

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

«СИЛОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА»

Направление: 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Интеллектуальные системы электроснабжения

Квалификация: Магистр

Форма обучения: очная

Документ подписан простой электронной подписью Составитель программы: Мухаева Лариса Васильевна Дата подписания: 10.06.2025

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

Документ подписан простой электронной подписью Согласовал: Пионкевич Владимир Андреевич Дата подписания: 10.06.2025

Год набора – 2025

Иркутск, 2025 г.

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

1.1 Дисциплина «Силовая электроника» обеспечивает формирование следующих компетенций с учётом индикаторов их достижения

Код, наименование компетенции	Код индикатора компетенции
ПК-2 Способен к выполнению работ по проектированию оборудования и технологической автоматики интеллектуальных систем электроснабжения	ПК-2.3
ПК-3 Способен решать производственно-технические задачи по реконструкции оборудования интеллектуальных систем электроснабжения	ПК-3.4

1.2 В результате освоения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы

Код индикатора	Содержание индикатора	Результат обучения
ПК-2.3	Владеет знаниями и умениями в области силовой электроники	Знать современные естественнонаучные и прикладные задачи электроэнергетики и электротехники, включая элементы силовой электроники методы и средства их решения прикладных и исследовательских задач; Уметь находить нестандартные решения профессиональных задач, применять современные методы и средства исследования, проектирования, технологической подготовки производства и эксплуатации электроэнергетических и электротехнических объектов; Владеть современными измерительными и компьютерными системами и технологиями, навыками оформления, представления и защиты результатов решения.
ПК-3.4	Проводит анализ и исследования работы устройств	Знать основные физические законы, явления и процессы на которых основаны протекающие динамические процессы в основных элементах электротехнических установок, принципы составления схем замещения для расчета коротких замыканий, режимов и других расчетов; Уметь решать типовые задачи

		Владеть - описанием основных физических процессов и явлений, протекающих в электротехнических установках; - методами расчета режимов и параметров, основных элементов электротехнических установок.
--	--	---

2 Место дисциплины в структуре ООП

Изучение дисциплины «Силовая электроника» базируется на результатах освоения следующих дисциплин/практик: «Тенденции развития электротехнического оборудования в энергетике»

Дисциплина является предшествующей для дисциплин/практик: «Производственная практика: преддипломная практика»

3 Объем дисциплины

Объем дисциплины составляет – 4 ЗЕТ

Вид учебной работы	Трудоемкость в академических часах (Один академический час соответствует 45 минутам астрономического часа)	
	Всего	Семестр № 1
Общая трудоемкость дисциплины	144	144
Аудиторные занятия, в том числе:	48	48
лекции	0	0
лабораторные работы	16	16
практические/семинарские занятия	32	32
Самостоятельная работа (в т.ч. курсовое проектирование)	60	60
Трудоемкость промежуточной аттестации	36	36
Вид промежуточной аттестации (итогового контроля по дисциплине)	Экзамен	Экзамен

4 Структура и содержание дисциплины

4.1 Сводные данные по содержанию дисциплины

Семестр № 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	Введение							3	6	Устный опрос
2	Электронно- дырочный переход							3	4	Устный опрос
3	Силовые							3	2	Устный

	транзисторы									опрос
4	Тиристоры							3	2	Устный опрос
5	Силовые полупроводников ые ключи							3	2	Устный опрос
6	Выпрямители			1	2	1, 2	8	2, 3	14	Устный опрос
7	Инверторы, ведомые сетью							3	3	Устный опрос
8	Тиристорные регуляторы напряжения переменного тока			4, 5, 6	6			3	5	Устный опрос
9	Преобразователи постоянного тока в постоянный			2, 3	4	3, 4, 5, 6	16	2	10	Устный опрос
10	Инверторы напряжения			8	2			1	8	Устный опрос
11	Инверторы тока					7	4	3	1	Устный опрос
12	Широтно- импульсная модуляция в преобразователях переменного/пост оянного тока			7	2	8	4	3	1	Устный опрос
13	Активные силовые фильтры							3	2	Устный опрос, Тест
	Промежуточная аттестация								36	Экзамен
	Всего				16		32		96	

4.2 Краткое содержание разделов и тем занятий

Семестр № 1

№	Тема	Краткое содержание
1	Введение	Что такое электроника? Историческая справка. Основные определения.
2	Электронно-дырочный переход	Определение. Обозначение. Прямое включение. Обратное включение. Получение. Статические характеристики. Динамические характеристики. Защита силовых диодов. Основные типы силовых диодов.
3	Силовые транзисторы	Определение. Обозначение. Принцип работы. Основные классы силовых транзисторов. Статические режимы работы транзисторов. Динамические режимы работы силовых транзисторов. Обеспечение безопасной работы транзисторов.
4	Тиристоры	Определение. Обозначение. Принцип работы. Статические вольт-амперные характеристики тиристора. Динамические характеристики тиристора. Типы тириستоров. Запираемые тиристоры.

5	Силовые полупроводниковые ключи	Транзисторный ключ, его схема и принцип работы. Сравнение электронных ключей. Тенденции развития силовых полупроводниковых приборов.
6	Выпрямители	Принципы выпрямления. Основные схемы выпрямления. Характеристики выпрямителей.
7	Инверторы, ведомые сетью	Принцип действия инвертора, ведомого сетью. Работа основных схем в инверторном режиме. Основные характеристики инверторов, ведомых сетью.
8	Тиристорные регуляторы напряжения переменного тока	Общие сведения. Основные характеристики регуляторов
9	Преобразователи постоянного тока в постоянный	Регуляторы-стабилизаторы непрерывного действия. Типовые структуры управления импульсными регуляторами. Импульсный регулятор с последовательным ключом. Импульсный регулятор с последовательным ключом.
10	Инверторы напряжения	Однофазные инверторы напряжения. Трехфазные инверторы напряжения. Трехфазные инверторы напряжения.
11	Инверторы тока	Однофазный инвертор тока. Автономные инвертор на обычных тиристорах. Трехфазный инвертор тока.
12	Широтно-импульсная модуляция в преобразователях переменного/постоянного тока	Традиционные методы ШИМ в автономных инверторах. Инверторы напряжения. Инверторы тока. Модуляция в преобразователях переменного тока. Инвертирование. Выпрямление.
13	Активные силовые фильтры	Принципы активной фильтрации. Типовые схемы активных фильтров. Гибридные фильтры.

