

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Южно-Уральский государственный университет  
(национальный исследовательский университет)»  
Филиал ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» в г. Златоусте

Факультет техники и технологии

Кафедра электрооборудования и автоматизации производственных процессов

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ Ю.С. Сергеев  
\_\_\_\_\_ 2019 г.

Исследование режимов работы суперкондесаторной батареи

ПОЯНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ  
ЮУрГУ– 13.03.02.19.019.00.00 ПЗ ВКР

Консультанты

Безопасность жизнедеятельности  
доцент, к.т.н.

\_\_\_\_\_ С.Н. Трофимова  
\_\_\_\_\_ 2019 г.

Руководитель работы  
доцент, к.т.н.

\_\_\_\_\_ В.М. Сандалов  
\_\_\_\_\_ 2019 г.

Автор работы  
студент группы ФТТ- 403

\_\_\_\_\_ В.С. Голубев  
\_\_\_\_\_ 2019 г.

Нормоконтролер  
ст. преподаватель

\_\_\_\_\_ О.В. Терентьев  
\_\_\_\_\_ 2019 г.

Златоуст 2019

## АННОТАЦИЯ

Голубев В.С. Исследование режимов работы суперконденсаторной батареи. – Златоуст: Филиал ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)», ЭАПП; 2019, 55 с., 21 ил., библиогр. список – 40 наим., 8 листов чертежей ф. А1

В выпускной квалификационной работе рассмотрены режимы работы суперконденсаторной батареи.

Произведено сравнение отечественных и зарубежных производителей суперконденсаторов.

Рассмотрены особенности применения суперконденсаторов.

С помощью программы Multisim построена математическая модель суперконденсаторов с использованием активной балансировки.

Проведены экспериментальные исследования процессов заряда и разряда суперконденсаторной батареи. По результатам исследований проведен анализ.

Разработаны рекомендации по применению суперконденсаторов.

Разработаны мероприятия по охране труда и экологической безопасности.

13.03.02.19.019.00.00 ПЗ

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата				
Разраб.		Голубев В.С.			Исследование режимов работы суперконденсаторной батареи. Пояснительная записка	Литера	Лист	Листов
Пров.		Сандалов В.М.				д	4	55
Т. контр.		Вигриянов П.Г.				Филиал ФГАОУ ВО «ЮУрГУ(НИУ)» в г. Златоусте Кафедра ЭАПП		
Н. контр.		Терентьев О.В.						
Утв.		Сергеев Ю.С.						

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ПЕРЕДОВЫХ ЗАРУБЕЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И РЕШЕНИЙ.....	7
2 ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ .....	11
2.1 Принцип действия.....	11
2.2 Конструкция .....	13
2.3 Области применения.....	14
2.3 Способы решения проблем эксплуатации суперконденсаторов .....	17
2.3.1 Метод пассивной балансировки.....	18
2.3.2 Методы активной балансировки .....	19
3 ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	23
3.1 Цель экспериментальных исследований .....	23
3.2 Методика испытаний .....	23
3.3 Приборы и оборудование.....	25
3.4 Обработка результатов эксперимента .....	26
4 РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ .....	28
4.1 Математическая модель с использованием пассивной балансировки ....	28
4.2 Математическая модель с использованием активной балансировки .....	30
5 РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ПРИМЕНЕНИЮ .....	33
5.1 Напряжение .....	33
5.2 Температура окружающей среды.....	34
5.3 Влажность.....	35
5.4 Давление .....	36
5.5 Полярность / обратное напряжение .....	36
5.6 Зарядка .....	37
5.7 Механическое соединение и способы соединений .....	37
5.8 Срок службы.....	38
6 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	40
6.1 Краткое описание производственного участка.....	40
6.2 Анализ всех производственных и экологических опасностей.....	40
6.3 Нормы для лаборатории .....	41
6.4 Требования охраны труда при работе на анализируемом оборудовании.....	41
6.5 Производственная санитария.....	43
6.6 Эргономика и производственная эстетика .....	48
6.8 Экологическая безопасность .....	50
6.9 Обеспечение безопасности при угрозе чрезвычайных ситуаций .....	50
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	52
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	53

## ВВЕДЕНИЕ

Проблема повышения эффективности работы электроэнергетики становится все более острой. Это связано с повышением тарифов на электроэнергию, например УЭТК «Канопус» ведет разработки в области применения суперконденсаторов для трамвайного вагона 71-934 Лев, которые позволят снизить расход электроэнергии.

К настоящему времени создан широкий спектр накопителей, интерес к накопителям электроэнергии значительно возрос в последнее время в связи с активизацией работ по созданию интеллектуальных электроэнергетических систем, в которых эти устройства играют роль одного из ключевых элементов.

Применение в технике получили электрохимические аккумуляторы энергии, начиная от традиционных свинцово-кислотных и заканчивая новейшими разновидностями литиевых систем. Однако всем этим аккумуляторам характерны серьезные недостатки: ограниченный срок службы при циклической работе (от нескольких десятков до нескольких тысяч циклов зарядов и разрядов), сравнительно небольшая удельная мощность (причем при увеличении мощности заметно снижаются энергоемкость, коэффициент возврата энергии и ресурс), значительное ухудшение характеристик при отрицательных температурах, использование в конструкции дефицитных и экологически опасных материалов. Эти недостатки ограничивают возможности и области применения электрохимических аккумуляторов, ухудшают технические и экономические параметры систем, в которых они используются.

Возможно, решить проблему помогут суперконденсаторы – накопители энергии нового поколения с высокой плотностью энергии и мощности. Но их использование при всех достоинствах связано с одним значительным недостатком – необходимостью балансировки при заряде суперконденсаторов.

Целью выпускной квалификационной работы является повышение энергоэффективности суперконденсаторной батареи.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- сравнение отечественных и передовых зарубежных технологий и решений;
- особенности применения суперконденсаторной батареи;
- проведение экспериментальных исследований;
- разработка математической модели устройства активной балансировки;
- разработка рекомендаций по применению суперконденсаторных батарей;

Объект работы – суперконденсаторная батарея.

Предмет работы – экспериментальная установка и математическая модель суперконденсаторной батареи.

									Лист
Изм	Лист	№ Документа	Подпись	Дата	13.03.02.19.019.00.00 ПЗ				6

## 1 СРАВНЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ПЕРЕДОВЫХ ЗАРУБЕЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И РЕШЕНИЙ

7 июня 1962 года, Роберт Райтмаер, подал заявку в приобретение патента, где подробно описывался механизм сохранения электрической энергии в суперконденсаторе, обладающим «парным электрическим слоем». В случае если в элементарном конденсаторе дюралевые обкладки, были отделены слоем диэлектрика, в таком случае в предлагаемом изобретателем акцент делался непосредственно в использованный материал обкладок. Электроды обладали разной электропроводимостью: один электрод владел ионной проводимостью, а иной – электрической.

В ходе заряда конденсатора совершалось б разделение электронов и положительных центров в электрическом проводнике, и разделение катионов и анионов в ионном проводнике. Электрический проводник предполагалось изготовить с губчатого углерода, в таком случае ионным проводником имел возможность б являться водяной состав серной кислоты. Заряд в этом случае хранился б на грани области данных специальных проводников. Разница потенциалов данных начальных суперконденсаторов имела возможность доходить значения в 1 вольт, а емкость – единиц фарад, сейчас дистанция среди обкладками менее 5 нанометров.

Развитие международный экономики и повышении степени существования базируется в стремительном увеличении потребления энергии. Сопоставление информации связей во времени показывает, то что в единицу прироста внутреннего валового продукта и признака степени существования доводится все без исключения больше употребляемой энергии, то что в условиях резервов энергоресурсов определяет перед международный экономикой непростые проблемы поиска новейших источников энергии и исследования новейших сохраняющих энергию технологий.

В настоящее время получили широкое распространение устройства, потребляющие высокую мощность в течение короткого интервала времени, например, электронные замки, реле, двигатели, импульсные излучатели. Для них не всегда можно использовать аккумуляторную батарею в качестве буферного источника энергии. Могут возникнуть сложности с формированием мощных кратковременных токов. Для таких ситуаций стали использовать ионисторы или суперконденсаторы, которые можно устанавливать вместо аккумулятора или в комбинации с ним. Для изготовления этих элементов применяется технология, основанная на использовании эффекта образования двойного электрического слоя. Этим они выгодно отличаются от батарей и аккумуляторов [6].

Использование суперконденсаторов позволяет внедрить в жизнь экологические технологии экономии энергии. В перспективе предусмотрено расширение сфер применения таких приспособлений для отраслей автотранспорта, мобильной техники и средств связи [11].

									Лист
									7
Изм	Лист	№ Документа	Подпись	Дата	13.03.02.19.019.00.00 ПЗ				

На рынке Российской Федерации присутствуют как зарубежные, так и отечественные модели суперконденсаторов. Из зарубежных производителей лидирует Германия и США.

1) Maxwell Technologies – компания, которая является одной из ведущих производителей инновационных энергосберегающих решений. Основной упор Maxwell делает на суперконденсаторы, устройства накопления энергии, которые характеризуются высокой плотностью мощности, способностью выдерживать большое количество циклов заряд-разряд, высокой надежностью, способностью заряжаться и разряжаться очень быстро и приемлемыми рабочими характеристиками при экстремальных температурах. Продукты на основе суперконденсаторов Maxwell являются решением проблемы накопителей электроэнергии и источников пиковой мощности для применения в различных областях промышленности, включая автомобильную, тяжелый транспорт, возобновляемые источники энергии, резервное электропитание, беспроводную связь и промышленную и бытовую электронику.

2) Wima – компания, которая выпускает суперконденсаторы для силовых систем. А так же изготавливают различные виды пленочных суперконденсаторов: фольговые суперконденсаторы с пластиковым диэлектриком, суперконденсаторы с картонным диэлектриком, суперконденсаторы с полиэфировым или же полипропиленовым диэлектриком. Продукция сертифицирована в соответствии DIN EN 9000 и формирование всех продуктов отвечает IEC/CECC. Суперконденсаторы выделяются высоким качеством и размерными данными.

3) ТЭЭМП – компания находится в городе Химки, создание эффективных суперконденсаторов и модулей на их базе. Каждый год новое предприятие может изготавливать до 200 тысяч суперконденсаторных ячеек. Разработкой электролитов для суперконденсаторов занимался Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» – один из главных партнеров компании «ТЭЭМП».

Особенностью суперконденсаторов ТЭЭМП считается модульная разработка, которая гарантирует низкое внутреннее сопротивление и, в соответствии с этим, высокие импульсные токи.

