

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

КРАСНОЯРСКИЙ ИНСТИТУТ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА –

филиал ФГБОУ ВО

«Иркутский государственный университет путей сообщения»

А. Р. ХРИСТИНИЧ
В. О. КОЛМАКОВ

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Методические указания

по выполнению самостоятельной работы для студентов всех форм обучения
специальности 23.05.05 Системы обеспечения движения поездов
специализация «Электроснабжение железных дорог»

Красноярск
КрИЖТ ИрГУПС
2022

УДК 621.331

X 93

Христинич, А. Р. Энергосбережение в системах электроснабжения : методические указания по выполнению самостоятельной работы для студентов всех форм обучения специальности 23.05.05 Системы обеспечения движения поездов специализация «Электроснабжение железных дорог» / А. Р. Христинич, В. О. Колмаков ; КрИЖТ ИрГУПС. – Красноярск : КрИЖТ ИрГУПС, 2022. – 22 с.

Методические указания по выполнению самостоятельной работы разработаны на основе рабочей программы учебной дисциплины Б1.В.ДВ.05.01 «Энергосбережение в системах электроснабжения».

Рекомендовано к изданию методическим советом КрИЖТ ИрГУПС

Печатается в авторской редакции

© Христинич А. Р., Колмаков В. О., 2022

© Красноярский институт

железнодорожного транспорта, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
Требования к уровню освоения дисциплины «Энергосбережение в системах электроснабжения»	7
Виды самостоятельной внеаудиторной работы студентов.....	9
Методические указания по некоторым видам самостоятельной работы....	11
Промежуточная аттестация	19
Заключение	20
Список рекомендуемых информационных ресурсов	21

ВВЕДЕНИЕ

Данные методические указания предназначены для организации внеаудиторной самостоятельной работы по дисциплине «Энергосбережение в системах электроснабжения» студентов всех форм обучения специальности 23.05.05 Системы обеспечения движения поездов специализация «Электроснабжение железных дорог».

Цель методических рекомендаций:

- помочь обучающемуся во внеаудиторной самостоятельной работе.

Цели самостоятельной работы:

- регулярно самостоятельно готовиться к текущим лекциям, практическим и лабораторным занятиям;
- самостоятельно выполнять контрольные работы;
- самостоятельно готовиться к текущему контролю по дисциплине.

Объем самостоятельной работы студентов определяется Федеральным государственным образовательным стандартом. Самостоятельная работа студентов является обязательной для каждого обучающегося и определяется учебным планом. Дисциплина «Энергосбережение в системах электроснабжения» относится к общепрофессиональному циклу. Распределение трудоемкости дисциплины по видам аудиторных занятий и самостоятельной работы студентов приведено в таблицах 1-3.

Таблица 1 – Распределение трудоемкости дисциплины по видам самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа обучающегося, в том числе:	Кол-во часов для студентов отделения	
	очного	заочного
Проработка лекционного материала	7	18
Подготовка к практическим работам	7	18
Подготовка к лабораторным занятиям	7	18
Выполнение контрольных работ	-	24
Всего	21	78

Таблица 2 – Распределение трудоемкости дисциплины по разделам, формы текущего контроля для студентов очной формы обучения

Номер семестра. Форма промежуточной аттестации	Номер раздела дисциплины	Наименование раздела (дидактической единицы) дисциплины	Самостоятельная работа студентов	Формы текущего контроля
1	2	3	4	5
9 Экзамен	1	Раздел 1. Предмет: Энергосбережение в системах электрооборудования	9	Конспект лекций, домашнее задание по практике, защита лабораторных работ.
	2	Раздел 2. Управление энергосбережением в системах электрооборудования	6	Конспект лекций, домашнее задание по практике, защита лабораторных работ.
	3	Раздел 3. Технические решения для повышения качества электрической энергии	6	Конспект лекций, домашнее задание по практике, защита лабораторных работ.
		Итого часов	21	

