

3. Лабораторная работа № 3. Моделирование систем электроснабжения, построенных с использованием самонесущих изолированных проводов (СИП).

Цель работы: определение технической эффективности СИП на основе компьютерного моделирования СЭС с использованием фазных координат и решетчатых схем замещения, соединенных по схеме полного графа.

Программа работы:

1. Выполнить моделирование режимов в СЭС.

2. Определить показатели качества электроэнергии в сети 0.4 кВ.

3. Определить показатели СЭС СИП с аналогичными параметрами для традиционной СЭС с воздушными линиями, выполненными неизолированными проводами.

4. Обоснованно оценить эффективность применения СИП по критериям повышения качества электроэнергии и снижения ее потерь.

Содержание отчета:

1. Цель работы.

2. Результаты моделирования режимов СЭС с воздушными линиями, выполненными неизолированными проводами, и их анализ.

3. Результаты моделирования режимов СЭС с воздушными линиями, выполненными СИП, и их анализ.

4. Оценка эффективности применения СИП по критериям повышения качества электроэнергии и снижения ее потерь.

5. Выводы по результатам моделирования.

4.

Лабораторная работа № 4. Моделирование систем электроснабжения, построенных с использованием СПЭ - кабелей.

Цель работы: определение технической эффективности СПЭ - кабелей на основе компьютерного моделирования СЭС с использованием фазных координат и решетчатых схем замещения, соединенных по схеме полного графа.

Программа работы:

1. Выполнить моделирование режимов в СЭС.

2. Определить показатели качества электроэнергии в сети.

3. Рассмотреть следующие технические решения по снижению токов в экранах кабеля при несимметричных режимах:

- транспозиция экранов;
- применение фильтров нулевой последовательности;
- создание дополнительных каналов для протекания токов нулевой последовательности

4. Обоснованно оценить эффективность применения СПЭ по критериям повышения

качества электроэнергии и снижения ее потерь.

Содержание отчета:

1. Цель работы.
2. Результаты моделирования режимов СЭС, выполненной на основе СПЭ -кабелей.
3. Результаты моделирования режимов СЭС при различных способах ограничения токов, протекающих по экранам кабеля.
4. Оценка эффективности применения СПЭ -кабелей по критериям повышения качества электроэнергии и снижения ее потерь.
5. Выводы по результатам моделирования.

5. Лабораторная работа № 5. Моделирование систем электроснабжения, построенных с использованием гибких симметричных токопроводов.

Цель работы: определение технической эффективности гибких симметричных токопроводов на основе компьютерного моделирования СЭС с использованием фазных координат и решетчатых схем замещения, соединенных по схеме полного графа.

Программа работы:

1. Выполнить моделирование режимов в СЭС с заданной расчётной схемой.
2. Определить показатели качества электроэнергии в сети.
4. Определить токораспределение в расщепленных фазах, построить лепестковые диаграммы.
3. Оценить эффективность применения внутрифазовой транспозиции проводов для выравнивания токораспределения..
4. Обоснованно оценить эффективность применения гибких симметричных токопроводов по критериям повышения качества электроэнергии и снижения ее потерь.

Содержание отчета:

1. Цель работы.
2. Результаты моделирования режимов СЭС, выполненной на основе гибких симметричных токопроводов.
3. Результаты моделирования режимов СЭС с учетом внутрифазовой транспозиции проводов.
4. Оценка эффективности применения гибких симметричных токопроводов по критериям повышения качества электроэнергии и снижения ее потерь.
5. Выводы по результатам моделирования.

6. Лабораторная работа № 6. Моделирование систем электроснабжения, построенных с использованием жестких симметричных токопроводов.

Программа работы:

1. Выполнить моделирование режимов в СЭС. Для построения СЭС использованы жесткие симметричные токопроводы.
2. Определить показатели качества электроэнергии в сети.
4. Определить токораспределение по сечению фазной шины, построить лепестковые диаграммы.
3. Оценить влияние металлических коммуникаций, проложенных совместно с токопроводом, рис. 29.
4. Обоснованно оценить эффективность применения жестких симметричных токопроводов по критериям повышения качества электроэнергии и снижения ее потерь.

Содержание отчета:

1. Цель работы.
2. Результаты моделирования режимов СЭС, выполненной на основе жестких симметричных токопроводов.
3. Результаты моделирования с учетом совместной прокладки металлических

коммуникаций.

4. Оценка эффективности применения гибких симметричных токопроводов по критериям повышения качества электроэнергии и снижения ее потерь.

5. Выводы по результатам моделирования.

7. Лабораторная работа № 7. Моделирование систем электроснабжения, построенных с использованием магистральных и распределительных шинопроводов.

Программа работы:

1. Выполнить моделирование режимов магистральной сети 0.4 кВ, построенной с использованием шинопроводов типа ШМА.

2. Определить показатели качества электроэнергии в сети.

4. Определить токораспределение по сечению фазной шины, построить лепестковые диаграммы.

3. Оценить влияние экрана на распределение токов по сечению шин.

4. Выполнить моделирование трубчатого токопровода на повышенной частоте 500 и 2500 Гц.

5. Обоснованно оценить эффективность применения шинопроводов в СЭС в по критериям повышения качества электроэнергии и снижения ее потерь.

Содержание отчета:

1. Цель работы.

2. Результаты моделирования режимов СЭС, выполненной на основе магистральных и распределительных шинопроводов.

