

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Галунин Сергей Александрович
Должность: проректор по учебной работе
Дата подписания: 11.07.2023 11:02:46
Уникальный программный ключ:
08ef34338325bdb0ac5a47baa5472ce36cc3fc3b

Приложение к ОПОП
«Возобновляемая солнечная
энергетика (renewable solar
energy)»



СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
ПЕРВЫЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова (Ленина)»
(СПбГЭТУ «ЛЭТИ»)

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины

«НАКОПИТЕЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ (ENERGY STORAGE)»

для подготовки магистров

по направлению

11.04.04 «Электроника и наноэлектроника»

по программе

«Возобновляемая солнечная энергетика (renewable solar energy)»

Санкт-Петербург

2022

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Разработчики:

доцент, к.т.н., доцент Коноплев Г.А.

ассистент Костик Н.Р.

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры Фот
16.05.2022, протокол № 3/22

Рабочая программа рассмотрена и одобрена учебно-методической комиссией
ФЭЛ, 16.06.2022, протокол № 3/22

Согласовано в ИС ИОТ

Начальник ОМОЛА Загороднюк О.В.

1 СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Обеспечивающий факультет	ФЭЛ
Обеспечивающая кафедра	Фот
Общая трудоемкость (ЗЕТ)	4
Курс	2
Семестр	3
Виды занятий	
Лекции (академ. часов)	34
Лабораторные занятия (академ. часов)	17
Практические занятия (академ. часов)	17
Иная контактная работа (академ. часов)	1
Все контактные часы (академ. часов)	69
Самостоятельная работа, включая часы на контроль (академ. часов)	75
Всего (академ. часов)	144
Вид промежуточной аттестации	
Экзамен (курс)	2

2 АННОТАЦИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

«НАКОПИТЕЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ (ENERGY STORAGE)»

В рамках этой специализации вы узнаете об основных функциях, которые должна выполнять система управления аккумуляторами, о том, как работают элементы литий-ионных аккумуляторов и как математически моделировать их поведение, а также как писать алгоритмы (компьютерные методы) для оценки состояния заряда, состояния здоровья, оставшейся энергии и доступной мощности, и как балансировать элементы в аккумуляторной батарее.

SUBJECT SUMMARY

«ENERGY STORAGE SYSTEMS»

In this specialization, you will learn the major functions that must be performed by a battery management system, how lithium-ion battery cells work and how to model their behaviors mathematically, and how to write algorithms (computer methods) to estimate state-of-charge, state-of-health, remaining energy, and available power, and how to balance cells in a battery pack.

3 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

3.1 Цели и задачи дисциплины

1. Целями изучения дисциплины являются:

-приобретение теоретических навыков о принципах работы элементов литий-ионных батарей, требованиях к системе управления батареей, к разработке модели эквивалентных схем для элементов литий-ионных батарей;

-формирование у обучающихся умений по реализации оценки состояния заряда (SOC) для элементов литий-ионных батарей, реализации оценки состояния здоровья (SOH) для элементов литий-ионных батарей, разработки балансиров и оценщиков предельной мощности для литий-ионных аккумуляторных батарей.

2. Задачами дисциплины являются приобретение навыков по классификации ячеек модели АКБ, понимания преимущества и недостатки как простых, так и более сложных оценок состояния систем АКБ, понимание связи между SOC и его физической основой и умение рассчитывать SOC на основе концентрации лития в электроде.

Обучающийся научится различать различные типы емкостных ячеек, вычислять SOC ячейки на основе остаточной и общей емкости, вычислять среднее значение и дисперсию скалярной случайной величины по ее значениям, вычислять значение многомерной гауссовской случайной величины в определенной точке, различать независимые и некоррелированные случайные величины.

3. Знания терминологии и функций литий-ионных элементов, а также требований к системам управления батареями, необходимых в оставшейся части специализации.

После завершения этого курса обучающийся сможет:

-перечислить основные функции, обеспечиваемые системой управления батареей, и указать их назначение;

- сопоставить терминологию аккумуляторов со списком определений;
- определить основные компоненты литий-ионного элемента и их назначение;
- понять, как система управления батареей "измеряет" ток, температуру и изоляцию, а также как она управляет контакторами;
- определите электронные компоненты, которые могут обеспечить защиту, и укажите минимальный набор необходимых защит;
- вычислить запасенную энергию в аккумуляторной батарее;
- перечислить этапы производства различных типов литий-ионных элементов и возможные виды отказов.