Таблица 3 – Распределение трудоемкости дисциплины по разделам, формы текущего контроля для студентов заочной формы обучения

Номер семестра. Форма промежуточной аттестации	Номер раздела дисциплины	Наименование раздела (дидактической единицы) дисциплины	Самостоятельная работа студентов	Формы текущего контроля
1	2	3	4	5
2 Экзамен	1	Раздел 1. Введение. Предмет Энергосбережение в системах электрооборудования.	18	Конспект лекций, домашнее задание по практике, защита лабораторных работ.
	2	Раздел 2. Энергетические характеристики и электромагнитная совместимость оборудования	18	Конспект лекций, домашнее задание по практике, защита лабораторных работ.
	3	Раздел 3. Технические решения для повышения качества электрической энергии	42	Конспект лекций, домашнее задание по практике, защита лабораторных работ, выполнение контрольной работы.
		Итого часов	78	

Критериями оценки результатов внеаудиторной самостоятельной работы обучающегося являются:

– обучающийся правильно выполнил задание контрольной работы; показал знания, умения и владения навыками применения их при решении задач в рамках усвоенного учебного материала; контрольная работа оформлена аккуратно и в соответствии с предъявляемыми требованиями;

– конспект полный; в конспектируемом материале выделена главная и второстепенная информация; установлена логическая связь между элементами конспектируемого материала; даны определения основных понятий; основные формулы приведены с выводом, дана геометрическая иллюстрация; приведены примеры;

– при решении разноуровневых задач в рамках домашних заданий обучающийся демонстрирует достаточный уровень знаний, умений, навыков в соответствии с критериями оценивания; все требования, предъявляемые к заданию, выполнены.

ТРЕБОВАНИЯ К УРОВНЮ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ «ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ»

Настоящие методические указания содержат подробный план и описание работ, которые позволят студентам самостоятельно овладеть фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по специальности, опытом творческой и исследовательской деятельности.

В результате освоения дисциплины «Энергосбережение в системах электроснабжения» обучающийся должен достигнуть следующих результатов образования:

Обучающийся должен знать:

общие принципы анализа показателей энергосбережения;

устройство, принцип действия, технические характеристики и конструктивные особенности основных элементов энергосберегающей техники на тяговых преобразовательных подстанциях и на линейных устройствах системы тягового электроснабжения;

фундаментальные инженерные теории для расчета параметров и технических характеристик энергосберегающего оборудования в системах электроснабжении при модернизации оборудования тяговых и

трансформаторных подстанций, линейных устройств системы тягового электроснабжения.

Обучающийся должен уметь:

оценивать показатели энергетической эффективности оборудования и аппаратуры электроустановок на тяговых преобразовательных подстанциях и на линейных устройствах системы тягового электроснабжения; расследовать, учитывать и анализировать параметры энергосберегающей техники;

разрабатывать организационные и технические мероприятия для обеспечения энергосберегающей и энергоэффективной работы оборудования при технической эксплуатации тяговых и трансформаторных подстанций, линейных устройств системы тягового электроснабжения.

Обучающийся должен владеть:

методами расчета показателей энергосбережения и эксплуатационных характеристик электроустановок в системах электроснабжения;

методами реализации энергосберегающих технологий эксплуатации, сервисного обслуживания и ремонта оборудования в системах электроснабжения.

КОНТРОЛЬ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Внеаудиторная самостоятельная работа выполняется студентом по заданию преподавателя, но без его непосредственного участия. Преподаватель сопровождает самостоятельную работу студентов: предлагает задания различного типа, консультирует обучающегося в процессе его работы, помогает преодолеть возникающие затруднения, оценивает совместно со студентом качество выполненной работы, организует публичность обсуждения результатов.

Результаты контроля СРС учитываются для оценивания успеваемости студентов при текущем контроле знаний на 5 и 13 неделях и промежуточной аттестации по результатам семестра, которая проходит:

в 9 семестре (на 6 курсе заочной формы) - в форме экзамена;

Фонды оценочных средств, включающие типовые задания, контрольные работы, тесты и методы контроля, позволяющие оценить результаты обучения по данной дисциплине, включены в состав РПД.