4.3 Перечень лабораторных работ

Семестр № 1

№	Наименование лабораторной работы	Кол-во академических часов
1	Управляемый тиристорный выпрямитель.	2
2	Промышленный широтно-импульсный преобразователь.	2
3	Частотно-импульсный преобразователь.	2
4	Тиристорный регулятор напряжения.	2
5	Исследование тиристорного преобразователя частоты.	2
6	Транзисторный преобразователь частоты.	2
7	Преобразователь частоты с МПСУ.	2
8	Исследование автономного инвертора напряжения с широтно-импульсной модуляцией	2

4.4 Перечень практических занятий

Семестр № 1

№	Темы практических (семинарских) занятий	Кол-во академических часов
1	Расчет и выбор диодов и тиристор.	4
2	Расчет неуправляемых выпрямителей.	4
3	Расчет широтно-импульсных преобразователей (ШИП).	4
4	Расчет характеристик ШИП.	4
5	Выбор системы управления ШИП.	4
6	Решение задач УСИЛИТЕЛИ	4
7	Решение задач ЛОГИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ	4
8	Решение задач ТРИГГЕРЫ	4

4.5 Самостоятельная работа

Семестр № 1

№	Вид СРС	Кол-во академических часов
1	Оформление отчетов по лабораторным и практическим работам	8
2	Подготовка к практическим занятиям (лабораторным работам)	20
3	Проработка разделов теоретического материала	32

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

5 Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины

5.1 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

5.1.1 Методические указания для обучающихся по практическим занятиям

Практическое занятие № 1. Расчет и выбор диодов и тиристор.

Цель занятия: научиться производить расчет и выбор диодов и тиристор.

Задание на занятие: изучить порядок расчета и выбора диодов и тиристор.

Рекомендации по выполнению заданий:

Соотношения для расчета тока и напряжения тиристора, используемые при выборе тиристор:

1) средний ток через тиристор

$$I_{vs} = K_{зап} I_d / (n * K_o) \quad (1),$$

где K_o - коэффициент, учитывающий способ охлаждения тиристора ($K_o=1$ при водяном охлаждении, $K_o=0,3$ при естественном воздушном охлаждении, $K_o=0,3...0,6$ при принудительном воздушном охлаждении);

I_d - средний выпрямленный ток,

n - число тактов выпрямления схемы, $n=1$ (однофазная однополупериодная), $n=2$ (однофазные нулевая и мостовая),

$K_{зап}=1,25...2,0$;

2) максимальное напряжение тиристора,

$$U_{обр.макс.} = k_{зап} U_{2н} \quad (2),$$

где $k_{зап}$ – коэффициент запаса, учитывающий превышение напряжения, $K_{зап}=1,25...2,0$.

Для выбора нужного тиристора силовой части УВ необходимо рассчитать средний ток тиристора $I_{ср}$ и максимальное обратное напряжение $U_{обр.макс.}$ по формулам (1) и (2). По данным расчета, округленным до стандартного значения в большую сторону, выбираем тип тиристора и его предельные параметры. Рекомендуемый тип тиристора в зависимости от среднего тока приведен в табл.1.

Таблица 1

Пример обозначения тиристора для спецификации: T132-50-7 (50 – средний ток в амперах, 7 – максимальное напряжение в сотнях вольт).

Практическое занятие № 2. Расчет неуправляемых выпрямителей.

Цель занятия: научиться производить расчет схем неуправляемых выпрямителей.

Задание на занятие: изучить порядок расчета и выбора схем неуправляемых выпрямителей.

Рекомендации по выполнению заданий:

Количественные показатели работы силовой схемы характеризуются следующими коэффициентами:

- коэффициентом схемы $K_{сх} = U_d / U_2$,
где U_2 - напряжение вторичной обмотки трансформатора,
 U_d - среднее значение выпрямленного напряжения;
- коэффициентом пульсаций $K_p = U_{пмах} / U_{мах} = 1 - \cos(180/p)$,
где $U_{пмах}$ - максимальная амплитуда пульсаций, $U_{мах}$ - амплитуда выпрямленного напряжения,
 p – число пульсаций за период ($p=2$ для однофазной мостовой схемы, $p=3$ для трехфазной нулевой и $p=6$ для трехфазной мостовой схем);
- коэффициентом использования трансформатора $K_{и} = S_t / P_d$, где S_t - полная мощность трансформатора,
 P_d - выпрямленная мощность в нагрузке.

Практическое занятие № 3. Расчет широтно-импульсных преобразователей (ШИП).

Цель занятия: научиться производить расчет схем широтно-импульсных преобразователей.

Задание на занятие: изучить порядок расчета и выбора схем широтно-импульсных преобразователей.

Рекомендации по выполнению заданий:

3.1. Выбор силового согласующего трансформатора

Мощность выбираемого трансформатора $P_{тр}$ рассчитывается по формуле (1):

$$P_{тр} = (k_{и} I_n U_n) / k_p \quad (1),$$

где $k_{и}$ - коэффициент использования,

k_p - КПД ШИП ($k_p = 0,9 \dots 0,95$),

I_n – номинальный ток двигателя (А);

U_n – номинальное напряжение двигателя (В).