Токовые поля распределяются равномерно по ячейке, что гарантирует равномерное тепловыделение и меньший износ интенсивного слоя электрода, что гарантирует долговечность.

4) Феникс – компания, которая выпускает суперконденсаторы, а также суперконденсаторные модули и сборки на их основе как с преобразователями, так и без преобразователя напряжения. В настоящее время все больше промышленного оборудования и станков производится в России. ООО «УКФ» реализован и проходит испытания суперконденсаторный накопитель для мощного промышленного оборудования. После завершения серии испытаний начнется серийное производство. Компания ООО «УКФ» представляет сборки суперконденсаторные бескорпусные (ССКБК) специально разработанные для

									Лист
									8
Изм	Лист	№ Документа	Подпись	Дата	13.03.02.19.019.00.00 ПЗ				

применения в корпусах заказчика и позволяющие использовать все преимущества суперконденсаторов по минимальной цене.

В таблице 1.1 указаны технические характеристики суперконденсаторов наиболее распространенных моделей емкостью 3000 Ф:

- MaxwellTechnology (США)
- Wima (Германия)
- ТЭЭМП (Россия, г.Химки)
- Феникс (Россия, г.Москва)

Таблица 1.1 - Технические характеристики суперконденсаторов

Параметр	Единицы измерения	Maxwell	Wima	ТЭЭМП	Феникс
Напряжение максимальное	В	2,85	2,7	3,0	2,85
Напряжение номинимальное	В	2,7	2,5	2,85	2,7
Внутреннее сопротивление	мОм	0,29	0,7	0,15	0,26
Максимальный ток	А	1900	3000	1000	2396
Ток утечки	мА	5,2	-	5,0	-
Масса	г	510	615	450	525
Удельная мощность	кВт/кг	12	-	14	-
Удельная энергия	Вт*ч/кг	6	7	7.52	-
Накапливаемая энергия	Вт*ч	3,04	-	3,4	-
Диапазон рабочих температур	°С	от -40 до 65	от -30 до 65	от -55 до 65	от -40 до 65
Количество циклов		1000000	-	1000000	1000000
Срок службы	лет	10	5	5	10

Компания Maxwell Technologies является одним из лидирующих производителей суперконденсаторов, заявленный срок службы 10 лет эксплуатации. Максимальный ток 1900А и напряжение 2.85В. Но отечественная продукция компании «ТЭЭМП» не уступает по многим параметрам. Суперконденсаторы успешно справляются при температурах до -55°С. Они отличаются от остальных низким внутренним сопротивлением 0,15мОм, а значит, способны обеспечить большие импульсные токи. Собственная конструкция ячеек и модулей позволяет снизить массу и размер

суперконденсаторной сборки ячеек на 30% по сравнению с аналогичными устройствами.

Вывод по разделу один

Технические характеристики и параметры суперконденсаторы разных фирм очень близки, но суперконденсаторы компании ТЭЭМП превосходят другие по некоторым параметрам, например удельная энергия на 10% больше чем у суперконденсаторов Maxwell.

					13.03.02.19.019.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ Документа	Подпись	Дата		10



## 2 ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СУПЕРКОНДЕНСАТОРОВ

### 2.1 Принцип действия

Суперконденсатор – электрохимический конденсатор, который умеет скапливать весьма огромное количество энергии согласно взаимоотношению к его величине. Это качество суперконденсатора в особенности привлекательно в исследованию смешанных автотранспортных средств в авто индустрии, в том числе в изготовлении автомобилей на аккумуляторной электротяге, в которых суперконденсаторы применяются в разновидности вспомогательного накопителя энергии.

В основной массе, в суперконденсаторе функционируют 2 действующих электрода, которые разнесены пористым непроводящим использованным материалом, помещенных среди железными токовыми коллекторами. Органический либо водной электролит пропитывает пористые электроды, снабжая появления носителей заряда в организации с дальнейшим его накапливанием.

Поверхность хранения заряда обычных электролитических конденсаторов получается из тонких пластин плоского проводящего материала. Высокая емкость достигается за счет наматывания большой длины материала. Обычный конденсатор отделяет свои заряженные пластины диэлектрическим материалом: пластиковыми, бумажными или керамическими пленками. Чем меньше по толщине диэлектрик, тем больше площадь может быть создана в пределах определенного объема. Ограничения толщины диэлектрика определяют достижимую площадь поверхности. Площадь поверхности обеспечивается применением пористого материала на основе углерода. Пористая структура этого материала позволяет обеспечить площадь поверхности до  $2000 \text{ м}^2$ , что гораздо более, чем может быть достигнуто с внедрением плоских пленок и пластин. Расстояние деления заряда суперконденсаторов ориентируется размером ионов в электролите, которые притягиваются к заряженному электроду. Это деление заряда много меньше, чем может быть достигнуто с внедрением обычных диэлектрических материалов. Сочетание огромной площади поверхности и чрезвычайно маленького деления заряда дает суперконденсатору его кардинально большую емкость по сравнению с обычными конденсаторами [5].

Двойнослойный суперконденсатор включает в себя два пористых электропроводящих электродов, разбитых наполненным электролитом сепаратором рисунок 2.1.

Процесс сохранения энергии в суперконденсаторе выполняется за счет разбитых заряда на двух электродах с огромной разностью потенциалов среди них. Разность потенциалов как правило обуславливается величиной напряжения распада электролита, около 1В для использования водных электролитов и на границе 2.5–4В для использования органических электролитов.

									Лист
									11
Изм	Лист	№ Документа	Подпись	Дата	13.03.02.19.019.00.00 ПЗ				

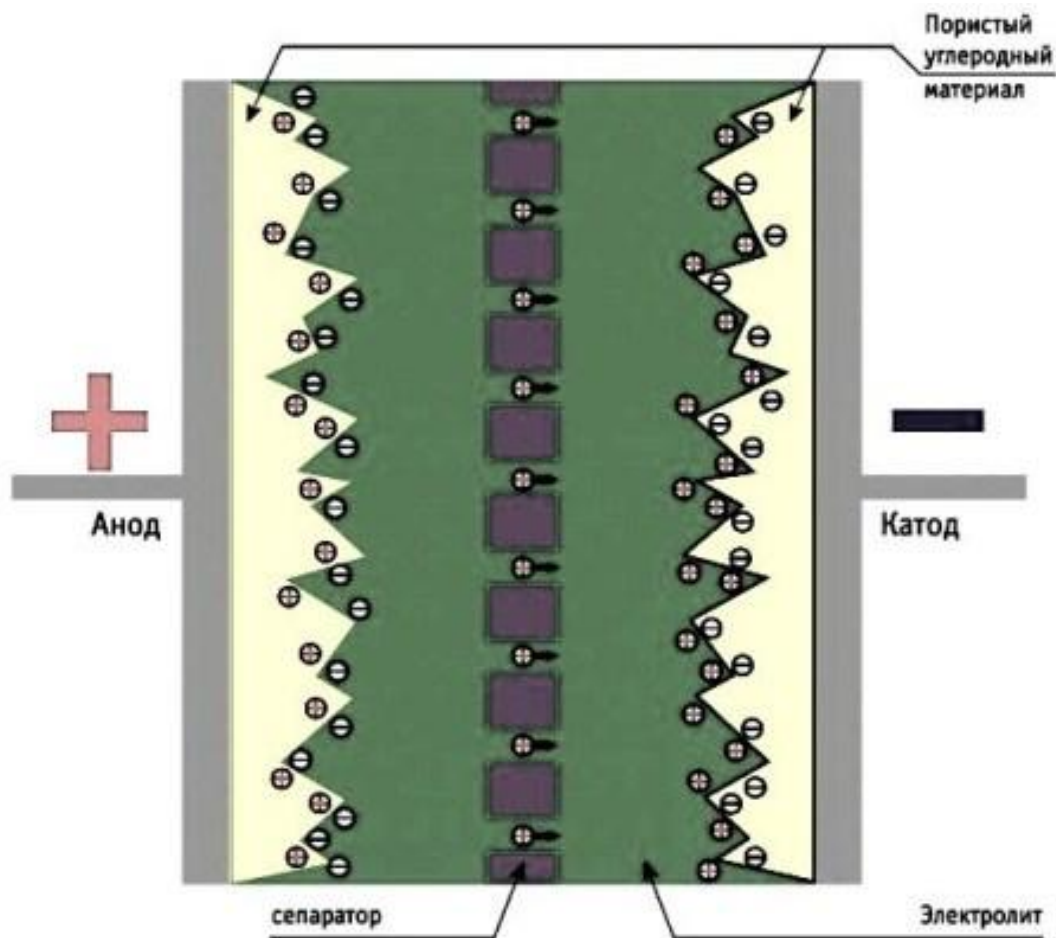


Рисунок 2.1—Эквивалентная схема суперконденсатора

Движения, происходящие в двойном электрическом слое (ДЭС) на грани области двух проводников, аналогичные протекающим в обыкновенном конденсаторе, однако в таком случае дистанция среди несущими разный потенциал обкладками является в целом определенное число межатомных длин. Одна обкладка показана электронами в электрическом проводнике, а вторая – сосредоточенными в плоскости электрического проводника положительными ионами электролита. На втором электроде слой создается из-за обеднения электронами электрического проводника и сорбции отрицательных ионов электролита [13].

Для свершения максимальной емкости необходимо гарантировать значительную плоскость контакта электролита с электрическим проводником. Водяной электролит помимо электродов заключен в пористый полимерный либо асбестовый сепаратор, делящий электроды с целью предотвращения их замыкания. С целью увеличения приготовленной суперконденсатором энергии, что присутствие одном и этом же смысле емкости соразмерна квадрату усилия в обкладках, используются органические электролиты с значительным усилием распада.

Суперконденсаторы обладают большой емкостью и низким внутренним сопротивлением, вследствие чего подключение разряженного суперконденсатора

к источнику питания или аккумулятору создает большой зарядный ток, который может вызвать включение защиты от перегрузки по току и отключению источника питания. Решением проблемы является использование устройств ограничения тока заряда суперконденсаторов, однако употреблявшие ранее схемы на дискретных компонентах существенно увеличивали площадь печатной платы и стоимость изделия. Более перспективными в настоящее время являются специальные микросхемы ограничения тока заряда. Главные недостаток - небольшое значение номинального напряжения, которое не выше 3В. С целью получения больших напряжений суперконденсаторы включают последовательно. При напряжениях на суперконденсаторах по факту разброса ёмкостей и тока утечки становятся различными, т.е. несбалансированными. С целью выравнивания напряжений суперконденсаторов и их ограничения номинальным уровнем придуманы множественные способы и системы.