ВИДЫ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ ВНЕАУДИТОРНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

Формы внеаудиторной самостоятельной работы студентов по дисциплине «Энергосбережение в системах электроснабжения»:

Традиционные формы самостоятельной работы студентов следующие:

- работа с конспектом лекции, то есть дополнение конспекта учебным материалом (учебника, учебного пособия, первоисточника, дополнительной литературы, нормативных документов и материалом электронного ресурса и сети Интернет);
- чтение текста (учебника, учебного пособия, первоисточника, дополнительной литературы);
- конспектирование текста (работа со справочниками, нормативными документами);
- составление плана и тезисов ответа;
- аналитическая обработка текста (аннотирование, редактирование, конспект-анализ);
- подготовка доклада на конференцию;
- ответы на контрольные вопросы на практике и лабораторных работах;
- решение задач и упражнений по образцу на занятии и в рамках домашних работ;
- решение вариативных задач и упражнений;
- выполнение контрольных работ (для заочной формы обучения)

Виды и наименование самостоятельной работы обучающегося по разделам дисциплины, предусмотренные рабочей программой, с указанием количества часов показаны в таблицах 4 и 5.

Таблица 4 – Виды самостоятельной работы и формы контроля для студентов очной формы обучения, предусмотренные рабочей программой

Номер раздела дисциплины	№	Виды и наименования СРС	Трудоемкость СРС в часах	Источник задания на СРС и формы контроля
1	2	3	4	5
9 семестр				
1	1	Проработка лекционного материала	3	Конспект лекций
	2	Подготовка к практическим занятиям	3	Выполнение практических заданий

1	2	3	4	5
	3	Подготовка к лабораторным занятиям	3	Выполнение и защита лабораторных работ
2	4	Проработка лекционного материала	2	Конспект лекций
	5	Подготовка к практическим занятиям	2	Выполнение практических заданий
	6	Подготовка к лабораторным занятиям	2	Выполнение и защита лабораторных работ
3	7	Проработка лекционного материала	2	Конспект лекций
	8	Подготовка к практическим занятиям	2	Выполнение практических заданий
	9	Подготовка к лабораторным занятиям	2	Выполнение и защита лабораторных работ
Итого за 9 семестр			21	

Таблица 5 – Виды самостоятельной работы и формы контроля для студентов заочной формы обучения, предусмотренные рабочей программой

Номер раздела дисциплины	№	Виды и наименования СРС	Трудоемкость СРС в часах	Источник задания на СРС и формы контроля
1	2	3	4	5
3 курс				
1	1	Проработка лекционного материала	6	Конспект лекций
	2	Подготовка к практическим занятиям	6	Выполнение практических заданий
	3	Подготовка к лабораторным занятиям	6	Выполнение и защита лабораторных работ
2	4	Проработка лекционного материала	6	Конспект лекций
	5	Подготовка к практическим занятиям	6	Выполнение практических заданий
	6	Подготовка к лабораторным занятиям	6	Выполнение и защита лабораторных работ

1	2	3	4	5
	7	Проработка лекционного материала	6	Конспект лекций
	8	Подготовка к практическим занятиям	6	Выполнение практических заданий
	9	Подготовка к лабораторным занятиям	6	Выполнение и защита лабораторных работ
	10	Выполнение контрольной работы	24	Выполнение контрольной работы
Итого за 6 курс			78	

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО НЕКОТОРЫМ ВИДАМ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОРАБОТКЕ ЛЕКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

На лекциях обучающийся знакомится с ключевыми научными положениями и методологией изучения дисциплины, с новейшими достижениями науки и техники. Именно на лекции обучающийся получает прочные, фундаментальные основы по предмету для последующего, более углубленного и детального самостоятельного изучения по учебнику и специальной литературе.