4. Приобретенные умения:

- разработать эквивалентно-схемные модели для литий-ионных аккумуляторных элементов;
- реализовать оценки состояния заряда (SOC) для элементов литий-ионных батарей;
- реализовать оценку состояния здоровья (SOH) для литий-ионных элементов питания;
- разработать балансиры и оценщики предельной мощности для литий-ионных аккумуляторных батарей.

5. Навыки:

- разработки эквивалентных схемных моделей для элементов литий-ионных батарей;
- реализации оценщика состояния заряда для элементов литий-ионных батарей;
- понимания принципов работы литий-ионных батарей и основных требований к системам управления батареями;
- реализации системы оценки состояния здоровья для литий-ионных элементов батареи;
- понимания требований к балансировке и реализации оценщика мощности для литий-ионных аккумуляторных батарей;

-понимания требований к системе управления батареями;

Понять принцип работы элементов литий-ионных батарей

-реализации оценки состояния заряда (SOC) для элементов литий-ионных батарей;

-реализации оценки состояния здоровья (SOH) для элементов литий-ионных батарей;

-разработки балансиры и оценщика предельной мощности для литий-ионных аккумуляторных батарей.

3.2 Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина изучается на основе ранее освоенных дисциплин учебного плана:

1. «Возобновляемые источники энергии (Renewable Energy Sources)»

2. «Компьютерные технологии и моделирование в электронике (Computer Technology and Simulation in Electronics)»

3. «Процессы микро-и нанотехнологии (Micro-and Nanotechnology Processes)»

и обеспечивает подготовку выпускной квалификационной работы.

3.3 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

В результате освоения образовательной программы обучающийся должен достичь следующие результаты обучения по дисциплине:

Код компетенции/ индикатора компетенции	Наименование компетенции/индикатора компетенции
СПК-23	Способен осуществлять проектирование солнечных фотоэлектрических преобразователей и выбор конструктивно-технологических вариантов их создания
<i>СПК-23.1</i>	<i>Знает способы организации и проведения экспериментальных исследований солнечных фотоэлектрических преобразователей</i>
<i>СПК-23.2</i>	<i>Умеет самостоятельно проводить экспериментальные исследования солнечных фотоэлектрических преобразователей</i>
<i>СПК-23.3</i>	<i>Владеет навыками проведения исследования с применением современных средств и методов солнечных фотоэлектрических преобразователей</i>

4 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1 Содержание разделов дисциплины

4.1.1 Наименование тем и часы на все виды нагрузки

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Лек, ач	Пр, ач	Лаб, ач	ИКР, ач	СР, ач
1	Введение в системы управления аккумулятора-ми	3	2	2		18
2	Эквивалентная схема моделирования модели АКБ	10	5	5		19
3	Оценка состояния заряда батареи (SOC)	10	5	5		19
4	Балансировка аккумуляторных батарей и оцен-ка мощности	10	5	5		19
5	Проектирование систем управления АКБ	0		0	1	
6	Заключение	1			0	
	Итого, ач	34	17	17	1	75
	Из них ач на контроль	0	0	0	0	35
	Общая трудоемкость освоения, ач/зе	144/4				

4.1.2 Содержание

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
1	Введение в системы управле-ния аккумулятора-ми	Обзор терминологии и особенностей функционирова-ния литий-ионных элементов, а также рассмотрение требований к системам управления батареями, необ-ходимых в оставшейся части специализации.
2	Эквивалентная схема модели-рования модели АКБ	Использование уравнений эквивалентно-схемной мо-дели элементов литий-ионной батареи.
3	Оценка состояния заряда бата-реи (SOC)	Применение различных методов оценки состояния за-ряда и оценивать их относительные достоинства
4	Балансировка аккумуляторных батарей и оценка мощности	Проектирование системы балансировки и вычисление остатка энергии и доступной мощности для аккумуля-торной батареи.
5	Проектирование систем управ-ления АКБ	Теоретический расчет, проектирование и подбор ком-понентной базы системы управления (BMS) АКБ
6	Заключение	Подведение итогов. Обобщение пройденного материа-ла.

4.2 Перечень лабораторных работ

Наименование лабораторной работы	Количество ауд. часов
1. Терминология	1
2. Хранение и высвобождение энергии в электрохимических батареях	2
3. Материалы электрохимических АКБ	2
4. Преимущества и недостатки Li-ion АКБ	4
5. Отрицательные электроды для литий-ионных элементов	2
6. Положительные электроды для литий-ионных элементов	2
7. Электролиты и сепараторы для литий-ионных элементов	2
8. Возобновляемость лития как материала	2
Итого	17

4.3 Перечень практических занятий

Наименование практических занятий	Количество ауд. часов
1. Основные функции BMS	3
2. Модульная конструкция в BMS	3
3. Напряжение ячеек в BMS	2
4. Напряжение аккумуляторной батареи в системе BMS	2
5. Управление зарядом АКБ с помощью BMS	2
6. Электрическая изоляция в BMS	2
7. Управление температурными характеристиками в BMS системах	3
Итого	17

4.4 Курсовое проектирование

Курсовая работа (проект) не предусмотрены.