3. Результаты моделирования цеховых сетей повышенной частоты.

4. Оценка эффективности применения шинопроводов по критериям повышения качества электроэнергии и снижения ее потерь.

5. Выводы по результатам моделирования.

8. Лабораторная работа № 8. Моделирование режимов несимметричных коротких замыканий в системах электроснабжения.

Цель работы: изучение методов моделирования аварийных режимов в СЭС с использованием фазных координат и решетчатых схем замещения, соединенных по схеме полного графа.

Программа работы:

1. Выполнить моделирование следующих аварийных режимов в СЭС.

- режимы трехфазного, двухфазного короткого замыкания (КЗ) в сети 10 кВ;
- режимы простого замыкания на землю в сети 10 кВ;
- режим двойного замыкания на землю в сети 10 кВ;
- режимы трехфазного, однофазного, двухфазного и двухфазного в сети 0.4 кВ.

2. Предложить технические решения по ограничению токов КЗ; подтвердить эффективность принятых решений на основе компьютерного моделирования.

3. Рассмотреть возможность применения резистивно заземленной нейтрали с высокоомным резистором для ограничения токов замыкания на землю в сети 10 кВ.

4. Средствами ПК Fazopord векторные диаграммы (ВД) токов и напряжений для каждого вида моделируемых КЗ.

Содержание отчета:

1. Цель работы.

2. Результаты моделирования аварийных режимов в сети 10 кВ и их анализ.

3. Результаты моделирования аварийных режимов в сети 0.4 кВ и их анализ..

4. Краткое описание технических решений по ограничению токов КЗ с анализом их эффективности.

5. Выводы по результатам моделирования.

9. Лабораторная работа № 9. Моделирование неполнофазных режимов в системах электроснабжения.

Цель работы: изучение методов моделирования неполнофазных режимов в СЭС с использованием фазных координат и решетчатых схем замещения, соединенных по схеме полного графа.

Программа работы:

1. Выполнить моделирование следующих аварийных режимов в СЭС.
 - обрыв одной фазы в ЛЭП 110 кВ;
 - обрыв двух фаз в ЛЭП 110 кВ.
2. Проанализировать возможность использования неполнофазных режимов для повышения надежности электроснабжения.
3. Определить показатели качества электроэнергии на шинах 10 и 0.4 кВ трансформаторных подстанций.
3. Сделать обоснованные выводы о применимости неполнофазных режимов в СЭС.

Содержание отчета:

1. Цель работы.
2. Результаты моделирования режима при обрыве фазы А в ЛЭП 110 кВ и их анализ.
3. Результаты моделирования режима при обрыве фаз В и С в ЛЭП 110 кВ и их анализ.
4. Рекомендации о практическом использовании неполнофазных режимов в СЭС.
5. Выводы по результатам моделирования.

10. Лабораторная работа № 10. Моделирование несинусоидальных режимов в системах электроснабжения.

Цель работы: изучение методов моделирования несинусоидальных режимов в СЭС с использованием фазных координат и решетчатых схем замещения, соединенных по схеме полного графа.

Программа работы:

1. Выполнить моделирование следующих несинусоидальных режимов в СЭС.
 - несинусоидальные режимы с источником высших гармоник (ВГ) в питающей сети;
 - несинусоидальные режимы с источником ВГ в сети СЭС;
2. Определить показатели качества электроэнергии по несинусоидальности кривой напряжения на шинах 10 и 0.4 кВ трансформаторных подстанций.
3. Предложить технические решения по улучшению качества электроэнергии на основе пассивных фильтров высших гармоник.

Содержание отчета:

1. Цель работы.
2. Результаты моделирования несинусоидальных режимов с источником высших гармоник в питающей сети и их анализ.
3. Результаты моделирования несинусоидальных режимов с источником высших гармоник в сети СЭС и их анализ.
4. Характеристика технических решений по улучшению качества электроэнергии.
5. Выводы по результатам моделирования.

11. Лабораторная работа № 11. Моделирование симметрирующих устройств.

Программа работы:

1. На основе технологий функционально адекватного моделирования выполнить моделирование СЭС с устройствами FACTS, снабженными пофазным управлением.
2. Определить показатели качества электроэнергии в сети до и после установки FACTS.
5. Обоснованно оценить эффективность применения устройств FACTS в СЭС в по критериям повышения качества электроэнергии и снижения ее потерь.

Содержание отчета:

1. Цель работы.
2. Результаты моделирования режимов СЭС до размещения устройств FACTS.
3. Результаты моделирования режимов СЭС после размещения устройств FACTS.
4. Оценка эффективности применения пофазно управляемых устройств FACTS по критериям повышения качества электроэнергии и снижения ее потерь.
5. Выводы по результатам моделирования.

12. Лабораторная работа № 12. Моделирование активных кондиционеров гармоник.

Программа работы:

1. На основе технологий функционально адекватного моделирования выполнить моделирование СЭС с активными кондиционерами гармоник (АКГ).
2. Определить показатели качества электроэнергии в сети до и после установки АКГ.
3. Обоснованно оценить эффективность применения АКГ в СЭС по критериям повышения качества электроэнергии и снижения ее потерь.

Содержание отчета:

1. Цель работы.
2. Результаты моделирования режимов СЭС до размещения АКГ.
3. Результаты моделирования режимов СЭС после размещения АКГ.
4. Оценка эффективности применения АКГ по критериям повышения качества электроэнергии и снижения ее потерь.
5. Выводы по результатам моделирования.