Правила конспектирования лекции:

- отражение основных текстовых моментов лекции;
- внимательное прослушивание лекции;
- отражение рисунков и таблиц и также любого другого дополнительного материала, помогающего понять и раскрыть тему лекции.

Задача обучающегося:

- - для овладения знаниями проявить усердие и терпение;
- - для закрепления и систематизации знаний регулярно повторять прошедшие темы лекций;
- - для формирования умений тренировать практическую часть дисциплины;

Контроль проводится регулярно на каждой лекции.

Критерии оценки:

- конспект полный;
- в конспектируемом материале выделена главная и второстепенная информация;
- установлена логическая связь между элементами конспектируемого материала;
- даны определения основных понятий; основные формулы приведены с выводом, дана геометрическая иллюстрация;
- приведены примеры.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ

Цель задания проверить качество и полноту освоения курса, а также умение самостоятельного поиска решения задач.

Решение домашних заданий предусматривает не только знание теоретических разделов и физических законов, но и специальных приемов, принципов решения общих для группы задач из определенного раздела.

Требования к решению и оформлению задач:

- решение должно быть максимально полным, не требующем дополнительных расчетов;
- оформление должно быть выполнено аккуратно и в соответствии с предъявляемыми требованиями.

Пример решения задачи: расчет показателей качества электрической энергии. Последовательность анализа.

Провести расчет токов и напряжений высших гармоник на сборных шинах напряжением 10 кВ подстанции (Рисунок 1). Подстанция питается от энергосистемы через понижающий трансформатор Т1 ($S_{T.ном} = 16$ МВА; $U_K = 10,5\%$). Мощность системы $S_K = 4000$ МВА. Трансформатор Т1 соединен со сборными шинами через токоограничивающий реактор ($I_{рном} = 1500$ А; $X_{р\%} = 8\%$). К сборным шинам подключены 7 цеховых ТП ($S_{T.ном} = 1000$ кВА; $U_K = 5,5\%$), 2 синхронных двигателя ($P_{сд.ном} = 500$ кВт; $Q_{сд.ном} = 264$ квар) и тиристорный преобразователь частоты ТПЧ ($U_d = 800$ В; $I_d = 1550$ А; $\cos\varphi = 0,95$). Расчетная активная нагрузка $P_P = 9,2$ МВт, реактивная $Q_P = 8$ Мвар. Для компенсации реактивной мощности дополнительно подключена конденсаторная батарея $Q_K = 5,2$ Мвар.

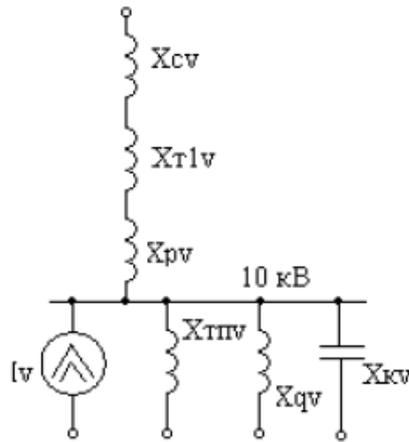


Рисунок 1 – Схема замещения подстанции

На рисунке 1 показана схема замещения, которую преобразуют путем объединения концов всех нагрузочных ветвей, ветвей питающей энергосистемы и вентильных преобразователей. Затем производят свертывание схемы относительно секций сборных шин напряжением 10 кВ, для которых должен быть проведен расчет напряжений и токов высших гармоник (рисунок 2).

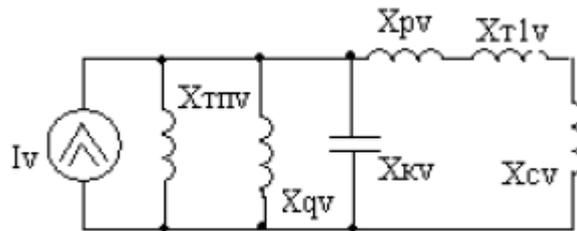


Рисунок 2 – Схема, для которой необходимо провести расчет напряжений и токов высших гармоник

Рассчитаем сопротивления элементов схемы замещения V –й гармоники.