4.5 Реферат

Реферат не предусмотрен.

4.6 Индивидуальное домашнее задание

Индивидуальное домашнее задание не предусмотрено.

4.7 Доклад

Цель задания: проведение обучающимся самостоятельного поиска и анализа информации по заданной теме, углубление знаний, полученных на лекциях, освоения навыков расширения своего профессионального кругозора, представления информации и участия в дискуссии.

Студенты делятся по бригадам, и получают на выбор темы для устных докладов с презентацией.

Примерный список тем:

1. Types of energy storage systems (Виды АКБ)
2. Methods and materials in Energy Storage Systems (Материалы АКБ)
3. History and evolution of Batteries (История создания АКБ)
4. Alternative energy storage systems (Альтернативные методы накопления энергии)
5. Li-ion energy storage systems (Li-ion АКБ)
6. Battery Management Systems (Методы контроля заряда АКБ)
7. Charge/discharge cycles in Batteries (Заряд/разряд АКБ)

Количество слайдов или изображений должно быть достаточным для раскрытия заданной темы, но не более 25 шт. На слайдах должен быть представлен преимущественно визуальный материал (рисунки, фотографии, схемы, графики, таблицы, формулы, видео). Допускается текст в виде тезисов. Не допускается заполнение слайда преимущественно текстом. Презентация должна быть оформлена лаконично, с применением визуальных стилей, цветовых решений и шрифтов, позволяющих слушателям комфортно воспринимать визуальную информацию.

Процедура защиты темы во время доклада:

Студент самостоятельно готовит презентацию в электронном виде (например, в редакторе PowerPoint) в соответствии с требованиями по содержанию и оформлению. Во время устного доклада не допускается только чтение материала с листа или слайда, материал должен подаваться обучающимся в виде свободного рассказа. Доклад должен длиться не более 20 минут. После доклада преподаватель может задать уточняющие вопросы, затем студенты в группе приглашаются к дискуссии по теме доклада.

4.8 Кейс

Кейс не предусмотрен.

4.9 Организация и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы

В этом разделе будут изучены определения, необходимые при оценке SOC, и некоторые приблизительные методы оценки SOC. В качестве предпосылки для изучения более эффективных методов мы рассмотрим понятия из теории вероятности, которые необходимы для того, чтобы иметь возможность справиться с влиянием неопределенных шумов на внутреннее состояние системы и измерения, выполняемые BMS.

Текущая СРС	Примерная трудоемкость, ач
Работа с лекционным материалом, с учебной литературой	10
Опережающая самостоятельная работа (изучение нового материала до его изложения на занятиях)	0
Самостоятельное изучение разделов дисциплины	0
Выполнение домашних заданий, домашних контрольных работ	10
Подготовка к лабораторным работам, к практическим и семинарским занятиям	5
Подготовка к контрольным работам, коллоквиумам	0
Выполнение расчетно-графических работ	0
Выполнение курсового проекта или курсовой работы	0
Поиск, изучение и презентация информации по заданной проблеме, анализ научных публикаций по заданной теме	15
Работа над междисциплинарным проектом	0

Текущая СРС	Примерная трудоемкость, ач
Анализ данных по заданной теме, выполнение расчетов, составление схем и моделей, на основе собранных данных	0
Подготовка к зачету, дифференцированному зачету, экзамену	35
ИТОГО СРС	75

5 Учебно-методическое обеспечение дисциплины

5.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

№ п/п	Название, библиографическое описание	К-во экз. в библ.
Основная литература		
1	Василевский, Александр Михайлович. Optics and optical measurements in solar energy : учеб.-метод. пособие / А. М. Василевский, Г. А. Коноплев, О. С. Степанова, 2020. -43 с.	20
Дополнительная литература		
1	Василевский, Александр Михайлович. Optics and optical measurements in solar energy : электрон. учеб.-метод. пособие / А. М. Василевский, Г. А. Коноплев, О. С. Степанова, 2020. -1 эл. опт. диск (CD-ROM).	неогр.
2	da Rosa, Aldo Vieira. Fundamentals of renewable energy processes : монография / A. V. da Rosa, 2013. -884 с.	4

5.2 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», используемых при освоении дисциплины

№ п/п	Электронный адрес
1	Coursera BMS course https://www.coursera.org/specializations/algorithms-for-battery-management-systems

5.3 Адрес сайта курса

Адрес сайта курса: <https://vec.etu.ru/moodle/course/view.php?id=13815>

6 Критерии оценивания и оценочные материалы

6.1 Критерии оценивания

Для дисциплины «Накопители электрической энергии (Energy Storage)» предусмотрены следующие формы промежуточной аттестации: экзамен.