13. Лабораторная работа № 13. Моделирование электромагнитной обстановки в системах электроснабжения.

Программа работы:

1. На основе технологии моделирования электромагнитных полей (ЭМП), основанной на расчете режимов СЭС в фазных координатах провести моделирование ЭМП, создаваемой ЛЭП 0,4 кВ, выполненной на основе СИП.
2. Выполнить моделирование ЭМП традиционной ЛЭП с неизолированными проводами.
4. Обоснованно оценить эффективность применения СИП по критерию электромагнитной экологии.

Содержание отчета:

1. Цель работы.
2. Результаты моделирования ЭМП.
4. Оценка экологической эффективности применения СИП.
5. Выводы по результатам моделирования.

5.1.4 Методические указания для обучающихся по самостоятельной работе:

Задание № 1. Коррекция коэффициента мощности в СБЭ.

Цель задания: самостоятельное изучение способов коррекции коэффициента мощности в СБЭ.

Задание: проанализировать эффективность применяемых в современных условиях способов компенсации реактивной мощности в ИБП.

Рекомендации по выполнению задания:

Бестрансформаторный импульсный блок питания компьютера или другого офисного и бытового оборудования представляет собой однофазный мостовой выпрямитель, нагруженный на емкостной фильтр и высокочастотный импульсный преобразователь, и характеризуется негармонической формой потребляемого тока

При синусоидальном входном напряжении сети потребляемый ток i_{BX} каждый полупериод принимает форму импульса, длительность t_I и амплитуда ИИМ которого зависят от момента отпирания диодов и входного сопротивления выпрямителя на интервале потребления им тока, и характеризуется коэффициентом амплитуды.

В зарубежной литературе принято название аналогичного коэффициента – крест-фактор (crest-factor) или пик-фактор (peak-factor).

Для гармонического (синусоидального) тока коэффициент амплитуды равен 1,41.

При негармоническом токе коэффициент амплитуды возрастает. Это отрицательно сказывается на работе устройств, генерирующих электроэнергию ограниченной мощности. Так если источник бесперебойного питания, подключенный на входе компьютерных систем, выбран с недостаточно высоким показателем коэффициента амплитуды, то он не сможет обеспечить необходимую величину импульса тока в нагрузку. При этом форма его выходного напряжения искажается и становится негармонической, что может быть нежелательным для других линейных потребителей,

подключенных к тому же источнику. Кроме того, снижаются энергетические показатели оборудования, в частности коэффициент мощности.

Представляет интерес зависимость коэффициентов амплитуды и мощности от длительности импульса потребляемого тока). Для вывода аналитических зависимостей можно использовать два варианта аппроксимации формы импульса тока на полупериоде сетевого напряжения:

- в виде синусоиды с частотой, где $b > 1$ - показатель длительности импульса тока, характеризующий отношение частоты гармоники тока к частоте сети.
- в виде усеченной синусоиды с частотой основной гармоники.

Сравнение реальной формы импульсов тока нелинейной нагрузки типа однофазного выпрямителя с рассмотренными выше идеализированными импульсами позволяет считать, что разброс реальных значений коэффициентов мощности лежит в области между приведенными кривыми.

Полученное на практике значение при использовании бестрансформаторных импульсных источников питания составляет 0,6...0,7 при коэффициенте амплитуды потребляемого тока $KA = 2,5...3,2$. Для повышения используются различные корректоры коэффициента мощности, в том числе пассивные и активные. Активные корректоры можно подразделить на низкочастотные и высокочастотные. Низкочастотные активные корректоры включаются на входе мостового выпрямителя, а высокочастотные - на его выходе. В качестве высокочастотных корректоров используются повышающие преобразователи DC/DC (бустеры) или резонансные преобразователи, однако их подробное рассмотрение выходит за рамки данной публикации.

Включение в сеть переменного тока нелинейных нагрузок, например, светильников с газоразрядными лампами, управляемых электродвигателей, источников электропитания с емкостным фильтром и т.д. приводит к тому, что потребляемый этими устройствами ток имеет импульсный характер с высоким процентом содержания высоких гармоник, из-за которых могут возникать проблемы электромагнитной совместимости при работе различного оборудования. Коэффициент мощности при этом не превышает 0,7.

Стандартом VDE0712 были введены требования к потребителям электрической энергии по гармоническим составляющим потребляемого тока и коэффициенту мощности. Стоит отметить, что нормы распространялись только на осветительное оборудование мощностью более 25 Вт. В 1982 году европейским стандартом IEC555 были введены более жесткие ограничения, и действие стандарта распространилось также и на системы электропитания мощностью более 165 Вт. В настоящее время стандарт МЭК IEC 1000-3-2 определяет нормы по гармоническим составляющим потребляемого тока и коэффициенту мощности для систем электропитания мощностью более 50 Вт и всех типов осветительного оборудования. Постепенное ужесточение требований к потребителям электрической энергии вызвало необходимость принятия специальных мер и подтолкнуло разработчиков оборудования к проработке различных вариантов схем, обеспечивающих повышение коэффициента мощности. В 80-х годах прошлого века за рубежом активно начали использоваться микросхемы разных фирм производителей, которые позволили создать простые корректоры коэффициента мощности для выпрямительных устройств и электронных балластов. В Российской Федерации подобных ограничений к потребителям электроэнергии не вводилось. Возможно, по этой причине, вопросам повышения коэффициента мощности не уделялось достаточного внимания в технической литературе, а элементная база для схем коррекции, например - микросхемы управления, уступали зарубежным аналогам. В последние годы ситуация не-сколько изменилась, во многом благодаря наличию импортных электронных компонентов, применение которых позволяет создавать схемы активных корректоров надежных в работе и недорогих по стоимости.