Мощность его вторичной обмотки должна быть равной или немного большей расчетной по формуле (1).

Рассчитываем $U_{кз}$ по формуле (2):

$$U_{кз} = 0,1 U_{2н}, \quad (2)$$

где $U_{2н}$ – номинальное напряжение на вторичной обмотке трансформатора.

3.2. Расчет и выбор диодов выпрямителя

Для выбора нужного диода выпрямителя необходимо рассчитать его средний ток $I_{ср}$ и максимальное обратное напряжение $U_{обр.макс.}$ по формулам (2.1) и (2.2). По данным расчета выбираем тип диода и его предельные параметры. Рекомендуемый тип диода в зависимости от среднего тока приведен в табл.3.1.

Таблица 3.1

Пример обозначения диода для спецификации: Д132-50-7 (50 – средний ток в амперах, 7 – максимальное напряжение в сотнях вольт).

3.3. Выбор сглаживающего дросселя

Индуктивность необходимого сглаживающего дросселя определяется по следующей формуле:

$$L_d = (L_{тр} + L_{дв}), \quad (3)$$

где K_p – коэффициент пульсаций ($K_p = 0,1$);

частота пульсаций за период, $= p \cdot c$, p – число пульсаций за период ($c = 2f$ – частота сети, $f = 50$ Гц);

U_d – среднее значение выпрямленного напряжения (В),

$$U_d = k_{сх} U_{2н}, \quad (4)$$

I_n – номинальный ток двигателя (А);

$L_{тр}$ – индуктивность трансформатора (Гн);

$$L_{тр} = , \quad (5)$$

где X_t – индуктивное сопротивление обмотки трансформатора (Ом).

$$X_t = , \quad (6)$$

где P_n – номинальная мощность трансформатора (Вт), см. табл. 1.2.

$$L_{дв} = , \quad (7)$$

где k – коэффициент, учитывающий компенсированность двигателя ($k = 6 \dots 8$);

U_n – номинальное напряжение двигателя (В);

n_n – номинальная угловая скорость двигателя (об/мин);

$2p$ – число пар полюсов ($2p = 4$).

Индуктивность сглаживающего дросселя выбираем равной или немного больше рассчитанной.

3.4. Расчет активного сопротивления трансформатора

Активное сопротивление трансформатора рассчитывается по следующей формуле:

$$R_{тр} = , \quad (8)$$

где $R_{кз}$ – потери трансформатора в режиме КЗ ;

$U_{2н}$ – номинальное напряжение на вторичной обмотке трансформатора (В);

P_n – номинальная мощность трансформатора (Вт).

3.5. Расчет активного сопротивления сглаживающего дросселя

Активное сопротивление сглаживающего дросселя рассчитывается по формуле:

$$R_{сд} = R_{тр} / 3 \quad (9)$$

3.6. Расчет сопротивления диода

Сопротивление диода определяется формулой (10):

$$R_d = , \quad (10)$$

где U_d – падение напряжения на диоде, находящемся в открытом состоянии (1,0 В);

$I_{ср}$ – средний ток диода (А).

3.7. Расчет активного сопротивления выпрямителя

Активное сопротивление выпрямителя для мостовых схем рассчитывается по формуле:

$$R_p = R_{сд} + 2R_{тр} + 2R_d \quad (11).$$

Для нулевых схем множитель 2 в формуле (11) опускается.

3.8. Расчет индуктивного сопротивления выпрямителя

Индуктивное сопротивление преобразователя рассчитывается по формуле:

$$X_p = X_t + X_{сд}, \quad (12)$$

где $x_{сд}$ – индуктивное сопротивление сглаживающего дросселя

$$X_{сд} = c L_d, \quad (13)$$

где $c = 2f$ – частота сети.

3.9. Расчет силовой схемы ШИП

Силовая схема ШИП приведена на рис.3.2, где обозначено: U_p – выпрямленное напряжение, поданное через сглаживающий дроссель L_d с неуправляемого выпрямителя В; Сф – конденсатор сглаживающего фильтра СФ; Z_n – нагрузка ШИП (двигатель).

Средний ток через силовой тиристор VS1 (для схемы рис.3.2):

$$I_{vs1} = (K_{зап} I_d) / K_o \quad (14),$$

где K_o - коэффициент, учитывающий способ охлаждения диода ($K_o=1$ при водяном охлаждении, $K_o=0,3$ при естественном воздушном охлаждении, $K_o=0,3...0,6$ при принудительном воздушном охлаждении);

I_d - средний выпрямленный ток,

$K_{зап}$ – коэффициент запаса по току, $K_{зап} = 1,2...2,5$;

Максимальное напряжение тиристора:

$$U_{обр.макс.} = k_{зап} U_d \quad (15),$$

где $k_{зап}$ – коэффициент запаса, учитывающий превышение напряжения, $K_{зап}=2,5...3,0$;
 U_d – среднее выпрямленное напряжение.

Данные тиристоров приведены в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Пример обозначения диода для спецификации: T132-50-7 (50 – средний ток в амперах, 7 – максимальное напряжение в сотнях вольт).

Примечание. Коммутирующий тиристор VS2 и силовые диоды VD1 и VD2 для схемы рис.3.2 выбираются на такое же напряжение, как и тиристор VS1, а по току - на одну ступень меньше.

Сопротивление тиристора определяется формулой (2.18):

$$R_T = , \quad (2.18)$$

где U_T - падение напряжения на тиристоре, находящемся в открытом состоянии (1,5 В);

$I_{ср}$ - средний ток тиристора (А), см. п. 2.2.1.

Суммарное внутреннее активное сопротивление ШИП:

$$R_{шип} = R_p + R_T . \quad (2.19)$$

Практическое занятие № 4. Расчет характеристик ШИП.