## 2.2 Конструкция

Конструкция суперконденсатора зависит от применения и использования суперконденсатора. В качестве примера на рисунке 2.2 приведены особенности конструкции цилиндрического (а) и прямоугольного суперконденсатора (б).

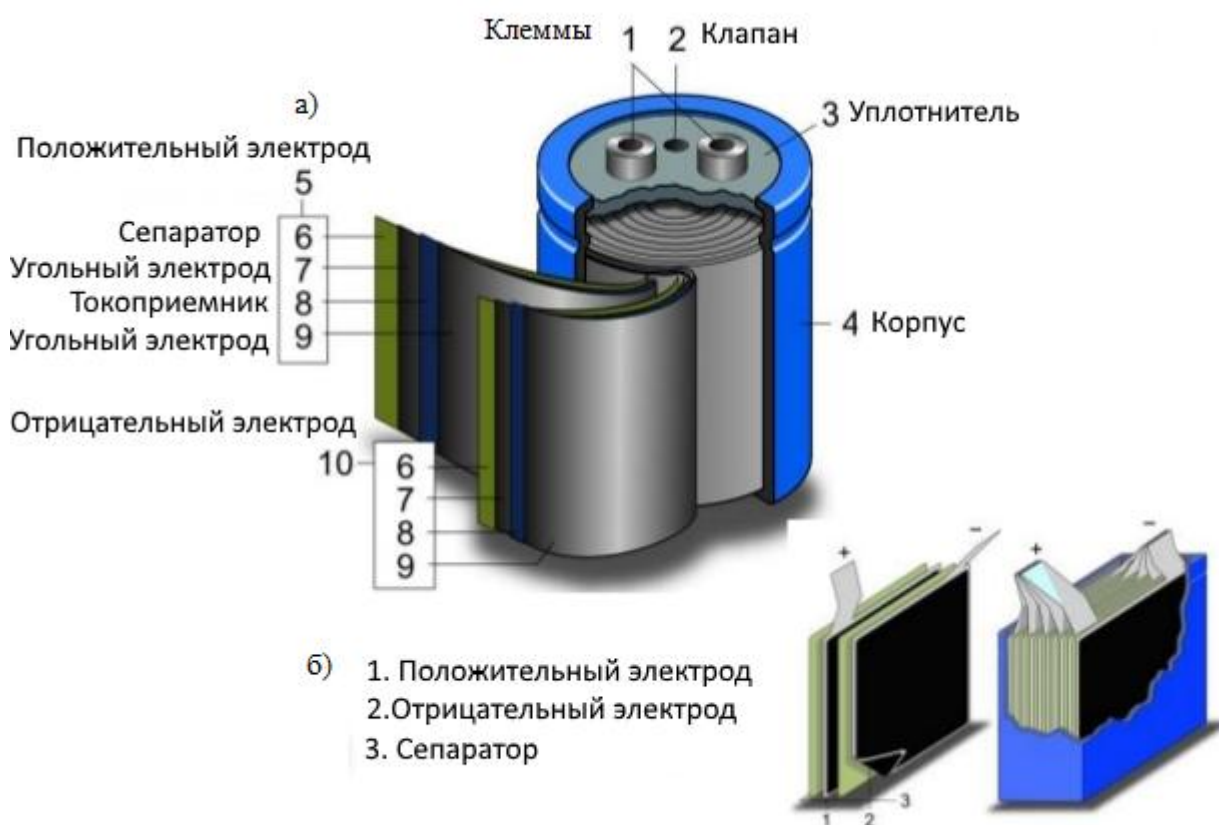


Рисунок. 2.2 – Конструкция суперконденсатора: а) цилиндрического  
б) прямоугольного

Общее среди всех суперконденсаторов заключается в том, что они состоят из положительного электрода, отрицательного электрода, разделителя между этими двумя электродами и электролита, заполняющего пористости двух электродов и сепаратора

Технология сборки суперконденсаторов может варьироваться. Частично это связано с форм-фактором суперконденсаторов. В изделиях квадратной или призматической формы каждый однополярный слой пористого электрода соединен с шиной, обеспечивающей контакт электрода с внешней клеммой (внешним токовым терминалом).

В изделиях цилиндрической формы электроды наматываются в рулоны. Электроды имеют удлинения фольги, которые затем привариваются к клеммам, чтобы обеспечить возможность прохождения тока за пределы конденсатора [20].

### 2.3 Области применения

Продукция суперконденсаторов очень широка. Это позволяет использовать суперконденсаторы в различных отраслях промышленности для удовлетворения многих потребностей в энергии и мощности. Эти применения охватывают как миллиамперную или милливаттную мощность, так и тысячи ампер тока или мегаватты.

Основными отраслями, где применение суперконденсаторов наиболее распространено, являются: автомобильная промышленность, гибридный и электротранспорт, энергетика и промышленность, бытовая электроника и портативные устройства [10].

Автомобильная промышленность – системы старт/стоп, стабилизация бортовой сети, усилители электроприводов, активная подвеска, электромагнитные клапаны, стартерные генераторы, электрические двери, рекуперативное торможение, гибридный электропривод, активные ремни безопасности, GPS [9].

Транспорт (трамвай, метро и т.п.) - рекуперативное торможение, запуск двигателей, стабилизация бортовой сети, аварийное открывание дверей, электропитание трамваев, компенсация падения напряжения.

Промышленность - бесперебойное электропитание, системы контроля ветровых турбин, буферизация переходных процессов, автоматическое считывание показаний счетчика, резервное копирование питания лифтов, аварийное питание защитных дверей, вилочные погрузчики, краны, электроприводы и телекоммуникации.

Бытовая электроника и портативные устройства – ноутбуки, цифровые камеры, автоматизированные устройства, игрушки, фонарики, солнечное акцентное освещение и пейджинговые устройства для ресторанов, кассовые аппараты.

Широкое распространение суперконденсаторов в вышеуказанных и других индустриях, как правило, обуславливается тем, что они являются наиболее эффективным решением в ряде применений, таких как компенсация импульсной

									Лист
									14
Изм	Лист	№ Документа	Подпись	Дата	13.03.02.19.019.00.00 ПЗ				

мощности, кратковременное поддержание нагрузки, основной источник энергии/мощности и источник энергии для резервного копирования [17].

Суперконденсаторы идеально подходят для работы с импульсными нагрузками. Как упоминалось в разделе теории, из-за того, что процесс накопления энергии не является химической реакцией, скорость заряда / разряда суперконденсаторов очень высока. Поскольку суперконденсаторы имеют низкое внутреннее сопротивление, они способны обеспечить большие токи и часто устанавливаются параллельно с батареями, чтобы обеспечить комфортный режим работы батарей, тем самым увеличив срок их службы.

Суперконденсатор разгружает батарею, принимая на себя большие пиковые токи. Эта методика используется для таких устройств, как цифровые камеры, гибридные системы приводов и рекуперативное торможение и т.п [8].

Суперконденсаторы используются как временные источники энергии во многих приложениях, где мгновенная доступность энергии может быть затруднена. Это, например, системы резервирования электроснабжения, использующие дизель-генераторы, топливные элементы или маховики в качестве источника резервного питания. Для всех этих систем требуется кратковременное поддержание нагрузки на время запуска источника резервного питания. Суперконденсаторные накопители в подобных применениях существенно эффективнее традиционных аккумуляторных ИБП за счет существенно большего срока службы, меньших размеров, отсутствия требований по обеспечению климатических условий, пожаро и взрывобезопасности, не обслуживаемости [7].

Для применений, требующих мощности только в течение коротких промежутков времени или приемлемых для обеспечения короткого времени зарядки перед использованием, суперконденсаторы могут использоваться в качестве основного источника энергии. Примерами такого использования являются игрушки, аварийные фонари, устройства пейджинга в ресторане, кассовые аппараты, солнечное зарядное освещение, источник энергии для различных аварийных систем и путей эвакуации.

Суперконденсаторы успешно применяются для обеспечения электропитания для резервного копирования памяти, корректного выключения системы или уведомления о событиях. Суперконденсаторы могут поддерживаться в полном заряженном состоянии и действовать как резервный источник энергии/мощности для выполнения критически важных функций в случае пропадания основного электроснабжения. Суперконденсаторы в настоящее время массово применяются для резервирования ПЗУ и часов реального времени, для обеспечения резервного питания процессов передачи сообщений об отключении питания, в микроконтроллерах и платах памяти [19].

Потребители энергии функционируют в двух режимах – стационарном и переходном. Стационарный режим при котором уровень потребления энергии почти ни как не изменился. Переходный режим, при котором совершается неожиданное изменение потребления энергии как в сторону возрастания, так и в сторону понижения.

При использовании суперконденсаторов в качестве источников мощности появляется вспомогательная вероятность рекуперации энергии торможения. На основе суперконденсаторов формируется система накопления энергии, которая иногда считается вспомогательным источником энергии [3]. Комбинированная энергетическая установка оказывается системой из двух энергетических источников. Осуществление сохраняющих энергию технологий сформированна на применении комбинированных или гибридных энергетических конструкции, в которых применяется физически известный источник энергии и источник мощности. Источник энергии – двигатель внутреннего сгорания, стационарное электропитание, аккумуляторная батарея или батарея топливных элементов, обеспечивает работу системы в стационарном режиме работы. Источник мощности – система сохранения энергии на базе суперконденсаторов. На рисунке 2.3 приведены типы комбинированных энергоустановок, в которых реализуются энергосберегающие технологии с применением систем накапливания энергии [21].



Рисунок 2.3– Комбинированные электроустановки с использованием суперконденсатора

В то же время в автомобильных системах, в том числе системы лифтов, сбережение энергии добивается за счет возобновления вплоть до 25% энергии, используемой при торможении автомобиля или при движении противодействием лифта. Кроме того, на таких электростанциях можно экономить ресурсы, снижая мощность основного источника энергии и работая только стационарно, так как пиковые нагрузки компенсируются дополнительным источником энергии. Использование комбинированных автомобильных электростанций, которые

позволяют запускать не с широко используемым, форсированным двигателем внутреннего сгорания, а с экологически чистой энергией суперконденсатора, позволяет более чем в десять раз больше выбросов загрязняющих веществ. Кроме того, меньшие двигатели внутреннего сгорания на гибридных электростанциях могут уменьшить затрату топлива более чем в два раза [16].