Как правило, на входе источника питания или электронного балласта установлен

мостовой выпрямитель и фильтрующий конденсатор. Как видно на рис. 45в, ток из сети потребляется во время t_1-t_2 , когда выпрямленное напряжение сети превышает напряжение на конденсаторе. Коэффициент мощности (отношение активной составляющей мощности к полной мощности) для схемы, находится в пределах $0,5 \dots 0,7$ и зависит от величины ёмкости конденсатора и сопротивления нагрузки. Увеличение мощности нагрузки приводит к возрастанию пульсации на конденсаторе фильтра, которая для электролитических конденсаторов не должна превышать допустимых значений, как правило, несколько вольт.

Использование LC-фильтра для сглаживания пульсаций выпрямленного напряжения, можно назвать методом пассивной коррекции коэффициента мощности. Форма входного тока зависит от величины индуктивности дросселя и ёмкости конденсатора фильтра. Так как частота питающей сети 50 Гц элементы фильтра будут иметь большие размеры, что ухудшает массогабаритные показатели устройства. Коэффициент мощности при этом находится в пределах $0,7 \dots 0,85$. Необходимо заметить, что применение индуктивности приводит к перенапряжениям, возникающим на выходной ёмкости и на дросселе фильтра при скачкообразных изменениях тока нагрузки.

Методы активной коррекции коэффициента мощности можно условно разделить по частоте преобразования на низкочастотный и на высокочастотный.

На рис. 46а представлена схема низкочастотного корректора коэффициента мощности (ККМ), работающего на частоте 100 Гц. Принцип работы заключается в следующем. При положительной полуволне в момент перехода сетевого напряжения через ноль открывается на $1 \dots 2$ мс транзистор VT1, ток протекает через обмотку дросселя и диоды VD3, VD8. При выключении транзистора VT1 энергия, накопленная в дросселе, передается в конденсатор фильтра и нагрузку через диоды VD1, VD6. При отрицательной полуволне процесс повторяется, только токи проходят через другие пары диодов. В качестве нагрузки подключается DC-DC преобразователь, который обеспечивает нужное напряжение. В результате применения низкочастотного корректора форма тока потребляемого из сети имеет псевдосинусоидальный характер с низкими гармоническими составляющими, коэффициент мощности при полной нагрузке от 0,96 до 0,98.

Достоинствами представленной схемы являются низкие потери, возможность использования низкочастотных компонентов, обладающих высокой надежностью и низкой стоимостью. К недостаткам можно отнести большие габариты и массу.

Для уменьшения размеров элементов фильтра необходимо увеличить частоту преобразования. В большинстве случаев буферные устройства, включенные между сетевым выпрямителем и выходным преобразователем, работающие на частоте от 20 до 100 кГц и формирующие синусоидальный входной ток, выполнены по схеме повышающего преобразователя. Необходимо заметить, что в технической литературе приводились примеры разных вариантов включения дросселя и силовых ключей.

Методы управления силовыми транзисторами в представленных схемах могут быть различными. Например, для формирования кривой входного тока можно использовать датчик тока дросселя и датчик выпрямленного сетевого напряжения. Силовой транзистор открывается при нуле тока дросселя, а закрывается при равенстве выходных сигналов датчика тока и датчика напряжения. Форма тока в каждом цикле имеет треугольную форму, а его среднее значение пропорционально среднему выпрямленному напряжению. Частота переключения силового транзистора в данном случае изменяется в зависимости от тока нагрузки и сетевого напряжения, что делает невозможным синхронизацию работы корректора коэффициента мощности (ККМ) и DC-DC преобразователя, подключенного на его выходе.

Для устранения зависимости выходного напряжения от тока нагрузки в схему вводят узел умножителя сигналов с датчиков входного и выходного напряжения. Рассмотренный метод управления транзисторами ключа может быть довольно просто реализован с

помощью существующих контроллеров, например TDA4862. Данная микро-схема довольно широко применялась для коррекции коэффициента мощности в схемах электронных балластов и блоках питания мощностью до 100 Вт.

В настоящее время существует большое семейство микросхем управления для построения схем корректоров, работающих на постоянной частоте. Для формирования кривой входного тока в этом случае используется более сложная структура.

В структурах однофазных источников бесперебойного питания переменного тока (UPS) широкое применение нашла полумостовая схема инвертора, содержащая в качестве одного из плечей два последовательно включенных конденсатора. Напряжение на каждом конденсаторе поддерживается стабильным в пределах ± 400 В за счет высокочастотного ШИМ управления силового транзистора ККМ с постоянной частотой коммутации 10...20 кГц.

На рис.49 приведены схемы высокочастотных ККМ с дифференциальным выходом.

Схема содержит один дроссель L1 и один силовой транзистор VT1 и используется в UPS с двойным преобразованием энергии мощностью до 2...3 кВ•А.