Цель занятия: научиться производить расчет характеристик ШИП.

Задание на занятие: изучить порядок расчета характеристик ШИП.

Рекомендации по выполнению заданий:

Регулировочная характеристика ШИП

$$U_{вых} = U_d$$

Регулировочная характеристика ШИП показана на рис.4.1, где $U_p = U_d$.

Выходная характеристика ШИП

$$U_{вых} = U_d - I R_{шип}, \quad (20)$$

где I - текущий ток.

Выходная характеристика ШИП показана на рис.4.2.

Рис.4.2

Практическое занятие № 5. Выбор системы управления ШИП.

Цель занятия: научиться производить выбор системы управления ШИП.

Задание на занятие: изучить порядок расчета и выбора системы управления ШИП.

Рекомендации по выполнению заданий:

Система управления ШИП строится на основе функциональной схемы. Принципиальная схема системы управления ШИП приведена на рис.5.1.

На схеме рис.5.1 обозначено:

D1 – интегратор (И). Постоянная времени интегратора регулируется подбором элементов

R1, C1.

D2 – релейный элемент (РЭ). Напряжение срабатывания задается элементами R2, R3.

D3 – компаратор (К). Соотношение входных напряжений задается элементами R4, R5.

D4 – логический инвертор (ЛИ).

R3 – задающий потенциометр (изменение напряжения управления U_y),

C2, R7 – формирователь коротких импульсов управления (ФИ1) для блока усилителя-формирователя первого канала СУ (УФ1).

C3, R8 – формирователь коротких импульсов управления (ФИ2) для блока усилителя-формирователя второго канала СУ (УФ2).

VT1, VT2 – усилители мощности импульсов управления (УМ1 и УМ2).

ТИ1, ТИ2 – импульсные трансформаторы узлов гальванической развязки (ГР1 и ГР2).

Диоды VD9 – VD12 служат для отсека паразитных импульсов отрицательной полярности, т.к. на управляющие электроды тиристоров допускается подавать импульсы управления только положительной полярности.

Выбор блока питания системы управления ШИП

Принципиальная схема блока питания (БП) для системы управления ШИП приведена на рис.5.2.

На схеме рис.5.2 обозначено:

TV2 – понижающий трансформатор блока питания (типа ТА-50-220/2х9) с первичной обмоткой ($\sim U_c$) на 220 В и двумя вторичными обмотками на 9 В;

VD13 - VD20 – диоды двух выпрямительных мостов (типа КЦ402);

Cф1- Cф2 – конденсаторы сглаживающих фильтров (типа К50-12, 1000,0 мкФ, 12 В).

5.1.2 Методические указания для обучающихся по лабораторным работам:

Лабораторная работа № 1. Управляемый тиристорный выпрямитель.

Цель работы: изучение и исследование управляемого выпрямителя (УВ).

Задание: разбор конкретной ситуации наладки УВ.

Ход работы:

1. Ознакомьтесь с расположением измерительных приборов и органов управления лабораторным стендом; составьте программу включения стенда (сначала включение системы управления, оценка ее исправности по приборам, только потом включение силовой части преобразователя).
2. Снимите регулировочные характеристики преобразователя $U_{вых}=f(U_y)$ и двигателя $U_{тг}=f(U_y)$ при холостом ходе ($I_n=0$). Данные занесите в табл.2. Постройте характеристики в одном масштабе.
3. Определите выходные характеристики преобразователя $U_{вых}=f(I_n)$ и двигателя $U_{тг}=f(I_n)$ при $U_{вых} \text{ хх} = 40, 60, 80 \text{ В}$. Данные занесите в табл.3. Постройте характеристики в одном масштабе. Рассчитайте основные показатели регулирования: диапазон регулирования $D = n_{max}/n_{min}$, статизм $s = (n_0 - n)/n_0$.

Таблица 2

Требования к отчетным материалам:

1. Цель работы.
2. Функциональная и принципиальная схемы преобразователя.
3. Таблицы с экспериментальными данными и построенные по ним графики.
4. Краткие выводы по лабораторной работе.

Лабораторная работа № 2. Промышленный широтно-импульсный преобразователь.

Цель работы: изучение и исследование схемы широтно-импульсного преобразователя (ШИП).

Задание: разбор конкретной ситуации наладки ШИП.

Ход работы:

1. Ознакомьтесь с расположением измерительных приборов и органов управления лабораторным стендом; составьте программу включения стенда (сначала включение системы управления, оценка ее исправности по приборам, только потом включение силовой части преобразователя).
2. Снимите регулировочные характеристики преобразователя $U_{\text{вых}}=f(U_{\text{у}})$ и двигателя $U_{\text{тг}}=f(U_{\text{у}})$ при холостом ходе ($I_{\text{н}}=0$). Данные занесите в табл.2. Постройте характеристики в одном масштабе, используя рис.7.
3. Определите выходные характеристики преобразователя $U_{\text{вых}}=f(I_{\text{н}})$ и двигателя $U_{\text{тг}}=f(I_{\text{н}})$ при $U_{\text{вых}} \text{ хх} = 40, 50, 60 \text{ В}$. Данные занесите в табл.3. Постройте характеристики в одном масштабе, используя рис.8. Рассчитайте основные показатели регулирования: диапазон регулирования $D = p_{\text{max}}/n_{\text{min}}$, статизм $s = (p_{\text{о}} - n)/p_{\text{о}}$.

Таблица 2

Таблица 3

Требования к отчётным материалам:

1. Цель работы.
2. Функциональная и принципиальная схемы преобразователя.
3. Таблицы с экспериментальными данными и построенные по ним графики.
4. Краткие выводы по лабораторной работе.

Лабораторная работа № 3. Частотно-импульсный преобразователь (ЧИП).

Цель работы: изучение и исследование схемы преобразователя.