Использование систем хранения энергии суперконденсатора позволяет уменьшить установленную емкость батарей, в два раза от 450 до 250 Ач, увеличить срок службы аккумуляторов в 1,5 – 2 раза; сэкономить около 16т в год за счет сокращения времени простоя дизеля [18].

Особенно перспективным является использование суперконденсаторов систем хранения энергии в переработанных энергетических системах, которые производят электроэнергию на основе элементов водородного топлива в качестве почти безальтернативного буферного устройства, которое обеспечивает пиковую нагрузку потребителей [14].

### 2.3 Способы решения проблем эксплуатации суперконденсаторов

Так как последовательные суперконденсаторы имеют расхождение характеристик, возрастает времени заряда. Зарядные приборы осуществляют контроль только лишь напряжение батареи и удерживают нужный ток зарядки. Расхождение между параметрами, такими равно как емкость, внутреннее сопротивление, ток утечки, считается причиной различия времени при зарядке. К примеру, ячейка с наименьшей емкостью загружается стремительнее, нежели ячейка с большей емкостью, если через нее протекает тот же ток. Уже после получения абсолютной мощности следует прекратить заряд либо дозарядит суперконденсатор током, подходящим током утечки, а развитие заряда спровоцирует к повышению напряжение в одной ячейке более рационального и случится деградирование элемента. Суперконденсаторы могут надежно функционировать только лишь при стандартном напряжении. В случае если величина напряжения превосходит 2,8В, в таком случае начинают происходить необратимые последствия, которые приводят к повышению нагрева компонента и стремительному отказу компонента. В частности происходит увеличение температуры за каждые десять секунд, сравнительно номинальной температуры уменьшает время работы суперконденсатора в 2-3 раза [13].

Учитывая все без исключения приведенные особенности, предоставление и сохранение наибольшего времени работы накопителя допустимо только лишь в этом случае, если положение отдельных ячеек регулярно контролируется. Для того чтобы разрешить проблему неравномерного заряда ячеек, следует применять системы выравнивания (балансировки) рисунок 2.4, обеспечивающие оптимальное значение напряжения, емкости и отдельных элементов электрохимических источников тока. Подобные системы имеют все шансы являться автономными, так и управляемыми. Более значимым считается способ выравнивания напряжения. Сложно установить один наилучший метод компенсации, так как любой из них содержит несколько плюсов и минусов.

									Лист
									17
Изм	Лист	№ Документа	Подпись	Дата	13.03.02.19.019.00.00 ПЗ				

Понимание основ работы, вложенных в базу способов балансировки, сможет помочь сформировать наиболее результативные системы электропитания автотранспортных средств [1].

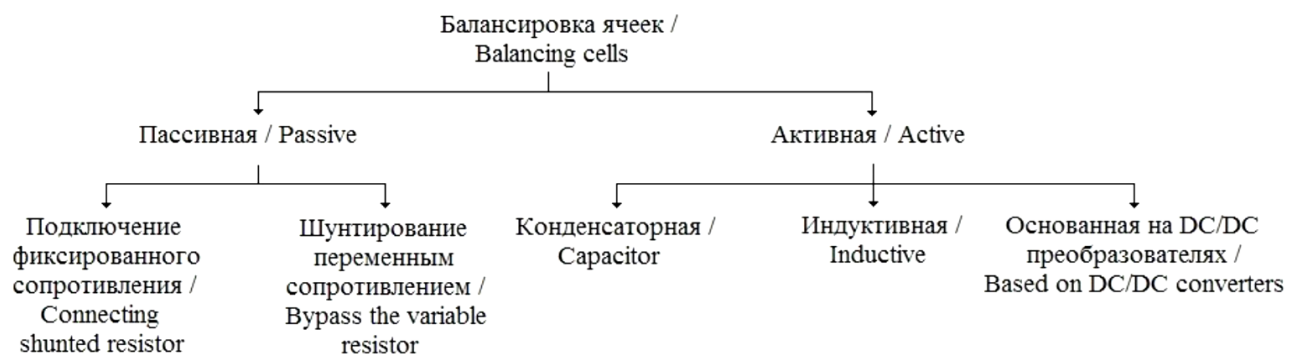


Рисунок. 2.4 – Способы балансировки электрохимических накопителей электрической энергии.

При исследовании способов и устройств используются общетехнические комбинации. На основании рассмотрения и изучения основ деятельности систем выравнивания рассмотрены схмотехнические решения, основанные как на одном методе выравнивания заряда, так и в комбинации таких методов.

### 2.3.1 Метод пассивной балансировки

Обычный метод балансировки напряжений суперконденсаторов состоит в подсоединении шунтирующих резисторов параллельно суперконденсаторам рисунок 2.5.

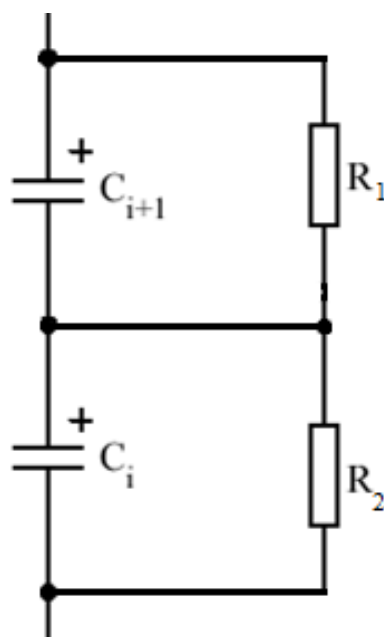


Рисунок 2.5– Схема пассивной балансировки



Как правило сопротивление данных резисторов выбирают таким способом, чтобы формируемый ими ток запаса был на порядок больше тока утечки. Подобным способом нивелируется разброс токов утечки и, таким образом, устраняется система медлительного дисбаланса. Метод подойдет только лишь для балансировки напряжений в режиме сохранения заряда. Данный способ ни как не справляется со стремительным устройством дисбаланса. Во избежание перенапряжения либо противоположной полярности следует гарантировать работу модуля при невысоком напряжении и устранить вероятность его стремительного разряда. Основным достоинством данного метода считается легкость в построении. Балансировку рационально осуществлять только в режиме заряда суперконденсатора, так как подключение вспомогательного сопротивления в период разряда приведет к безрезультатному применению энергии суперконденсатора [2].

### 2.3.2 Методы активной балансировки

#### 2.3.2.1 С помощью стабилитронов

Шунтирующие резисторы применяют энергию весь период, до тех пор пока на суперконденсаторах есть заряд, несмотря на потребность в шунтировании возникает только при переплюсовке либо перенапряжении. Данный недостаток ликвидирует метод балансировки с помощью стабилитронов рисунок 2.6.

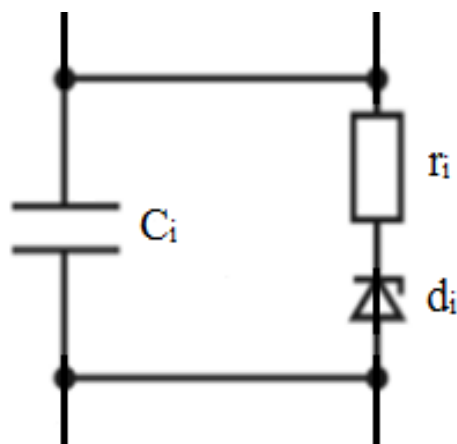


Рисунок 2.6– Балансировка стабилитронами

Стабилитрон  $d_i$  в обратном смещении шунтирует суперконденсатор при перенапряжении, а в прямом - при переплюсовке. С целью ограничения тока стабилитрона возможно применять резистор  $r_i$ . Данный способ хорошо подходит для работы с медлительным устройством дисбаланса, таким образом требуются небольшие токи шунтирования, и стабилитрон в запертом состоянии может незначительно повышать ток утечки суперконденсатора. Устранение стремительного устройства балансировки требует огромных токов шунтирования, сравнимых с величиной наибольшего зарядного тока. Однако на

современном рынке микроэлектроники не так легко найти низковольтные стабилизаторы мощностью более 0.5 Вт.

### 2.3.2.2 С помощью операционного усилителя

Метод, осуществляющий балансировку напряжений суперконденсаторов вне зависимости от уровня заряда модуля. На рисунке 2.7 представлена схема, выравнивающая напряжения с помощью операционного усилителя.

Операционный усилитель DA1 включен согласно схеме повторителя напряжения. Два равных сопротивления  $R_1$ ,  $R_2$  разделяют напряжение на двойки суперконденсаторов  $C_i$  и  $C_{i+1}$  пополам, и повторитель стремится определить напряжение на суперконденсаторе  $C_i$ , стабилизирующий заряд выходным током, проходящим через токоограничивающее сопротивление  $r$ . Автоматически сглаживается и напряжение на суперконденсаторе  $C_{i+1}$ , так что напряжения на конденсаторах со временем оказываются равными. Для выравнивания напряжений на всех  $N$  суперконденсаторах необходимо  $N$  таких схем, подсоединенным к парам суперконденсаторов:  $C_1, C_2 \dots C_{N-1}, C_N$ .

Регулируя заряды суперконденсаторов ток (нагрузочная способность операционного усилителя) способно повышаться внедрением в схему двухтактного транзисторного повторителя.

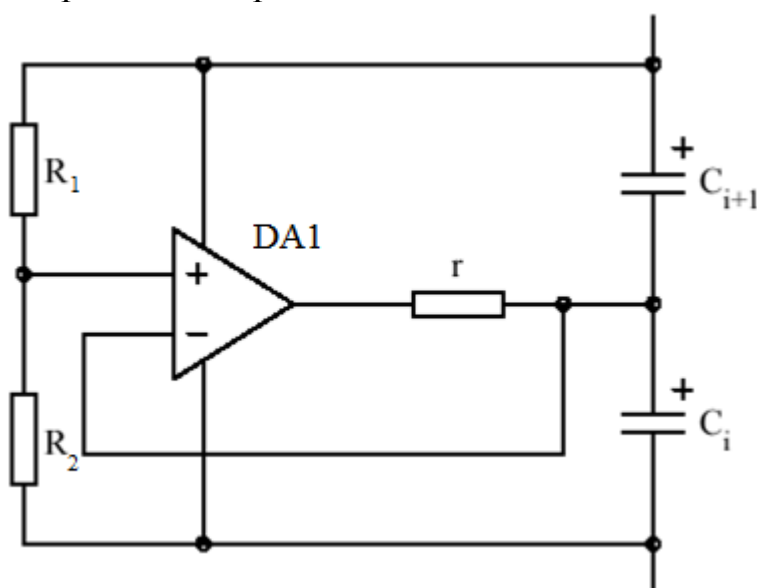


Рисунок. 2.7 –Схема выравнивания на базе операционного усилителя

К недостатку можно отнести и определенную громоздкость схемы, так как потребуется  $N$  схем, однако схема должна подсоединяться никак не к одному, а к двум суперконденсаторам.