При мощностях более 3 кВ•А в качестве ККМ используются два однотактные повышающие преобразователи (бустеры) на силовых транзисторах VT1, VT2 (рис.49б). Транзисторы управляются высокочастотными ШИМ сигналами независимо, каждый в соответствующий полупериод сетевого напряжения. Такая схема содержит два дросселя L1, L2, однако за счет снижения количества силовых диодов снижаются потери мощности в ККМ.

Многие фирмы выпускают руководства по применению, включающие методики для расчета схем корректоров коэффициента мощности для конкретных микросхем, рекомендации по выбору компонентов и особенностям их использования. На российском рынке появляются новые контроллеры, позволяющие создавать более надежные и дешевые источники питания с высоким коэффициентом мощности. В качестве примера можно привести микросхемы, объединяющие в одном корпусе корректор и ШИМ-контроллер для получения законченного источника питания, микросхемы, управляющие силовыми транзисторами корректора и обеспечивающие "мягкое" переключение последних, что позволяет увеличить частоту преобразования до сотен килогерц.

Задание №2. Способы подавления гармонических искажений в СБЭ.

Цель занятия: самостоятельное изучение способов уменьшения гармонических искажений в СБЭ.

Задание: проанализировать современные способы подавления гармонических искажений в СБЭ.

Рекомендации по выполнению задания:

Гармоники тока, создаваемые нелинейными нагрузками, могут представлять собой серьезные проблемы для систем электропитания. Гармонические составляющие представляют собой токи с частотами, кратными основной частоте источника питания. Высшие гармоники тока, накладываемые на основную гармонику, приводят к искажению формы тока. В свою очередь искажения тока влияют на форму напряжения в системе электропитания, вызывая недопустимые воздействия на нагрузки системы.

Наиболее распространенным оборудованием, генерирующим высшие гармоники тока в сеть, являются:

- статические преобразователи (выпрямители, системы бесперебойного питания, тиристорные регуляторы, импульсные источники питания и т.д.);
- газоразрядные осветительные устройства и электронные балласты;
- электродуговые печи постоянного и переменного тока;
- сварочные аппараты;
- устройства с насыщающимися электромагнитными элементами;

- электродвигатели переменного тока с регулируемой скоростью вращения;
- специальные медицинские приборы и т.д.

Указанные устройства являются генераторами высших гармоник тока в системе электропитания. В зависимости от места своего подключения и процентного соотношения с линейными нагрузками в этой системе они тем или иным образом будут оказывать влияние на другие нагрузки. Увеличение общего действующего значения тока при наличии высших гармонических в системе приводит к перегреву всего оборудования распределенной сети электропитания, снижению коэффициента мощности, снижению электрического и механического КПД нагрузок, ухудшению характеристик защитных автоматов и завышению требуемой мощности автономных электроэнергетических установок.

Ниже рассмотрены основные способы подавления высших гармоник тока путем применения:

- линейных дросселей,
- пассивных фильтров,
- разделительных трансформаторов,
- магнитных синтезаторов,
- активных кондиционеров гармоник.

Включение линейных дросселей. Простейшим способом снижения уровня генерируемых нелинейными нагрузками высших гармоник тока во внешнюю сеть является последовательное включение линейных дросселей. Такой дроссель имеет малое значение индуктивного сопротивления на основной частоте 50 Гц и значительные величины сопротивлений для высших гармоник, что приводит к их ослаблению. При этом снижается коэффициент амплитуды и коэффициент искажения входного тока.

Применение пассивных фильтров. Применение последовательно включенных линейных дросселей в ряде случаев не позволяет уменьшить гармонические искажения тока до желаемых пределов. В этом случае целесообразно применение пассивных LC-фильтров, настроенных на определенный порядок гармоник. Для улучшения гармонического состава потребляемого тока такие фильтры нашли широкое применение в системах с источниками бесперебойного питания. Подключение фильтра на входе шестиполупериодного выпрямителя при 100% нагрузке UPS обеспечивает снижение коэффициента искажения тока до величины 8...10%. Значения этого коэффициента в системе без фильтра может достигать 30% и более.

Различают следующие разновидности пассивных фильтров:

- некомпенсированный LC-фильтр;
- скомпенсированный LC-фильтр;
- некомпенсированный LC-фильтр с коммутатором.

Некомпенсированный фильтр содержит продольную индуктивность и поперечную цепь, состоящую из последовательно включенных индуктивности и емкости С, настроенных на определенную гармонику. Если фильтр настроен на 5-ую гармонику, то сопротивление поперечной цепи близко к нулю и ток, потребляемый от источника, не будет содержать эту гармонику. Недостатком такого фильтра является следующее. При использовании в качестве первичного источника питания дизель-генераторную установки с ограниченной установочной мощностью, последний может обеспечить относительно низкое значение емкостной составляющей тока нагрузки (10...30%).

При включении UPS на ДГУ, когда осуществляется "мягкий" старт выпрямителя, активная мощность, потребляемая нагрузкой, равна нулю и генератор ДГУ оказывается нагруженным только на емкостное сопротивление фильтра. Значительная емкостная составляющая потребляемого от генератора тока может привести к нарушению нормальной работы генераторной системы и отключению ДГУ. Следовательно, возможность использования некомпенсированных LC-фильтров должна быть

проанализирована с точки зрения согласования характеристик генератора и параметров фильтра.