Задание: разбор конкретной ситуации наладки ЧИП.

Ход работы:

1. Ознакомьтесь с расположением измерительных приборов и органов управления лабораторным стендом; составьте программу включения стенда (сначала включение системы управления, оценка ее исправности по приборам, только потом включение силовой части преобразователя).
2. Снимите регулировочные характеристики преобразователя $U_{\text{вых}}=f(U_{\text{у}})$ и двигателя $U_{\text{тг}}=f(U_{\text{у}})$ при холостом ходе ($I_{\text{н}}=0$). Данные занесите в табл.2. Постройте характеристики в одном масштабе, используя рис.6.
3. Определите выходные характеристики преобразователя $U_{\text{вых}}=f(I_{\text{н}})$ и двигателя $U_{\text{тг}}=f(I_{\text{н}})$ при $U_{\text{вых}} \text{ хх} = 40, 60, 80 \text{ В}$. Данные занесите в табл.3. Постройте характеристики в одном масштабе, используя рис.7. Рассчитайте основные показатели регулирования: диапазон регулирования $D = p_{\text{max}}/n_{\text{min}}$, статизм $s = (p_{\text{о}} - n)/p_{\text{о}}$.

Таблица 2

Таблица 3

Требования к отчётным материалам:

1. Цель работы.
2. Функциональная и принципиальная схемы преобразователя.
3. Таблицы с экспериментальными данными и построенные по ним графики.
4. Краткие выводы по лабораторной работе.

Лабораторная работа № 4. Тиристорный регулятор напряжения (ТРН).

Цель работы: изучение и исследование схемы преобразователя.

Задание: разбор конкретной ситуации наладки ТРН.

Ход работы:

1. Ознакомьтесь с расположением измерительных приборов и органов управления лабораторным стендом; составьте программу включения стенда (сначала включение системы управления, оценка ее исправности по приборам, только потом включение

силовой части преобразователя).

2. Снимите регулировочные характеристики преобразователя $U_{\text{вых}}=f(U_{\text{у}})$ и двигателя $n=f(U_{\text{у}})$ при холостом ходе. Данные занесите в табл.3. Постройте характеристики в одном масштабе, используя рис.5. Проанализируйте характеристики.

3. Определите выходные характеристики преобразователя $U_{\text{вых}}=f(I_{\text{н}})$ и механические характеристики двигателя $n=f(I_{\text{н}})$ при напряжении холостого хода $U_{\text{вых хх}}= 100, 150 \text{ В}$. Данные занесите в табл.4. Постройте характеристики в одном масштабе, используя рис.6. Проанализируйте характеристики. Рассчитайте основные показатели регулирования: диапазон регулирования $D = n_{\text{мах}}/n_{\text{мин}}$, статизм $s = (n_0 - n)/n_0$.

Таблица 3

Таблица 4

Требования к отчётным материалам:

1. Цель работы.
2. Функциональная и принципиальная схемы преобразователя.
3. Таблицы с экспериментальными данными и построенные по ним графики.
4. Краткие выводы по лабораторной работе.

Лабораторная работа № 5. Исследование тиристорного преобразователя частоты (ТПЧ).

Цель работы: изучение и исследование схемы преобразователя.

Задание: разбор конкретной ситуации наладки ТПЧ.

Ход работы:

1. Ознакомьтесь с расположением измерительных приборов и органов управления лабораторным стендом; составьте программу включения стенда (сначала включение системы управления, оценка ее исправности по приборам, только потом включение силовой части преобразователя).
2. Определите регулировочные характеристики двигателя $n=k(f_{\text{вых}})$ и ТПЧ $U_{\text{вых}}=k(f_{\text{вых}})$.
3. Определите статические характеристики системы $n=f(I_{\text{н}})$ и $U_{\text{вых}}=f(I_{\text{н}})$ при выходной частоте ТПЧ 20 и 35 Гц.
4. Постройте полученные характеристики в одном масштабе.
5. Рассчитайте основные показатели регулирования: диапазон регулирования $D = n_{\text{мах}}/n_{\text{мин}}$, статизм $s = (n_0 - n)/n_0$.

Требования к отчётным материалам:

1. Цель работы.
2. Функциональная и принципиальная схемы преобразователя.
3. Таблицы с экспериментальными данными и построенные по ним графики.
4. Краткие выводы по лабораторной работе.

Лабораторная работа № 6. Транзисторный преобразователь частоты.

Цель работы: изучение и исследование характеристик преобразователя частоты (ПЧ).

Задание: разбор конкретной ситуации наладки ПЧ.

Ход работы:

1. Ознакомьтесь с расположением измерительных приборов и органов управления лабораторным стендом; составьте программу включения стенда (сначала включение системы управления, оценка ее исправности по приборам, только потом включение силовой части преобразователя).
2. Определите регулировочные характеристики системы $n=k(f_{\text{вых}})$ и $I_{\text{н}}=k(f_{\text{вых}})$ при работе на двигательную нагрузку при $U_{\text{вых}}=10 \text{ В}$ в режиме постоянства мощности двигателя ($P_{\text{дв}}=\text{const}$). Данные занесите в табл.2. Постройте характеристики, используя рис.5 - 7.
3. Определите регулировочные характеристики системы $n=k(f_{\text{вых}})$ и

$I_n = k(f_{\text{вых}})$ при работе на двигательную нагрузку в режиме постоянства момента двигателя ($M_{\text{дв}} = \text{const}$) с начальными значениями $f_{\text{вых}} = 400$ Гц, $U_{\text{вых}} = 36$ В. Уменьшайте частоту в соответствии с заданием табл.3, стабилизируя ток двигателя снижением напряжения на двигателе. Данные занесите в табл.3. Постройте характеристики, используя рис.5 - 7. Рассчитайте диапазон регулирования $D = n_{\text{max}}/n_{\text{min}}$.