### 2.3.2.3 С помощью переключением дополнительного суперконденсатора

Все рассмотренные схемы балансировки считаются диссипативными: балансировка выполняется за счёт рассеяния излишней энергии суперконденсаторов в виде тепла. Энергетически выгодно передавать энергию суперконденсатора с повышенным напряжением в суперконденсатор с

пониженным напряжением. Осуществления такого подхода с использованием вспомогательного суперконденсатора в качестве переносчика энергии предложена на схеме рисунок 2.6.

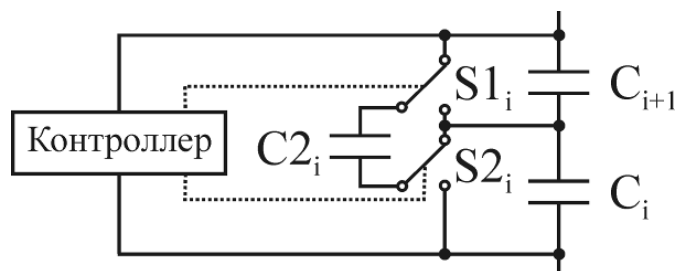


Рисунок. 2.6 – Балансировка переключением дополнительного суперконденсатора

Суперконденсатор  $C_{2i}$  с помощью ключей  $S_{1i}$ ,  $S_{2i}$ , управляемых контроллером, подключается параллельно к одному из суперконденсаторов  $C_i$  либо  $C_{i+1}$ , заряд которого больше, а затем к суперконденсатору, заряд которого меньше.

После серии переключений напряжения на суперконденсаторах сглаживаются. Невзирая на трудность схемы балансировки и массивность размеров модуля за счёт внедрения добавочных суперконденсаторов большой ёмкости. Метод рассматривается как перспективный, в случае если одно из основных требований к эксплуатации модуля – большой к.п.д.

#### 2.3.2.4 С помощью DC-DC преобразователей

В связи с формированием импульсной электроники, в частности, импульсных преобразователей напряжения типа DC-DC стало перспективным использованием подобных преобразователей с целью устранения проблемы балансировки напряжений суперконденсаторов.

Если необходимы весьма большие зарядные токи, тогда абсолютно благополучно можно справиться методом балансировки зарядом DC-DC преобразователей на рисунке 2.7.

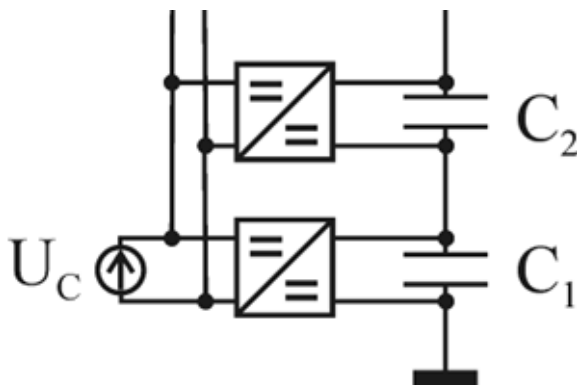


Рисунок. 2.7 – Балансировка зарядом DC-DC преобразователей

Заряд каждого суперконденсатора модуля выполняется от отдельного DC-DC преобразователя с гальванической развязкой входа и выхода. Напряжение источника электрической энергии  $U_C$  устанавливает напряжение, до которого будут заряжаться суперконденсаторы. Разброс напряжений станет обусловлен только разбросом характеристик DC-DC преобразователей. Основным недостатком метода – ограничение возможностей эксплуатации модуля: балансировка гарантируется только лишь при заряде суперконденсаторов от источника  $U_C$ , а никак от силовых выводов модуля, которые только отдают ток.

Вывод по разделу два

Существующие методы балансировки отличаются сложностью реализации. Наиболее опасные проблемы связаны с режимом заряда большими токами. Из-за низкого рабочего напряжения суперконденсаторов необходимо последовательное включение. Разброс параметров суперконденсаторной батареи может привести к неравномерности заряда и недопустимому повышению напряжений отдельного суперконденсатора.

					13.03.02.19.019.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ Документа	Подпись	Дата		22

### 3 ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

#### 3.1 Цель экспериментальных исследований

Подтверждение заявленных характеристик суперконденсатора Maxwell Technologies BCAP270 рисунок 3.1.



Рисунок 3.1– Суперконденсатор Maxwell Technologies BCAP270

#### 3.2 Методика испытаний

Для проверки математического моделирования, и отработки возможностей суперконденсатора выполнены экспериментальные исследования. Схема процессов заряда и разряда экспериментальной установки показана на рисунке 3.2. Она включает: 1 реостат  $R$ , 2 амперметр  $PA$ , 3 вольтметр  $PV$ , 4 суперконденсатор  $C_1$ , 5 суперконденсатор  $C_2$  и стабилизированный источник питания с выходом по напряжению от 1В до 15В,

Изменялось падение напряжения на резисторе  $R$  при заряде или разряде суперконденсаторов с помощью мультиметра, обеспечившего высокую точность и надежность результатов. Для заряда суперконденсатора использовали стабилизированный источник питания ТЕС15. Электрическая схема установки заряда рисунок 3.3 и разряда рисунок 3.4 суперконденсаторов

					13.03.02.19.019.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ Документа	Подпись	Дата		23



Рисунок 3.2 – Экспериментальная установка

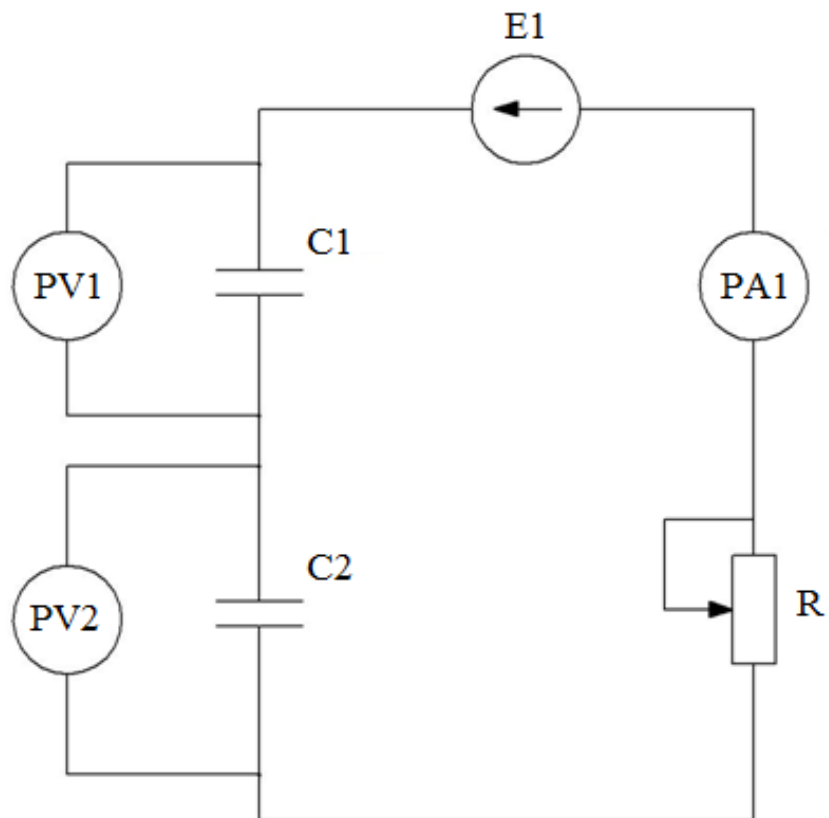


Рисунок 3.3– Электрическая схема установки заряда суперконденсаторов



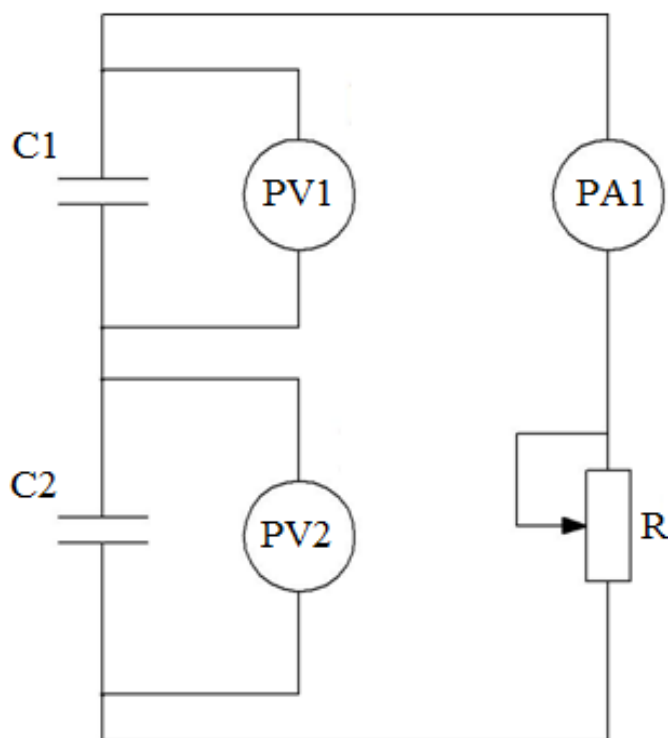


Рисунок 3.4– Электрическая схема установки разряда суперконденсаторов

С целью расчета зависимости емкости и внутреннего сопротивления суперконденсатора от напряжения были проведены измерения по циклической зарядке постоянным током. Для заряда суперконденсатора использовали стабилизатор тока, обеспечивающий стабильный ток заряда суперконденсатора не зависящий от напряжения на нем. В процессе измерений суперконденсатор периодически заряжался постоянным током до 2В, а затем разряжался до 1 В с помощью реостата R. При разряде фиксировалось напряжение на каждом суперконденсаторе.