Скомпенсированный фильтр содержит дополнительную поперечную индуктивность, способствующую тому, что фильтр по отношению к генератору имеет индуктивный характер. Это снижает емкостную составляющую потребляемого тока и облегчает работу генератора в пусковом и установившемся режимах. Однако наличие ДрЗ приводит к снижению коэффициента мощности системы в целом.

Нескомпенсированный фильтр с коммутатором удобен при использовании ДГУ ограниченной мощности, соизмеримой с мощностью UPS. Поперечная цепь фильтра подключается автоматически только после выхода UPS на номинальный режим.

Таким образом, не требуется применение ДГУ повышенной мощности и не снижается коэффициент мощности системы.

Применение специальных разделительных трансформаторов. Разделительный трансформатор с обмотками "треугольник-звезда" позволяет эффективно бороться с гармониками, кратными третьей, при сбалансированной нагрузке. Для ослабления влияния несимметрии нагрузки и уменьшения тока нейтрали применяют "перекрестную" (зигзагообразную) систему обмоток, где вторичная обмотка каждой фазы разбита на две части и размещена на разных стержнях магнитопровода трансформатора.

При несинусоидальных токах возрастают потери в трансформаторах главным образом за счет потерь на вихревые токи, что требует увеличение их установочной мощности или применения специальных К-фактор трансформаторов. К-фактор трансформаторы отличаются от стандартных тем, что имеют дополнительную теплоемкость, позволяющая выдержать нагревание, вызванное высшими гармониками тока. Кроме того, специальная конструкция такого трансформатора позволяют свести к минимуму потери на вихревые токи и потери из-за паразитной емкости.

К-фактор представляет собой коэффициент, характеризующий вклад высших гармоник в процесс нагрева трансформатора. Если К-фактор равен единице, то это означает, что нагрузка линейная и в цепи протекает синусоидальный ток. Значения К-фактора выше единицы указывают на дополнительные тепловые потери при нелинейных нагрузках, которые трансформатор способен безопасно рассеять.

Сумма квадратов весовых коэффициентов гармоник при учете всех высших гармоник равна единице. Ограничение числа высших гармоник при расчете К-фактора приводит к определенному уменьшению этого параметра

В мировой практике встречаются характерные значения К-фактора: 4, 9, 13, 20. В помещениях, имеющих нелинейные нагрузки, и компьютерных залах К-фактор обычно составляет 4...9. В зонах с телекоммуникационным оборудованием, высокой концентрацией однофазных компьютерных терминалов К-фактор может достигать значений 13...17.

Применение магнитных синтезаторов. Магнитный синтезатор, выпускаемый Liebert Corporation, обеспечивает защиту нагрузки от различных искажений электропитания, в частности, от провалов и выбросов напряжения, импульсных и высокочастотных помех, наличия высших гармоник, вызывающих искажения синусоидальной формы входного напряжения. Выходное напряжение магнитного синтезатора на каждом полупериоде основной частоты генерируется путем объединения шести прямоугольных импульсов от связанных между собой трансформаторов с насыщением, аналогично инверторам со ступенчатым (пошаговым) принципом управления. Однако магнитный синтезатор не содержит каких-либо силовых полупроводниковых элементов, выполняя функцию стабилизатора напряжения.

Линейные дроссели преобразуют входной источник напряжения в источник тока. В этом случае ток блока трансформаторов не зависит от меняющихся в широких пределах ($\pm 40\%$) значений входного напряжения. Такой способ передачи энергии практически

полностью исключает помехи и возможные колебания входного напряжения. Через блок гальванической развязки энергия передается в блок импульсных трансформаторов и блок конденсаторов. Шесть соединенных друг с другом импульсных трансформаторов с насыщением создают форму синтезированного напряжения. Каждый трансформатор генерирует на полупериоде один из шести импульсов с определенной вольт-секундной площадью, обеспечиваемой специальной конструкцией трансформаторов и блоком конденсаторов. Непрерывный обмен энергией, накопленной в блоке импульсных трансформаторов и в блоке конденсаторов, обеспечивает глубокое насыщение сердечников трансформаторов и точную регулировку формируемых импульсов по амплитуде и длительности. В любой момент времени пять из шести сердечников блока трансформаторов находятся в режиме насыщения и представляют собой короткозамкнутые контуры. Когда сердечник шестого трансформатора насыщается, напряжение на этом трансформаторе падает практически до нуля, при этом изменяется полярность напряжения на нем трансформаторе на обратную, вызывая переход его сердечника в ненасыщенное состояние и формирование первого импульса в синтезируемом напряжении следующего го полупериода. Такое последовательное переключение импульсных трансформаторов производит серию определенных импульсов напряжения, используемых как блоки для формирования синтезированного напряжения. Это напряжение поступает на нагрузку через фильтры, настроенные на вторую и третью гармоники, что обеспечивает коэффициент искажения выходного напряжения не выше 4% независимо от степени искажения напряжения на входе магнитного синтезатора. Трехфазное выходное напряжение подается к нагрузке через Zigzag трансформатор, формирующий нейтраль выходной цепи и обеспечивающий снижение влияния асимметрии нагрузки на работу синтезатора. Даже полностью несогласованная по фазам нагрузка (100% асимметрия) не приводит к существенным изменениям выходного напряжения. При этом выходная цепь, включая нейтраль, полностью изолирована от входной цепи электропитания.