Энергосистема:

$$X_{CV} = 0,65 \frac{U_{CT}^2}{S_K} V;$$

$$X_{CV} = 0,65 \frac{10^2}{4000} V = 0,016V \text{ Ом};$$

Трансформатор:

$$X_{T1V} = \frac{U_K U_{CT}^2}{100\% S_{T.HOM}} K_X V;$$

$$X_{T1V} = \frac{10,5 \times 10^2}{100 \times 16} 0,88V = 0,58V \text{ Ом};$$

Реактор:

$$X_{PV} = \frac{X_{P\%}}{100\%} \frac{U_{CT}^2 V}{\sqrt{3} I_{P.HOM} U_{P.HOM}} ;$$

$$X_{PV} = \frac{8 \times 10^2}{100 \times 10 \times 1,5 \times \sqrt{3}} V = 0,31V \text{ Ом};$$

Трансформаторы цеховых ТП:

$$X_{ТПV} = \frac{U_K}{100\%} \frac{U_{CT}^2 V}{S_{T.HOM}} ;$$

$$X_{ТПV} = \frac{5,5 \times 10^2}{100 \times 7 \times 1} V = 0,785V \text{ Ом};$$

Синхронные двигатели:

$$X_{qV} = X''_d \frac{U_{CT}^2}{S_{CDE}} K_X V;$$

$$X_{qV} = \frac{10^2 \times 0,24 \times 0,71}{2 \times \sqrt{0,5^2 + 0,264^2}} V = 15,07V \text{ Ом};$$

Конденсаторная батарея:

$$X_{KV} = -\frac{U_{CT}^2}{Q_K} V;$$

$$X_{KV} = -\frac{10^2}{5,2V} = \frac{-19,23}{V} \text{ Ом};$$

Суммарное сопротивление системы, трансформатора главной понизительной подстанции, реактора:

$$X_{Э1V} = X_{CV} + X_{T1V} + X_{PV};$$

$$X_{Э1V} = 0,016V + 0,58V + 0,31V = 0,906V \text{ Ом};$$

Суммарное сопротивление трансформаторов ТП и синхронных двигателей:

$$X_{\text{Э2V}} = \frac{X_{\text{TPV}}X_{\text{qV}}}{X_{\text{TPV}} + X_{\text{qV}}};$$

$$X_{\text{Э2V}} = \frac{0,785 \times 15,07 \times V^2}{0,785V + 15,07V} = 0,746V \text{ Ом};$$

Суммарное индуктивное сопротивление всей схемы:

$$X_{\text{Э2V}} = \frac{X_{\text{Э1V}}X_{\text{Э2V}}}{X_{\text{Э1V}} + X_{\text{Э2V}}};$$

$$X_{\text{Э2V}} = \frac{0,906 \times 0,746 \times V^2}{0,906V + 0,746V} = 0,41V \text{ Ом};$$

Величины гармоник тока, генерируемых одним тиристорным преобразователем частоты:

$$I_V = \frac{I_1}{1,11(V \pm 1)};$$

$$I_5 = \frac{67,9}{1,11(5 \pm 1)} = 10,19 \text{ A};$$

$$I_7 = \frac{67,9}{1,11(7 \pm 1)} = 10,19 \text{ A};$$

$$I_{11} = \frac{67,9}{1,11(11 \pm 1)} = 6,12 \text{ A};$$

$$I_{13} = \frac{67,9}{1,11(13 \pm 1)} = 4,37 \text{ A};$$

$$I_1 = \frac{0,9U_d I_d}{\sqrt{3}U_{\text{CT}} \cos \varphi};$$

$$I_1 = \frac{0,9 \times 800 \times 1550}{\sqrt{3} \times 10000 \times 0,95} = 67,9 \text{ A};$$