### 3.3 Приборы и оборудование

Перечень измерительных приборов экспериментальной установки и их погрешности представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Перечень измерительных приборов экспериментальной установки

Прибор	Тип	Класс точности	Год	Заводской №
Вольтметр PV1	M2020	0,2	1980	36308
Амперметр PA1	Э59	0,5	1965	42665
Мультиметр PV2	UT61E	0,1	2018	110401201326X
Источник питания E1	TEC15	0,1	1985	–
Реостат R	РСП 4-14	–	1954	–

### 3.4 Обработка результатов эксперимента

Результаты экспериментов представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2– Результаты экспериментов

Заряд				Разряд				Сравнение		
U <sub>1</sub> , В	U <sub>2</sub> , В	t, с	I, А	U <sub>1</sub> , В	U <sub>2</sub> , В	t, с	I, А	U <sub>1</sub> , В	U <sub>2</sub> , В	t, с
0,98	0,99	0,6	2	1,99	1,96	0,6	1	0,01	0,92	0,6
1,3	1,32	180		1,7	1,69	120	0,95	1	1,3	120
1,4	1,41	300		1,59	1,58	300	0,9	1,4	1,35	240
1,5	1,51	420		1,49	1,47	480	0,85	1,6	1,4	360
1,6	1,62	600		1,42	1,41	720	0,8	1,7	1,46	600
1,65	1,67	720		1,35	1,34	840	0,75	1,8	1,52	780
1,7	1,72	900		1,31	1,3	1020	0,7	1,85	1,58	960
1,75	1,77	1080		1,28	1,26	1200	0,65	1,9	1,67	1260
1,8	1,82	1200		1,22	1,21	1380	0,6	1,93	1,8	1800
1,85	1,87	1380		1,12	1,11	1680	0,55	1,96	1,92	2220
1,9	1,93	1560		1,02	1,01	1920	0,5	1,98	2	2760
2	2	1700		0,98	0,99	2160	0,45	2	2,1	0,6

Результаты опыта при заряде двух последовательно соединенных суперконденсаторов представлены на рисунке 3.5.

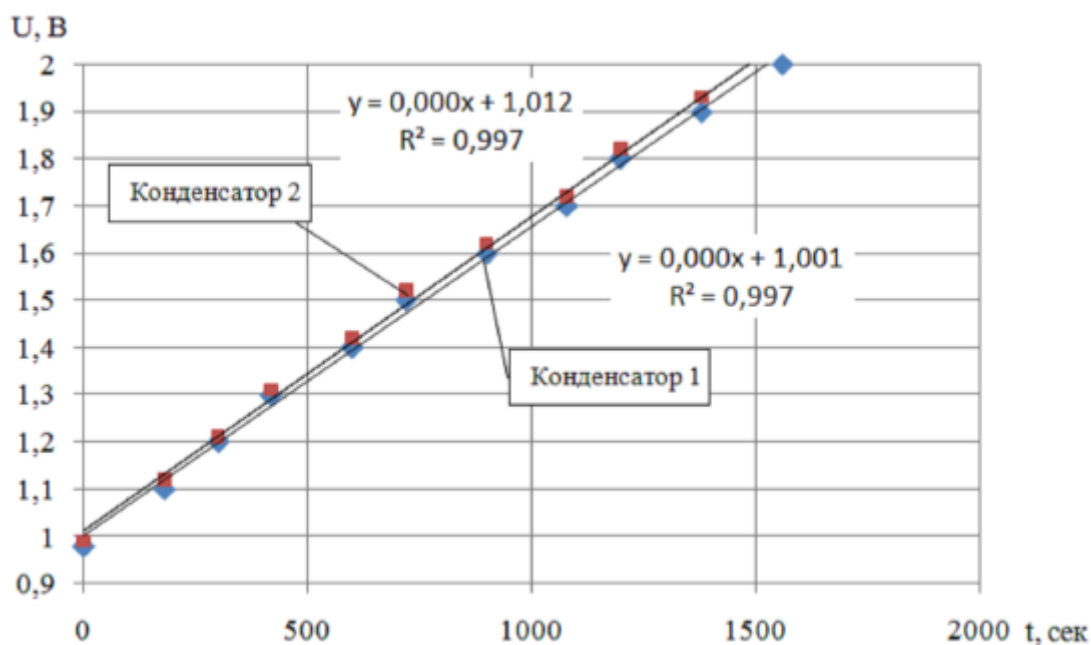


Рисунок 3.5– Заряд двух последовательно соединенных суперконденсатора



А так же разряд двух последовательно соединенных суперконденсаторов рисунок 3.6. Сравнение заряда суперконденсатора модели и эксперимента рисунок 3.7.

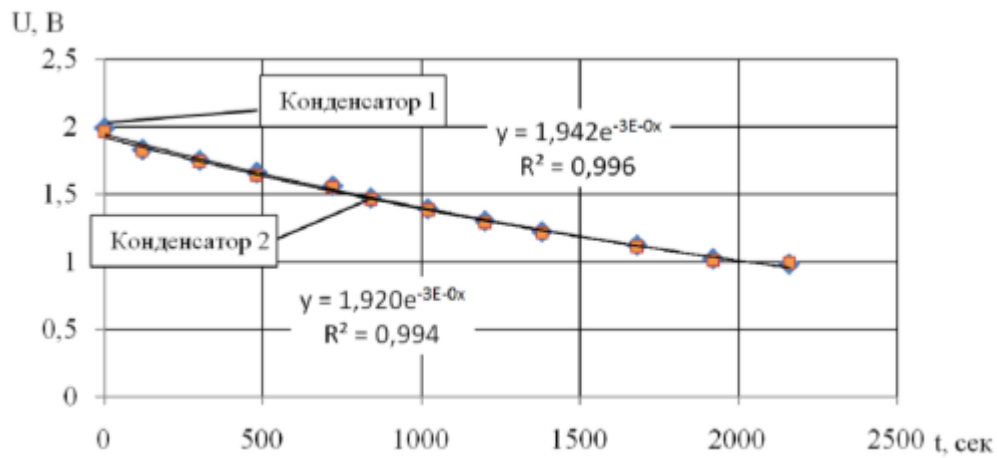


Рисунок 3.6– Разряд двух последовательно соединенных суперконденсаторов

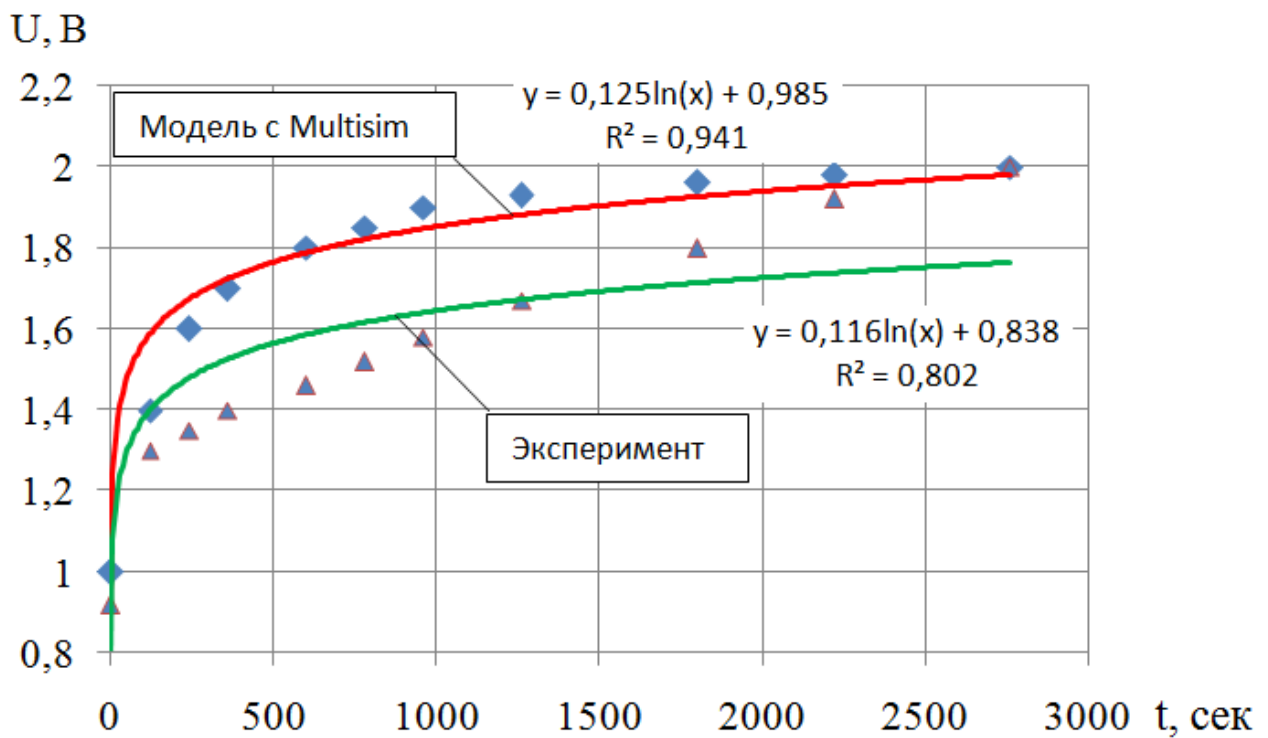


Рисунок 3.7– Сравнение заряда суперконденсатора модели и эксперимента

### Вывод по разделу три

Возможность эффективного применения суперконденсатора в качестве накопителя электрической энергии связана с множеством сложностей, например заряд большими токами, что может быть опасно для суперконденсатора, перенапряжения и выход из строя одного суперконденсатора или всей батареи.

## 4 РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Создание каждого электротехнического устройства содержит физическое или математическое моделирование. Физическое моделирование связано с крупными материальными расходами, так как требует изготовления макетов и их сложное исследование. В некоторых случаях физическое моделирование попросту невозможно из-за сложности прибора. В данном случае приходят к точному математическому моделированию с использованием средств и методов вычислительной техники.

Наиболее простой и легко усваиваемой программой, включающий блок логического моделирования, является программа Multisim. Отличительная черта программы – наличие в ней контрольно-измерительных приборов, органов управления и характеристикам максимально приближенных к промышленным аналогам.

Multisim включает в себя версию Multicap, что делает его уникальным средством для программного описания и достаточно быстрого тестирования схем. Программа Multisim достаточно легко осваивается и удобна в работе.

NI Multisim 12.0 предоставляет вероятность объединить электрические приборы и испытания на основе технологии условных устройств. С целью тренировочных и производственных Electronics Workbench Group компании National Instruments выпустило Multisim 12.0 программного обеспечения для интерактивного SPICE-моделирования и анализа электрических цепей, используемых при проектировании печатных плат. Платформа объединяет процессы тестирования, предоставляя разработчику использование программного обеспечения электрических цепей Multisim 12.0 компании National Instruments со средой разработки измерительных систем LabVIEW. Теоретические данные с реальными в процессе создания схем обычных печатных плат, что уменьшает количество погрешностей в прототипах и стимулирует выход продукции на рынок. Возможность применять Multisim 12.0 с целью интерактивного формирования принципиальных электрических схем и моделирования режимов работы. Определенные элементы схемы Multisim могут реагировать на влияния пользователя. Изменения элементов отображаются на результатах эмулирования. Компоненты управляются с помощью клавиш, указанных под каждым элементом. Функции описания и тестирование схемы, продемонстрированные в Multisim могут помочь разработчику схем, сэкономят время и уберегут от погрешностей на всем пути разработки схемы.