Применение активного кондиционера гармоник

Активный кондиционер гармоник (Active Harmonic Conditioner - АНС) в отличие от магнитного синтезатора подключается не последовательно с нелинейной нагрузкой, а параллельно ей (рис.55).

Принцип действия АКГ основан на анализе гармоник тока нелинейной нагрузки и генерировании в распределительную сеть таких же гармоник тока, но с противоположной фазой. Как результат этого, высшие гармонические составляющие тока нейтрализуются в точке подключения АКГ. Это означает, что они не распространяются от нелинейной нагрузки в сеть и не искажают напряжения первичного источника энергии.

В результате ток, потребляемый от источника, практически синусоидален, так как содержит только основную (первую) гармонику. Таким образом, источник обеспечивает только основную гармонику тока нагрузки, а АКГ покрывает практически весь спектр высших гармоник от 2-ой до 25-ой. АКГ может быть установлен в любой точке распределительной сети и способен компенсировать высшие гармоники от одной или нескольких нелинейных нагрузок.

Модели АКГ, выпускаемые MGE UPS SYSTEM под названием SineWave, могут обеспечить компенсацию действующих значений высших гармоник от 20 до 120 А.

Применение АКГ обеспечивает значительное снижение коэффициента амплитуды тока в распределительной сети по сравнению с существующими коэффициентами тока нелинейных нагрузок. Это, как следствие, способствует увеличению коэффициента мощности системы и уменьшению потерь на участках распределительной сети.

Различают следующие способы компенсации гармоник с использованием АКГ:

- локальный (индивидуальный);
- глобальный (общий);

- многоуровневый (распределенный);
- каскадный (последовательное включение);
- мультикомпенсационный.

При локальном способе обеспечивается защита критичных нагрузок, подключенных в распределительную сеть, от повышенного уровня гармоник, генерируемых одной из нелинейных нагрузок. В этом случае АКГ подключается как можно ближе к наиболее мощной нелинейной нагрузке.

Для увеличения номинального значения тока компенсации и (или) повышения надежности системы возможно параллельное включение АКГ на одну нелинейную нагрузку. SineWave допускает работу в параллель до 4-х модулей. При этом, если один из модулей выходит из строя или отключается, то остальные остаются в работе. При глобальном способе обеспечивается компенсация гармоник, генерируемых нелинейными нагрузками, которые подключены к силовому фидеру электропитания и расположены в других зданиях, цехах или зонах технологического процесса. В этом случае АКГ должно подключаться к главному распределительному щиту. В случае группы нелинейных нагрузок целесообразен мультикомпенсационный способ, при котором один модуль АКГ способен компенсировать гармоники от трех нелинейных нагрузок. Каскадный способ включения АКГ позволяет избежать взаимовлияние различных кондиционеров в системе (рис. 58д). Первый кондиционер (АКГ1) обеспечивает защиту от гармоник мощной нелинейной нагрузки, а второй кондиционер малой мощности (АКГ2) осуществляет компенсацию гармоник от других маломощных нелинейных нагрузок. Каскадное включение увеличивает степень компенсации гармоник тока при изменении нагрузки при использовании АКГ с меньшими номинальными значениями тока компенсации.

Многоуровневый способ предусматривает подключение АКГ на нескольких уровнях распределительной сети, что может быть сведено к каскадному способу включения АКГ. Следует отметить, что для точного решения задачи по кондиционированию гармоник требуется:

- знание условий эксплуатации и технические характеристики источников энергии, распределительной системы и автоматов защиты;
- точного знания характеристик нагрузок (гармонического состава токов, потребляемой мощности, места их подключения в системе электропитания);
- использование специальных измерительных приборов для экспериментально-го определения гармонического состава тока в различных участках распределительной системы электропитания;
- проведение анализа и моделирования изучаемой системы электропитания.

Комплекс этих мероприятий необходим для правильного проектирования системы электропитания и выбора требуемой спецификации оборудования, способной обеспечить электромагнитную совместимость (ЭМС), соответствующую современным международным стандартам.

6 Фонд оценочных средств для контроля текущей успеваемости и проведения промежуточной аттестации по дисциплине

6.1 Оценочные средства для проведения текущего контроля

6.1.1 учебный год 1 | Отчет по лабораторной работе

Описание процедуры.

Для текущего (промежуточного) контроля успеваемости проводятся устные опросы, проверка отчетов по лабораторным работам. Промежуточная проверка выполнения заданий по практическим занятиям.

Критерии оценивания.

Используется бальная система: за полностью исчерпывающий ответ - 5 баллов, с замечанием – 4 балла, не полный ответ – 3 балла, неправильный ответ - 2 балла, не способность обучающегося дать ответ – 1 балл.

6.1.2 учебный год 2 | Отчет по лабораторной работе

Описание процедуры.

Для текущего (промежуточного) контроля успеваемости проводятся устные опросы, проверка отчетов по лабораторным работам. Промежуточная проверка выполнения заданий по практическим занятиям.

Критерии оценивания.

Используется бальная система: за полностью исчерпывающий ответ - 5 баллов, с замечанием – 4 балла, не полный ответ – 3 балла, неправильный ответ - 2 балла, не способность обучающегося дать ответ – 1 балл.