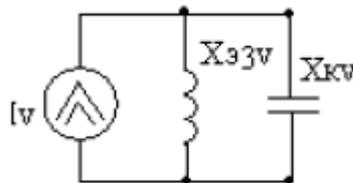


Рисунок 3 – Для расчета доли токов гармоник, протекающих по конденсаторной батарее

Коэффициент (доля) распределения токов гармоник, протекающих по конденсаторной батарее (рисунок 3):

$$K_{KV} = \frac{X_{\text{ЭЗВ}}}{X_{\text{ЭЗВ}} + K_{KV}};$$

$$K_{KV} = \frac{0,41V}{0,41V - 19,23/V};$$

Токи гармоник, протекающие по конденсаторной батарее:

$$I_{KV} = K_{KV}I_V;$$

$$I_{K5} = \frac{0,41 \times 5 \times 10,19}{0,41 \times 5 - 19,23/5} = -11,64 \text{ A};$$

$$I_{K7} = \frac{0,41 \times 7 \times 10,19}{0,41 \times 7 - 19,23/7} = 238 \text{ A};$$

$$I_{K11} = \frac{0,41 \times 11 \times 10,19}{0,41 \times 11 - 19,23/11} = 9,99 \text{ A};$$

$$I_{K13} = \frac{0,41 \times 13 \times 10,19}{0,41 \times 13 - 19,23/13} = 6,06 \text{ A};$$

Номинальный ток 1-ой гармоники конденсаторной батареи:

$$I_1 = \frac{5200}{\sqrt{3}U_{\text{НОМ}}};$$

$$I_1 = \frac{Q_K}{\sqrt{3} \times 10} = 300 \text{ A};$$

Полный ток конденсаторной батареи с учетом высших гармоник:

$$I_{K\Sigma} = \sqrt{I_1^2 + \sum_{V=1}^{13} I_V^2};$$

$$I_{K\Sigma} = \sqrt{300^2 + 11,63^2 + 238^2 + 9,99^2 + 6,05^2} = 383 \text{ A};$$

Это значение меньше допустимого значения, так как:

$$I_{\text{доп}} = 130\%I_1;$$

Определим напряжения высших гармоник на сборных шинах напряжением 10 кВ:

$$U_V = I_{KV}X_{KV};$$

$$U_5 = -11,63x \frac{-19,23}{5} = 44,72 \text{ В};$$

$$U_7 = -11,63x \frac{-19,23}{7} = -653 \text{ В};$$

$$U_{11} = -11,63x \frac{-19,23}{11} = -17,46 \text{ В};$$

$$U_{13} = -11,63x \frac{-19,23}{11} = -8,95 \text{ В};$$

Коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения:

$$K_U = \frac{100\%x\sqrt{\sum U_V^2}}{U_{л}/\sqrt{3}};$$

$$K_U = \frac{100x\sqrt{44,72^2 + 653,8^2 + 17,46^2 + 8,95^2}}{10000/\sqrt{3}} = 11,74 > 5\%;$$

Таким образом, токовая нагрузка конденсаторной батареи близка к предельно допустимой, а коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения на сборных шинах 10 кВ превышает допустимое значение более чем в 2 раза. При этом следует отметить, что резонансная гармоника схемы равна:

$$V_P = \sqrt{\frac{X_K}{X_{ЭЗ}}};$$

$$V_P = \sqrt{\frac{19,23}{0,41}} = 6,85;$$

Таким образом, она близка к 7-ой гармонике сети. Поэтому к сборным шинам целесообразно подключить силовой резонансный фильтр (СРФ) 5-ой гармоники. Мощность конденсаторной батареи СРФ из условия

компенсации реактивной мощности примем равной 5,2 Мвар. Тогда сопротивление фазы реакторов СРФ должно быть равно:

$$X_{p\Phi} = \frac{X_K}{V_p^2};$$

$$X_{p\Phi} = \frac{19,23}{5^2} = 0,769 \text{ Ом};$$

Схема замещения с учетом СРФ представлена на рисунке 4:

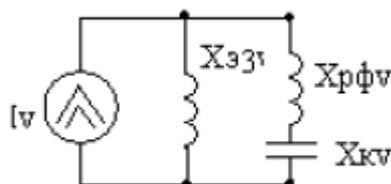


Рисунок 4 – Схема замещения с учетом СРФ

Определим коэффициент распределения токов гармоник, протекающих через СРФ:

$$K_{\Phi V} = \frac{X_{ЭЗV}}{X_{ЭЗV} + (X_{p\Phi V} + X_{KV})};$$

$$K_{\Phi V} = \frac{0,41V}{0,41V + (0,769V - 19,23/V)};$$

Токи высших гармоник, протекающих по СРФ:

$$I_{\Phi V} = K_{\Phi V} I_V;$$

$$I_{\Phi 5} = \frac{0,41 \times 5 \times 10,19}{0,41 \times 5 + (0,769 \times 5 - 19,23/5)} = 10,19 \text{ A};$$

$$I_{\Phi 7} = \frac{0,41 \times 7 \times 10,19}{0,41 \times 7 + (0,769 \times 7 - 19,23/7)} = 5,31 \text{ A};$$

$$I_{\Phi 11} = \frac{0,41 \times 11 \times 10,19}{0,41 \times 11 + (0,769 \times 11 - 19,23/11)} = 2,46 \text{ A};$$

$$I_{\Phi 13} = \frac{0,41 \times 13 \times 10,19}{0,41 \times 13 + (0,769 \times 13 - 19,23/13)} = 1,52 \text{ A};$$

Полный ток, протекающий через СРФ, в частности через его конденсаторную батарею:

$$I_{K\Sigma} = \sqrt{300^2 + 10,19^2 + 5,31^2 + 2,46^2 + 1,52^2} = 300,32 \text{ A};$$

Расчет показывает, что использование в схеме СРФ существенно улучшает токовую нагрузку конденсаторной батареи.

Напряжения высших гармоник на сборных шинах 10 кВ (на СРФ):

$$\begin{aligned}U_V &= I_V(X_{PФФ} + X_{KV}); \\U_5 &= 10,19x(0,769x5 - 19,23/5) = 0 \text{ В}; \\U_7 &= 28,6 \text{ В}; U_{11} = 16,51\text{В}; U_{13} = 12,95 \text{ В};\end{aligned}$$

Коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения после установки СРФ:

$$K_U = 0,61\%.$$

Таким образом, после установки СРФ уровень высших гармоник стал ниже допустимого предела.

Задача обучающегося:

- правильно выполнить необходимые задачи;
- оформить задачи аккуратно и в соответствии с предъявляемыми требованиями.
- разбираться в решении задачи, опираясь на теоретические знания по теме задачи.

Контроль проводится регулярно по мере выполнения задач.

Критерии оценки:

- обучающийся демонстрирует достаточный уровень знаний, умений, навыков в соответствии с критериями оценивания;
- все требования, предъявляемые к заданию, выполнены.

ВЫПОЛНЕНИЕ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Контрольную работу выполняют только студенты заочного отделения в соответствии с методическими указаниями [5]. Количество часов, отводимое на самостоятельную работу студентов определяется учебным планом.

Задача обучающегося:

- самостоятельно выполнить контрольную работу по обозначенной теме;
- оформить контрольную работу аккуратно и в соответствии с предъявляемыми требованиями;
- сдать выполненную контрольную работу в обозначенный срок.

Контроль проводится до сессии. Обучающийся обязан сдать в деканат контрольную работу не позднее, чем за 10 дней до начала очередной сессии.

Критерии оценки:

- Обучающийся полностью и правильно выполнил задание контрольной работы;
- показал отличные знания и умения в рамках усвоенного учебного материала;
- контрольная работа оформлена аккуратно и в соответствии с предъявляемыми требованиями.

ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ

Формой промежуточной аттестации по дисциплине «Энергосбережение в системах электроснабжения» в 9 семестре для очного обучения (6 курс для заочного обучения) является экзамен.

Для сдачи экзамена по дисциплине «Энергосбережение в системах электроснабжения» к обучающемуся предъявляются следующие требования:

- посещение лекционных занятий, написание конспекта лекций по теме лекционного занятия, проработка материала;
- изучение теоретического материала, выносимого на самостоятельную работу;
- подготовка к лабораторным занятиям, посещение, их выполнение, оформление и защита всех лабораторных работ;
- выполнение практических работ;
- выполнение контрольной работы (для заочного обучения);
- ответ на вопросы экзаменационного билета.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Самостоятельность в учебной работе способствует развитию заинтересованности обучающегося в изучаемом материале, вырабатывает у него умение и потребность самостоятельно получать знания, что весьма важно для подготовки будущих специалистов.

Процесс самостоятельной учебной работы формирует умения и привычку размышлять над содержанием осваиваемой отрасли знания и ее профессиональными задачами, способствует развитию самостоятельности, ответственности и организованности, творческого подхода к решению проблем учебного и профессионального уровня.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ

1. Ким, К. К. Электрические измерения неэлектрических величин : учебное пособие / К. К. Ким, Г. Н. Анисимов. – Москва : УМЦ ЖДТ, 2014. – 136 с. – (Высшее профессиональное образование). – ISBN 978-5-89035-751-9. – URL: <http://umczdt.ru/books/43/2542/> (дата обращения: 22.06.2022). – Текст : электронный.

2. Ким, К. К. Поверка средств измерений электрических величин : учебное пособие / К. К. Ким, Г. Н. Анисимов, А. И. Чураков. – Москва : УМЦ ЖДТ, 2014. – 141 с. – (Высшее профессиональное образование). – ISBN 978-5-89035-753-3. – URL: <https://umczdt.ru/books/41/39330/> (дата обращения: 22.06.2022). – Текст : электронный.

3. Энергосбережение на предприятиях промышленности и железнодорожного транспорта : учебное пособие для вузов / В. М. Лебедев, С. В. Приходько, С. В. Глухов [и др.] ; ред. В. М. Лебедев. – Москва : УМЦ ЖДТ, 2017. – 116 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-89035-950-6. – URL: <https://umczdt.ru/books/43/2548/> (дата обращения: 22.06.2022). – Текст : электронный.

4. Стрельников, Н. А. Энергосбережение : учебное пособие / Н. А. Стрельников, В. В. Гуров. – Новосибирск : НГУ, 2019. – 72 с. – ISBN 978-5-7782-3884-8. – URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=576534 (дата обращения: 22.06.2022). – Текст : электронный.

5. Климова, Г. Н. Электроэнергетические системы и сети. Энергосбережение : учебное пособие для вузов / Г. Н. Климова. – 2-е изд. – Москва : Юрайт, 2020. – 179 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-00510-3. – URL: <https://urait.ru/bcode/451325> (дата обращения: 22.06.2022). – Текст : электронный.

Учебно-методическое издание

Алексей Романович ХРИСТИНИЧ
Виталий Олегович КОЛМАКОВ

Энергосбережение в системах электроснабжения

Методические указания
по выполнению самостоятельной работы
для студентов всех форм обучения
специальности 23.05.05 Системы обеспечения движения поездов
специализация «Электроснабжение железных дорог»

Подписано в печать 30.08.2022 г.

Формат бумаги 60×84/16

0,51 авт. л.

1,38 печ. л.

экз.

План издания 2022 г. № ^{п/п} КриЖТ ИрГУПС

Протокол № 10 от 05.07.2022 г.

Отпечатано в КриЖТ ИрГУПС
Красноярск, ул. Л. Кецховели, д. 89