Таблица 2

Таблица 3

Требования к отчётным материалам:

1. Цель работы.
2. Функциональная и принципиальная схемы преобразователя.
3. Таблицы с экспериментальными данными и построенные по ним графики.
4. Краткие выводы по лабораторной работе.

Лабораторная работа № 7. Преобразователь частоты с МПСУ.

Цель работы: изучение и исследование схемы преобразователя (ПЧ).

Задание: разбор конкретной ситуации наладки ПЧ с МПСУ.

Ход работы:

1. Ознакомьтесь с расположением измерительных приборов и органов управления лабораторным стендом.
2. Изучите устройство ПЧ VLT 3002.
3. Подайте питание к ПЧ VLT 3002.
4. Выполните первичную настройку ПЧ VLT 3002 согласно п.4.1.
5. Зафиксируйте результаты проведённой настройки.
6. Определите регулировочные и нагрузочные характеристики ПЧ и электропривода. Данные занесите в таблицы 1 и 2. Постройте графики, используя рис.6 и рис.7. Рассчитайте основные показатели регулирования: диапазон регулирования $D = n_{\text{max}}/n_{\text{min}}$, статизм $s = (n_0 - n)/n_0$.

Регулировочные характеристики. Таблица 1.

Нагрузочные характеристики. Таблица 2

Требования к отчётным материалам:

1. Цель работы.
2. Функциональная и принципиальная схемы преобразователя.
3. Таблицы с полученными данными и построенные по ним графики.
4. Краткие выводы по лабораторной работе.

5.1.3 Методические указания для обучающихся по самостоятельной работе:

1. Подготовка к практическим занятиям и лабораторным работам. Подготовка к лабораторным работам включает самостоятельную теоретическую подготовку к лабораторной работе, в том числе изучение описания лабораторной установки (оборудования), составление краткого конспекта, подготовку таблиц измеряемых величин. Оформление отчетов по лабораторным работам. Отчет по лабораторной работе должен быть оформлен после выполнения лабораторной работы и должен быть представлен для защиты лабораторной работы.
2. Промежуточный контроль знаний проводится в виде устных опросов и предусматривает предварительную работу студента с учебными материалами, конспектами лекций, с использованием теоретических и практических материалов, а также дополнительной учебной литературы и ресурсов Интернета.
3. Самостоятельное изучение разделов курса включает в себя работу с источниками, которую необходимо начинать с ознакомительного чтения, т.е. просмотреть текст,

выделяя его структурные единицы. При ознакомительном чтении закладками отмечаются те страницы, которые требуют более внимательного изучения. В зависимости от результатов ознакомительного чтения выбирается дальнейший способ работы с источником. Если для разрешения поставленной задачи требуется изучение некоторых фрагментов текста, то используется метод выборочного чтения. Избранные фрагменты или весь текст (если он целиком имеет отношение к рассматриваемым темам) требуют вдумчивого, неторопливого чтения с «мысленной проработкой» материала.

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 семестр 1 | Устный опрос

Описание процедуры.

выборочный опрос

Критерии оценивания.

- 1) полнота и правильность ответа;
 - 2) степень осознанности, понимания изученного;
- При ответе в полном объеме, студент оценивается как «хорошо», при частичном (50% ответа) – «удовлетворительно», при отсутствии правильных ответов – «неудовлетворительно».

6.1.2 семестр 1 | Тест

Описание процедуры.

Выдается бланк для выставления ответов и вопросник, в котором не менее 8 вопросов, к каждому из которых имеются несколько ответов. Обучающийся выбирает правильный ответ и заносит его в бланк ответов. На выполнение теста выделяется 15 минут. После ответы сдаются преподавателю на проверку.

Пример:

1. Какие преобразователи относятся к преобразователям постоянного тока:
 1. Управляемый выпрямитель (УВ)
 2. Преобразователь частоты со звеном постоянного тока (ПЧ с ЗПТ)
 3. Регулятор напряжения (РН)
 4. Непосредственный преобразователь частоты (НПЧ)
2. Какие преобразователи относятся к преобразователям переменного тока:
 1. Управляемый выпрямитель (УВ)
 2. Регулятор напряжения (РН)
 3. Широтно-импульсный преобразователь (ШИП)
 4. Частотно-импульсный преобразователь (ЧИП)
3. Регулирование выходного напряжения управляемого выпрямителя осуществляется за счет:
 1. Изменения емкости конденсаторов
 2. Регулирования напряжения сети
 3. Изменения угла управления тиристора

4. Изменения ширины импульса управления тиристором
4. Какая из схем управляемого выпрямителя имеет лучший коэффициент пульсаций:
 1. Однофазная мостовая
 2. Однофазная нулевая
 3. Трехфазная нулевая
 4. Трехфазная мостовая
5. Какой блок системы управления УВ формирует угол управления тиристором:
 1. Генератор периодического напряжения
 2. Компаратор
 3. Усилитель-формирователь
 4. Устройство гальванической развязки
6. Каков основной недостаток УВ:
 1. Высокий КПД
 2. Относительная простота
 3. Уменьшение коэффициента мощности при регулировании напряжения
 4. Естественное запирание тиристорov
7. Регулирование выходного напряжения ШИП происходит за счет:
 1. Изменения скважности импульсов выходного напряжения
 2. Изменения частоты импульсов выходного напряжения
 3. Изменения амплитуды импульсов выходного напряжения
 4. Изменения ширины импульсов управления тиристором
8. Коммутация тиристорov в ШИП происходит за счет:
 1. Естественного закрывания тиристорov
 2. Принудительной коммутации тиристорov
 3. Снятия импульсов управления
 4. Изменения формы импульса управления
9. Какой блок системы управления ШИП определяет скважность выходного напряжения:
 1. Генератор периодического напряжения
 2. Компаратор
 3. Усилитель-формирователь
 4. Устройство гальванической развязки
10. Какой параметр влияет на жесткость выходных характеристик:
 1. Напряжение управления
 2. Напряжение питания
 3. Скважность
 4. Внутреннее сопротивление преобразователя
11. Какой вид регулировочной характеристики предпочтительнее:
 1. Монотонно убывающая до нуля
 2. Начинаясь с нуля линейно возрастающая
 3. Линейно возрастающая с зоной нечувствительности
 4. Линейно возрастающая, имеющая начальный скачок
12. Область предпочтительной работы УВ:
 1. Зона прерывистых токов
 2. Зона непрерывных токов
 3. Граница двух зон
13. Основное достоинство ШИП (по сравнению с УВ):
 1. Быстродействие
 2. КПД
 3. Наличие узлов принудительной коммутации
 4. Наличие сглаживающего фильтра
14. Регулирование выходного напряжения ЧИП происходит за счет:

1. Изменения частоты импульсов выходного напряжения
2. Изменения ширины импульсов выходного напряжения
3. Изменения амплитуды импульсов выходного напряжения
4. Изменения угла управления тиристора
15. Какой блок системы управления ЧИП определяет частоту выходного напряжения:
 1. Задающий генератор
 2. Распределитель импульсов
 3. Усилитель-формирователь
 4. Устройство гальванической развязки
16. Коммутация тиристорov в мостовом ЧИП происходит за счет:
 1. Естественного запирающего тиристорov сетевым напряжением
 2. Трансформаторной коммутации тиристорov
 3. Параллельной конденсаторной коммутации
 4. Последовательной конденсаторной коммутации
17. Недостаток ЧИП (по сравнению с ШИП):
 1. Простота силовой схемы
 2. Линейность выходных характеристик
 3. Мягкость выходных характеристик
 4. Простота системы управления
18. Регулирование выходного напряжения РН происходит за счет:
 1. Изменения угла управления тиристорov
 2. Изменения частоты импульсов выходного напряжения
 3. Изменения ширины импульсов управления
 4. Изменения полярности импульсов управления
19. Какая из однофазных силовых схем РН имеет наилучшие технические данные:
 1. Встречно-параллельная
 2. Симисторная
 3. Несимметричная
20. Системе управления какого преобразователя аналогична система управления РН:
 1. УВ
 2. ШИП
 3. ЧИП
 4. ПЧ с ЗПТ
21. Основной недостаток РН:
 1. Высокий КПД
 2. Простота силовой схемы
 3. Несинусоидальность формы выходного напряжения при его регулировании
 4. Естественное запирание тиристорov
22. Какой блок ПЧ с ЗПТ регулирует выходную частоту:
 1. Управляемый выпрямитель
 2. Фильтр
 3. Автономный инвертор
 4. Силовой трансформатор
23. Какой блок ПЧ с ЗПТ регулирует выходное напряжение:
 1. Управляемый выпрямитель
 2. Фильтр
 3. Автономный инвертор
 4. Силовой трансформатор
24. Какой тип автономного инвертора имеет наибольшую выходную частоту:
 1. Инвертор напряжения
 2. Инвертор тока

3. Резонансный инвертор
25. Какой блок системы управления ПЧ с ЗПТ формирует сдвиг импульсов управления тиристорами:
 1. Задающий генератор
 2. Распределитель импульсов
 3. Усилитель импульсов
 4. Устройство гальванической развязки
26. Основной недостаток ПЧ с ЗПТ:
 1. Возможность получения частоты выходного напряжения выше частоты сети
 2. Относительная простота силовой схемы
 3. Простота системы управления
 4. Ступенчатая форма выходного напряжения
27. Силовая схема какого преобразователя положена в основу силовой схемы НПЧ:
 1. Инвертор напряжения
 2. Нереверсивный ШИП
 3. Реверсивный УВ
 4. Инвертор тока

Критерии оценивания.

- 1 ошибка – тест сдан;
- 2 ошибки – тест не сдан, задается дополнительный вопрос или дополнительный тест проводится работа на ошибками;
- 3 и более – тест не сдан, обучающемуся предоставляется возможность пройти тест повторно на следующем занятии, проводится работа над ошибками и выдается дополнительное задание на самостоятельное изучение

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-2.3	знает современные естественнонаучные и прикладные задачи электроэнергетики и электротехники, включая элементы силовой электроники методы и средства их решения прикладных и исследовательских задач; умеет находить нестандартные решения профессиональных задач, применять современные методы и средства исследования, проектирования, технологической подготовки производства и эксплуатации электроэнергетических и	Устное собеседование по теоретическим вопросам и выполнение практических заданий и/или лабораторных работ,

	электротехнических объектов; владеть современными измерительными и компьютерными системами и технологиями, навыками оформления, представления и защиты результатов решения.	
ПК-3.4	Знает основные физические законы, явления и процессы на которых основаны протекающие динамические процессы в основных элементах электротехнических установок, принципы составления схем замещения для расчета коротких замыканий, режимов и других расчетов; Владеет - описанием основных физических процессов и явлений, протекающих в электротехнических установках; - методами расчета режимов и параметров, основных элементов электротехнических установок.	Устное собеседование по теоретическим вопросам и выполнение практических заданий и/или лабораторных работ,

6.2.2 Типовые оценочные средства промежуточной аттестации

6.2.2.1 Семестр 1, Типовые оценочные средства для проведения экзамена по дисциплине

6.2.2.1.1 Описание процедуры

Экзамен (зачет) по курсу проводятся в письменной или устной форме. Экзаменационный билет содержит теоретический вопрос и задачи. По теоретическому вопросу и каждой задаче выставляется оценка по пятибалльной системе.