6.2 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

6.2.1 Критерии и средства (методы) оценивания индикаторов достижения компетенции в рамках промежуточной аттестации

Индикатор достижения компетенции	Критерии оценивания	Средства (методы) оценивания промежуточной аттестации
ПК-3.5	Знает существующие системы коммерческого учета электроэнергии, служащие для обеспечения финансовых расчетов между предприятиями, генерирующими и распределяющими электроэнергию, и потребителями	Экзамен, Курсовой проект

6.2.2 Типовые оценочные средства промежуточной аттестации

7 Основная учебная литература

1. Кудрин Б. И. Электроснабжение промышленных предприятий : учеб. для вузов по спец. "Электроснабжение пром. предприятий" и "Внутризаводское электрооборудование" / Б. И. Кудрин, 1995. - 413.

8 Дополнительная учебная литература и справочная

1. Закарюкин В. П. Сложнонесимметричные режимы электрических систем / В. П. Закарюкин, А. В. Крюков, 2005. - 274.

2. Закарюкин В. П. Интеллектуальные технологии управления качеством электроэнергии : монография / В. П. Закарюкин, А. В. Крюков, А. В. Черепанов, 2015. - 218.

3. Булатов Ю. Н. Сетевые кластеры в системах электроснабжения железных дорог : монография / Ю. Н. Булатов, А. В. Крюков, Чан Зюй Хынг, 2015. - 205.

4. Закарюкин В. П. Моделирование и параметрическая идентификация узлов нагрузки электроэнергетических систем : монография / В. П. Закарюкин, А. В. Крюков, Ле Конг Зань, 2016. - 158.

5. Закарюкин В. П. Моделирование аварийных режимов в системах электроснабжения железных дорог : монография / В. П. Закарюкин, А. В. Крюков, И. М. Авдиенко, 2017. - 165 ил.

6. Закарюкин В. П. Моделирование низковольтных электрических сетей в фазовых координатах : монография / В. П. Закарюкин, А. В. Крюков, Н. Г. Кодолов, 2017. - 159.

9 Ресурсы сети Интернет

1. <http://library.istu.edu/>
2. <https://e.lanbook.com/>

10 Профессиональные базы данных

1. <http://new.fips.ru/>
2. <http://www1.fips.ru/>

11 Перечень информационных технологий, лицензионных и свободно распространяемых специализированных программных средств, информационных справочных систем

1. Microsoft Office 2003 VLK (поставки 2007 и 2008)
2. Microsoft Office 2007 VLK (поставки 2007 и 2008)
3. Microsoft Office 2007 Standard - 2003 Suites и 2007 Suites - поставка 2010
4. Microsoft Office 2003 rus для ВРТНК
5. Microsoft Office 2003 Suite SB Edition_для ВРТНК
6. Microsoft Office Standard (2007 + 2003)_rus_VLK_для КУИЦ
7. Microsoft Office Standard 2010_RUS_ поставка 2010 от ООО "Азон"
8. Microsoft Office Standard 2010_RUS_ поставка 2010 от ЗАО "СофтЛайн Трейд"
9. Microsoft Office Professional Plus 2010_RUS_ поставка 2010 от ЗАО "СофтЛайн Трейд"
10. Microsoft Office Standard 2010_RUS_ поставка 2010_(артикул 021-09683)
11. Microsoft Office Professional Plus ALNG LicSAPk MVL School A Faculty (79P-03774)_поставка 2010_подписка 2011 и 2012 с/ф №284
12. Microsoft® Office Professional Plus 2010 Russian OpenLicensePack NoLevel AcademicEdition
13. Microsoft Office Professional Plus 2013
14. MS Office Professional Plus Education ALNG
15. PTC Mathcad Professional _поставка 2014
16. PTC Mathcad University Edition_поставка 2014
17. Microsoft Windows (XP Prof + Vista Bussines) rus VLK поставка 08_2007
18. Microsoft Windows (XP Prof + Vista Bussines) rus VLK поставка 08_2008
19. Microsoft Windows XP Prof rus (с активацией, коммерческая)
20. Microsoft Windows Seven Professional (Microsoft Windows Seven Starter) - Seven, Vista, XP_prof_64, XP_prof_32 - поставка 2010
21. Microsoft Windows XP Professional 32 bit SP2_для ВРТНК
22. Microsoft Windows Server Standard 2008 - клиентские лицензии_для КУИЦ

23. Microsoft Windows XP Professional 32bit SP2_rus_VLK_для КУИЦ
24. Microsoft Windows High Performance Computing (HPC) Server 2008
25. Microsoft Windows Seven Professional [1x100] RUS (проведен апгрейд с Microsoft Windows Seven Starter [1x100]) - поставка 2010
26. Microsoft Windows Seven Professional [1x1000] RUS (проведен апгрейд с Microsoft Windows Seven Starter [5x200])-поставка 2010
27. Microsoft Windows Seven Professional [1x500] RUS (проведен апгрейд с Microsoft Windows Seven Starter [1x500])_поставка 2010

12 Материально-техническое обеспечение дисциплины

1. Нетбук Acer AOD257-N57Ckk
2. Нетбук Acer AOD257-N57Ckk
3. Нетбук Acer AOD257-N57Ckk
4. Нетбук Acer AOD257-N57Ckk
5. Нетбук Acer AOD257-N57Ckk
6. Нетбук Acer AOD257-N57Ckk
7. Ноутбук ASUS/320G/noODD/15.6/intelND/BT/WiFi/Cam/Win8