Моделирование сводится к вводу электрической функциональной схемы из база данных в программе Multisim.

### 4.1 Математическая модель с использованием пассивной балансировки

Преимуществом суперконденсаторов является малое внутреннее сопротивление, что предоставляет вероятность функционировать при больших токах заряда-разряда. Таким образом, есть большой недостаток – ограничение рабочего напряжения до 3В. На практике применяется последовательное

									Лист
									28
Изм	Лист	№ Документа	Подпись	Дата	13.03.02.19.019.00.00 ПЗ				

подключение суперконденсаторов, но общая емкость уменьшается, и появляется проблема балансировки напряжений. Из-за изменения внутреннего сопротивления суперконденсаторов и их емкости напряжения на них будут разные. Если в каких-либо суперконденсаторах напряжение превысит номинальное значение, то произойдут необратимые процессы [15].

Для анализа дисбаланса напряжений на суперконденсаторах разной емкости в процессе заряда разработана модель в Multisim, приведенная на рисунке 4.1. В схему заряда подключены два последовательно соединенных суперконденсатора.

Предварительно разряженные суперконденсаторы  $C_1$  и  $C_2$  заряжали с помощью ключа  $S1A$ , от источника питания  $V1$  5,4 В с внутренним сопротивлением  $R1$  0,001 Ом.

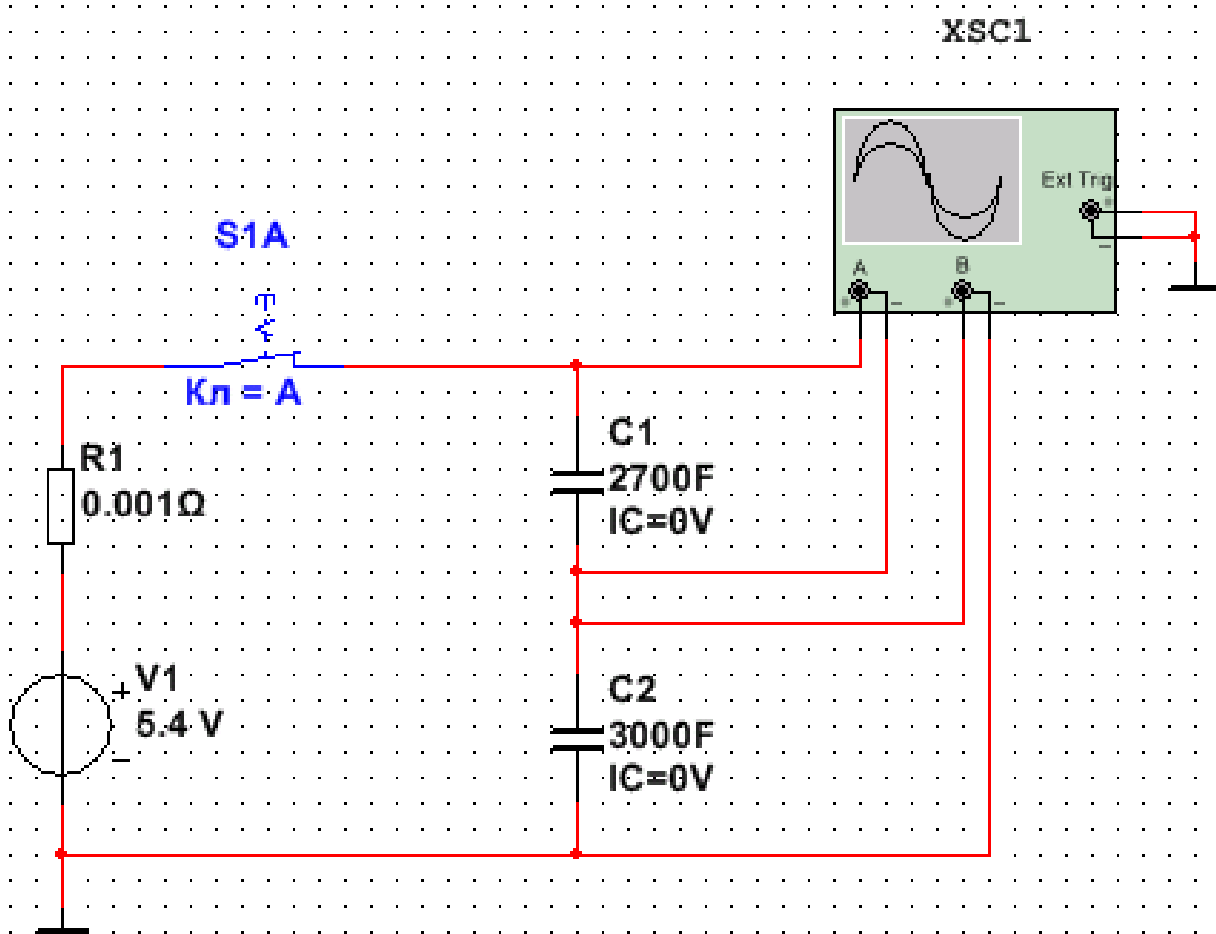


Рисунок 4.1–Математическая модель заряда последовательно соединенных суперконденсаторов

Результат приводится на осциллограмме  $XSC1$  рисунок 4.2.

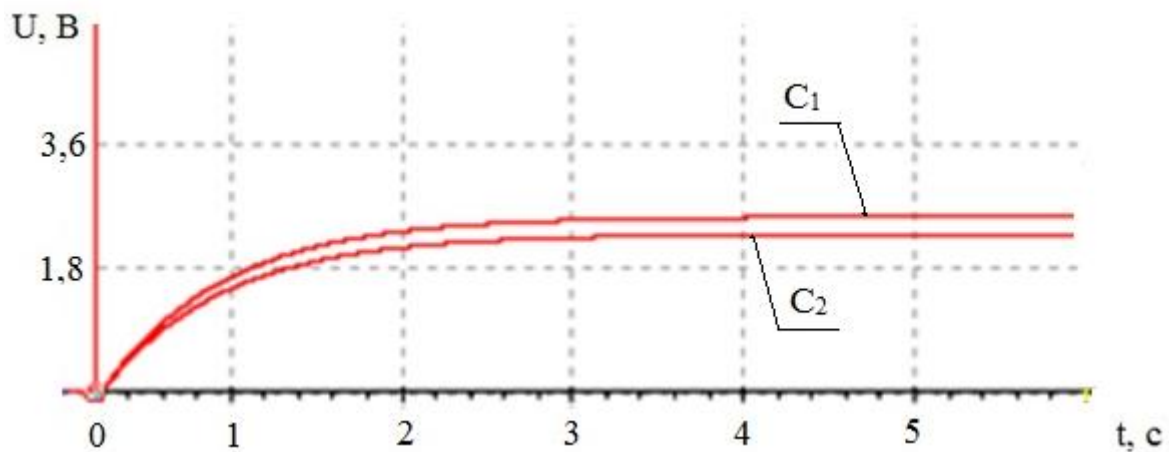


Рисунок 4.2– Осциллограмма напряжений на суперконденсаторах при заряде

Напряжение на суперконденсаторе  $C_1$  с емкостью 2700 Ф растет быстрее, чем на суперконденсаторе с емкостью 3000 Ф. При полном завершении заряда напряжение на первом будет 2,84 В, на втором – 2,56 В. При превышении напряжения на суперконденсаторе выше рабочего значения происходят необратимые процессы, разница составляет 0,28 В, т.е. напряжение на  $C_1$  превысило максимальное рабочее напряжение 2,7 В на 0,14 В, что категорически не допускается.

Результат расчета при одинаковой емкостью 3000 Ф рисунок 4.3.

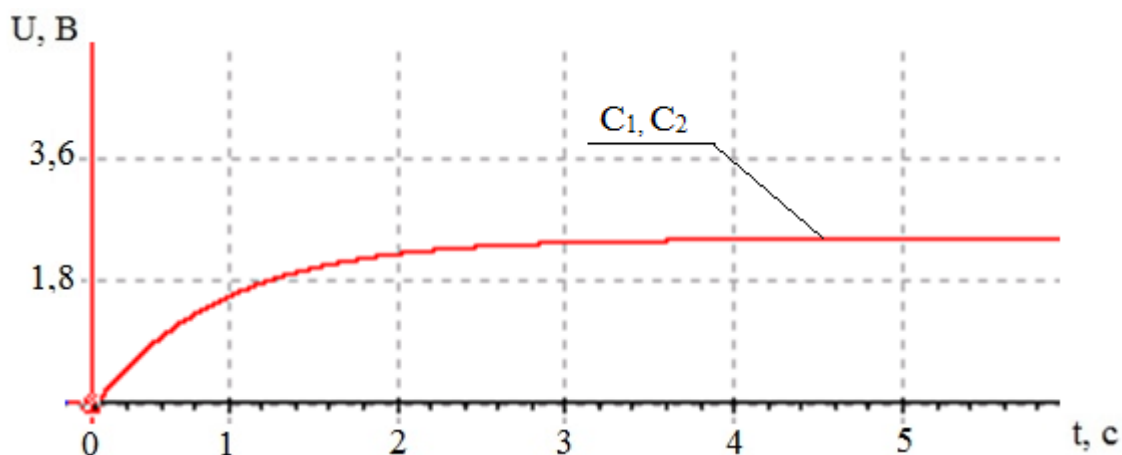


Рисунок 4.3– Осциллограмма напряжений на суперконденсаторах одинаковой емкостью при заряде

Суперконденсаторы с одинаковой емкостью 3000 Ф заряжаются до одинакового напряжения 2.69 В.

#### 4.2 Математическая модель с использованием активной балансировки

Модель заряда двух последовательно соединенных конденсаторов, с активной балансировкой приведена на рисунке 4.4.