Экзамен

Оценка	Описание
Неудовлетворительно	Курс не освоен. Студент испытывает серьезные трудности при ответе на ключевые вопросы дисциплины
Удовлетворительно	Студент в целом овладел курсом, но некоторые разделы освоены на уровне определений и формулировок
Хорошо	Студент овладел курсом, но в отдельных вопросах испытывает затруднения. Умеет решать задачи
Отлично	Студент демонстрирует полное овладение курсом, способен применять полученные знания при решении конкретных задач

Особенности допуска

Допуск к экзамену:

- выполнение всех лабораторных работ не менее, чем на 50%;
- выполнение заданий, выполняемых на практических занятиях, не менее, чем на 50%.
- подготовка и защита одного обязательного доклада/презентации

Экзамен проводится в виде тестовых заданий, представленных в билете. Для ответа на экзамене, студент должен правильно ответить на тестовые задания и дать поясняющий устный ответ.

6.2 Оценочные материалы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

Вопросы к экзамену

№ п/п	Описание
1	How to derive the steps of the linear Kalman filter
2	How to derive and implement the extended Kalman filter (EKF)
3	How to derive and implement the sigma-point Kalman filter (a.k.a., unscented Kalman filter, SPKF/UKF)
4	How to evaluate true cell SOC estimators?
5	What is linear Kalman Filter
6	Noise and its parameters
7	Methods of noise reduction
8	Random variables and its parameters
9	Correlation coefficients
10	What is probability density function (pdf)
11	What is vector in BMS
12	Nonlinear and linear relationships
13	Independence of RV
14	Correlated and Uncorrelated RV
15	Conditional probability
16	Conditional expectation
17	Shaping filters
18	Assumptions on noise
19	Prediction error
20	Errors in BMS

Форма билета

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет «ЛЭТИ» имени В.И. Ульянова (Ленина)»

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 1

Дисциплина **Накопители электрической энергии (Energy Storage)** ФЭЛ

Which of the following terms can be considered the "state" of a li-ion battery.
Select all options that can be matched. equivalent-sequence cell resistance

- total cell capacity
- cell hysteresis voltage
- state of charge
- cell resistance diffusion current of the battery

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

С.А. Тарасов

Весь комплект контрольно-измерительных материалов для проверки сформированности компетенции (индикатора компетенции) размещен в закрытой части по адресу, указанному в п. 5.3

6.3 График текущего контроля успеваемости

Неделя	Темы занятий	Вид контроля
1	Введение в системы управления аккумуляторами	
2		Отчет по лаб. работе
3	Введение в системы управления аккумуляторами	Доклад / Презентация
4	Эквивалентная схема моделирования модели АКБ	
5		Отчет по лаб. работе
6	Эквивалентная схема моделирования модели АКБ	Доклад / Презентация
7	Оценка состояния заряда батареи (SOC)	
8		Отчет по лаб. работе
9	Оценка состояния заряда батареи (SOC)	Доклад / Презентация
10	Балансировка аккумуляторных батарей и оценка мощности	
11		Отчет по лаб. работе
12	Балансировка аккумуляторных батарей и оценка мощности	Доклад / Презентация

6.4 Методика текущего контроля

на лекционных занятиях

Текущий контроль включает в себя контроль посещаемости (не менее **80** % занятий), по результатам которого студент получает допуск на экзамен.

на лабораторных занятиях

- Порядок выполнения лабораторных работ, подготовки отчетов и их защиты

В процессе обучения студент обязан выполнить минимум 4 лабораторные работы. Под выполнением лабораторных работ подразумевается подготовка к работе, проведение экспериментальных исследований, подготовка отчета и его защита на коллоквиуме. Выполнение лабораторных работ студентами осуществляется индивидуально. Оформление отчета студентами осуществляется индивидуально в соответствии с принятыми в СПбГЭТУ правилами оформления студенческих работ. Отчет оформляется после выполнения эксперимен-

тальных исследований и представляется преподавателю на проверку. После проверки отчет либо возвращается (при наличии замечаний) на доработку, либо подписывается к защите.