Пример задания:

1. Классификация управляемых преобразователей.
2. Принцип действия управляемого выпрямителя.
3. Принцип действия широтно-импульсного преобразователя.
4. Принцип действия частотно-импульсного преобразователя.
5. Принцип действия регулятора напряжения переменного тока.
6. Принцип действия ПЧ со звеном постоянного тока.
7. Принцип действия непосредственного преобразователя частоты.
8. Функциональная схема управляемого выпрямителя.
9. Функциональная схема широтно-импульсного преобразователя.
10. Функциональная схема частотно-импульсного преобразователя.
11. Функциональная схема регулятора напряжения переменного тока.
12. Функциональная схема ПЧ со звеном постоянного тока.
13. Функциональная схема непосредственного преобразователя частоты.
14. Принципиальная схема управляемого выпрямителя.

15. Принципиальная схема широтно-импульсного преобразователя.
16. Принципиальная схема частотно-импульсного преобразователя.
17. Принципиальная схема регулятора напряжения переменного тока.
18. Принципиальная схема ПЧ со звеном постоянного тока.
19. Принципиальная схема непосредственного преобразователя частоты.
20. Характеристики управляемого выпрямителя.
21. Характеристики широтно-импульсного преобразователя.
22. Характеристики частотно-импульсного преобразователя.
23. Характеристики регулятора напряжения переменного тока.
24. Характеристики ПЧ со звеном постоянного тока.
25. Характеристики непосредственного преобразователя частоты.
26. Принципиальная схема транзисторного ПЧ со звеном постоянного тока.
27. Функциональная схема транзисторного ПЧ со звеном постоянного тока.

6.2.2.1.2 Критерии оценивания

Отлично	Хорошо	Удовлетворительно	Неудовлетворительно
отличное понимание предмета, всесторонние знания, отличные умения и владения.	достаточно полное понимание предмета, хорошие знания, умения и владения.	приемлемое понимание предмета, удовлетворительные знания, умения и владения.	результаты обучения не соответствуют минимальным требованиям

7 Основная учебная литература

1. Розанов Ю. К. Силовая электроника : учебник по направлению подготовки "Электротехника, электромеханика и электротехнологии" / Ю. К. Розанов, М. В. Рябчицкий, А. А. Кваснюк, 2009. - 631.
2. Дунаев М. П. Силовая электроника [Электронный ресурс] : методические указания для лабораторных занятий для студентов направления 140000 - Энергетика, энергетическое машиностроение и электротехника / М. П. Дунаев, 2012. - 46.
3. Дунаев М. П. Силовая электроника [Электронный ресурс] : методические указания для практических занятий для студентов направления 140000 - Энергетика, энергетическое машиностроение и электротехника / М. П. Дунаев, 2012. - 23.
4. Дунаев М. П. Силовая электроника [Электронный ресурс] : учебное пособие для студентов направления 140000 - Энергетика, энергетическое машиностроение и электротехника / М. П. Дунаев, 2012. - 123.
5. Илющенко В. В. Силовая электроника : лабораторный практикум / В. В. Илющенко, 2022. - 132.

8 Дополнительная учебная литература и справочная

1. Семенов Б. Ю. Силовая электроника для любителей и профессионалов / Б. Ю. Семенов, 2001. - 327.
2. Уильямс Барри. Силовая электроника: Приборы, применение, управление : справ. пособие / Барри Уильямс; Перевод с англ. В. В. Попова, 1993. - 239.

3. Зиновьев Г. С. Силовая электроника : учебное пособие для бакалавров по специальности "Промышленная электроника" / Г. С. Зиновьев, 2012. - 667.
4. Онищенко Г. Б. Силовая электроника. Силовые полупроводниковые преобразователи для электропривода и электроснабжения : учебное пособие для бакалавров и магистров по направлениям 13.03.02 и 13.04.02 "Электроэнергетика и электротехника" / Г. Б. Онищенко, О. М. Соснин, 2016. - 120.
5. Дунаев М. П. Силовая электроника : методические указания для лабораторных работ: направление подготовки 13.03.02 "Электроэнергетика и электротехника": профиль "Электропривод и автоматика": квалификация (степень) бакалавр / М. П. Дунаев, 2018. - 53.
6. Дунаев М. П. Силовая электроника : методические указания для практических занятий: направление подготовки 13.03.02 "Электроэнергетика и электротехника": профиль "Электропривод и автоматика": квалификация (степень) бакалавр / М. П. Дунаев, 2018. - 23.
7. Силовая электроника : примеры и расчеты / Ф. Чаки [и др.], 1982. - 382.

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)

12 Материально-техническое обеспечение дисциплины

1. Комплект учебного оборудования "Основы силовой электроники" исполн. моноблоч.
2. 20057 Вольтметр В 7-37
3. 312133 Лабораторный стенд К-32/Комплект/
4. 312134 Лабораторный стенд К-32/Комплект/
5. 310584 Генератор сигналов низкочастотный ГЗ-109
6. 13219 Мост перем. тока Р 571
7. Милливольтметр ВЗ-56
8. 312129 Лабораторный стенд К-32/Комплект/

9. 13216 Электрометр ЭД 05М
10. 13786 Лабораторный стенд "Луч"
11. 13785 Лабораторный стенд "Луч"
12. Осциллограф одноканальный
13. Комплект лабораторного оборудования "Основы силовой электроники" ОСЭ1-Н-Р (настольное исполнение,ручная версия)
14. Ноутбук Lenovo IdealPad B5045 (39,62" мм;Память 4Гб;Процессор 4ядра,модель 6410;Жесткий диск 500ГБ)
15. Экран Classic Scutum
16. 311971 Прибор Б5-47 /Источник питания постоянного тока/
17. 13213 Нульиндикатор Ф-582
18. 20084 Изделие 87А-01 "Луч"