Лабораторные работы защищаются студентами индивидуально. Каждый студент получает вопрос по теоретической части, или по процедуре проведения экспериментальных исследований, или по последующей обработке результатов, после чего ему предоставляется время для подготовки ответа. При обсуждении ответа преподаватель может задать несколько уточняющих вопросов. В случае если студент демонстрирует достаточное знание вопроса, работа считается защищенной.

На защите лабораторной работы студент должен показать: понимание методики исследования и знание особенностей её применения, понимание и умение объяснять особенности применяемых методов, возможные области их применения и т.д., умение давать качественную и количественную оценку полученных экспериментальных результатов и прогнозировать реакции исследуемого объекта на различные воздействия, навыки и умения, приобретенные при выполнении лабораторной работы.

Текущий контроль включает в себя выполнение, сдачу в срок отчетов и их защиту по всем лабораторным работам, по результатам которой студент получает допуск на экзамен.

на практических (семинарских) занятиях

Текущий контроль включает в себя контроль посещаемости (не менее **80** % занятий), по результатам которого студент получает допуск на экзамен.

В ходе проведения семинарских и практических занятий целесообразно привлечение студентов к как можно более активному участию в дискуссиях, решении задач, обсуждениях и т. д. При этом активность студентов также может учитываться преподавателем, как один из способов текущего контроля на

практических занятиях.

самостоятельная работы студентов

Контроль самостоятельной работы студентов осуществляется на лекционных, лабораторных и практических занятиях студентов по методикам, описанным выше.

Презентация/доклад

В течение курса, студент должен подготовиться, как минимум один обязательный доклад по выбранной тематике. Доклад выполняется в формате презентации продолжительностью 10-15 минут, количество слайдов не должно превышать 20 штук, оформление презентации должно быть выполнено согласно требованиям СПбГЭТУ ЛЭТИ. Для успешной защиты доклада, студент должен представить свой доклад, соответствующий требованиям и ответить на вопросы по теме доклада.

Доклады оцениваются по 10 балльной шкале, где:

9-10 баллов является оценкой отлично,

7-8 баллов - оценка "хорошо",

5-6 баллов - оценка "удовлетворительно",

4 и менее баллов - оценка "неудовлетворительно".

В случае, если студент успешно отвечает на поставленные вопросы, полностью раскрыл тему доклада, и презентация не имеет серьезных замечаний по структуре и содержанию, то студент заслуживает оценки "отлично".

В случае, если студент отвечает на поставленные вопросы не полностью, или недостаточно раскрыл тему доклада, или презентация имеет незначительные замечания по структуре или содержанию или оформлению, то студент заслуживает оценки "хорошо".

В случае, если студент не смог ответить ни на один поставленный вопрос,

и недостаточно раскрыл тему доклада, или презентация имеет серьезные замечания по структуре или содержанию или оформлению, то студент заслуживает оценки "удовлетворительно".

экзаменационный тест

При правильном ответе на оба тестовых задания и законченном устном ответе студент получает оценку "отлично".

В случае частичного выполнения тестового задания или неполного устного ответа - студент получает оценку "хорошо".

При невозможности дать устное пояснение тестовым ответам, и если выполнено хотя бы одно задание из теста, студент получает оценку "удовлетворительно".

Во всех остальных случаях, студент получает оценку "неудовлетворительно".

7 Описание информационных технологий и материально-технической базы

Тип занятий	Тип помещения	Требования к помещению	Требования к программному обеспечению
Лекция	Лекционная аудитория	Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, рабочее место преподавателя, проектор, экран, ПК/ноутбук.	1) Windows XP и выше; 2) Microsoft Office 2007 и выше
Лабораторные работы	Лаборатория	Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, рабочее место преподавателя, ПК/ноутбук для выполнения лабораторных работ.	1) Windows XP и выше; 2) Microsoft Office 2007 и выше 3) Специальное программное обеспечение HOMER Pro 4) Simulink MATLAB
Практические занятия	Аудитория	Проектор, экран, ПК/ноутбук, количество посадочных мест -в соответствии с контингентом, рабочее место преподавателя.	1) Windows XP и выше; 2) Microsoft Office 2007 и выше
Самостоятельная работа	Помещение для самостоятельной работы	Оснащено компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета.	1) Windows XP и выше; 2) Microsoft Office 2007 и выше

8 Адаптация рабочей программы для лиц с ОВЗ

Адаптированная программа разрабатывается при наличии заявления со стороны обучающегося (родителей, законных представителей) и медицинских показаний (рекомендациями психолого-медико-педагогической комиссии). Для инвалидов адаптированная образовательная программа разрабатывается в соответствии с индивидуальной программой реабилитации.

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№ п/п	Дата	Изменение	Дата и номер протокола заседания УМК	Автор	Начальник ОМОЛА