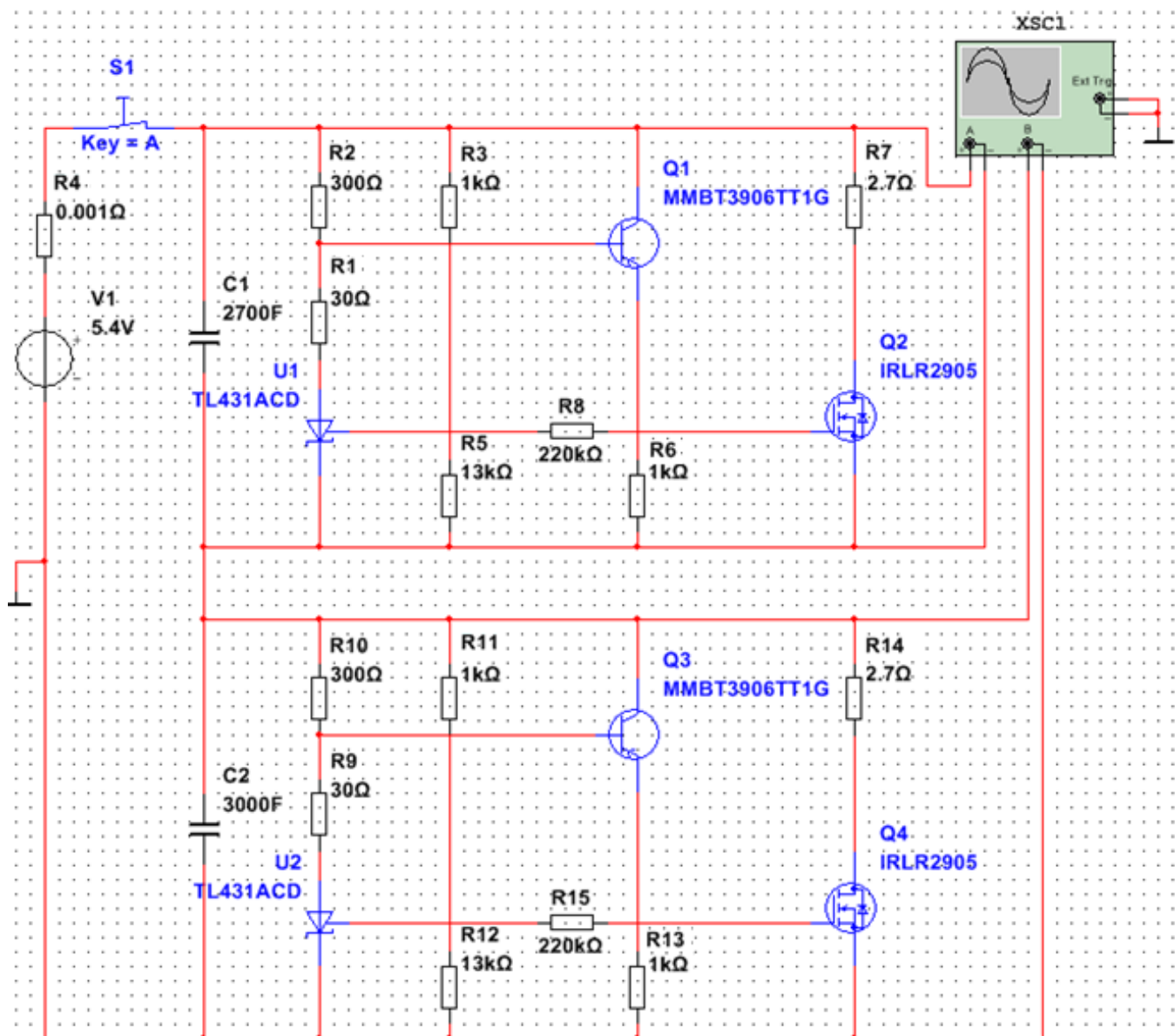


Рисунок 4.4– Математическая модель заряда двух последовательно соединенных конденсаторов с активной балансировкой

Для того чтобы выполнить активную балансировку, необходимо превратить TL431ACD в триггер Шмитта. Данного получилось достичь, добавив в схему *p-n-p*-транзистор VT1 и резистор R5. Делителем R3, R4 определяется порог контролируемого напряжения. В момент, когда напряжение на управляющем электроде достигает 2,5 В, TL431ACD – открывается, при этом и транзистор VT1. Потенциал коллектора повышается, и часть этого напряжения через резистор R5 поступает в цепь управляющего электрода TL431ACD. При этом TL431ACD лавинообразно входит в насыщение. Схема приобретает ярко выраженный гистерезис – включение происходит при 2,70 В, а выключение – при 2,69 В. В этом случае на затворе силового ключа создается управляющий импульс с очень крутыми фронтами, и попадание силового ключа в активный режим исключено. При этом потеря энергии на силовом ключе минимальна.

Схему можно легко настроить для контроля любого напряжения (делителем R3, R4). Величина максимального тока балансировки определяется резистором R7 и напряжением на суперконденсаторе [4].

На осциллограмме напряжений рисунок 4.5 показан процесс заряда двух суперконденсаторов  $C_1=2700$  Ф и  $C_2=3000$  Ф . На осциллограмме можно наблюдать, что конденсатор  $C_1$  заряжается быстрее, так как имеет меньшую емкость, но при достижении напряжения 2,7 В его шунтирует активная балансировка, тем самым ограничивая напряжение на нем.

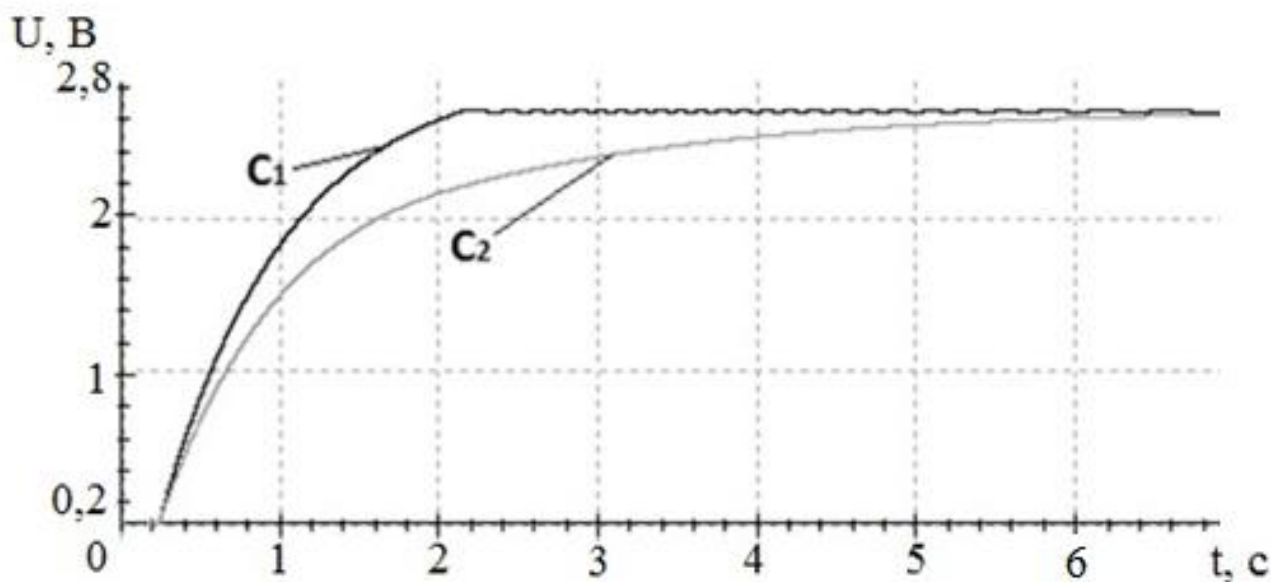


Рисунок 4.5– Осциллограмма напряжений на суперконденсаторах

Вывод по разделу четыре

Эффективным решением проблемы ограничения напряжений суперконденсаторов считается использование активной балансировки, определяемым максимально допустимым током заряда и разбросом значений емкостей модуля суперконденсаторов. Балансировка гарантирует, что напряжение на каждом суперконденсаторе не превысит заданное значение, в результате чего обеспечивается надежность и безопасность эксплуатации.

## 5 РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ПРИМЕНЕНИЮ

### 5.1 Напряжение

Суперконденсаторы способны работать в диапазоне между номинальным напряжением и нулевым напряжением. Номинальное напряжение определяется электрохимической устойчивостью диэлектриков внутри конденсатора. Суперконденсаторы используют органический электролит. Преимуществом органического электролита над водным электролитом является гораздо более высокое рабочее напряжение. Если конденсатор работает выше его номинального напряжения, электролит будет выделять газ. Когда уровень напряжения снижается ниже номинального напряжения, выход газа снижается. Таким образом, случайные выбросы выше номинального напряжения не будут немедленно влиять на работоспособность конденсатора.

В зависимости от частоты и продолжительности пиков напряжения срок службы конденсатора будет уменьшаться. Эффективное использование имеющихся источников энергии достигается при использовании самого широкого диапазона рабочих напряжений.

С другой стороны, большинство электроники имеют лимитированный диапазон напряжения для использования, тем самым ограничивая эффективное напряжение питания конденсатора, хотя сам суперконденсатор не накладывает ограничений.

Как правило, эффективно возможно использовать примерно 75% доступной энергии суперконденсатора, если применение позволяет работать в диапазоне от номинального напряжения до половины номинального напряжения суперконденсатора.

#### 5.1.1 Вопросы безопасности. Напряжение и ток

Суперконденсаторные ячейки никогда не должны работать с напряжением, превышающим номинальное напряжение этого суперконденсатора.

Превышение верхнего порога напряжения сокращает срок службы суперконденсатора, а в крайнем случае, может привести к выделению газов, образующихся в ячейке из-за длительного перенапряжения и выходу из строя. Степень влияния избыточного напряжения на работу ячейки зависит от величины и времени, в течение которого конкретная ячейка работает в этом состоянии избыточного напряжения. Всегда можно предположить, что любое превышение напряжения плохо для рабочих характеристик ячейки и ее срока службы.

Максимальное, рекомендуемое для долговечной надежной работы всех типов ячеек значение непрерывного удельного тока DC составляет 50 мА на Фарад.

Ячейки будут работать эффективно при токах выше, чем это рекомендуемое значение, однако потенциальный ущерб может произойти для ячеек в зависимости от величины удельного тока и его продолжительности / рабочего цикла импульсов высокого тока в применении.

					13.03.02.19.019.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ Документа	Подпись	Дата		33

### 5.1.2 Требования безопасности относительно высоковольтной цепи и электрической изоляции

Суперконденсатор очень часто используется в применениях с высоким напряжением и это обычно требует последовательного соединения ячеек или модулей. Создание такой линейки ячеек или модулей требует тщательного рассмотрения требований к возможным утечкам и сопротивлению изоляции. Сверяйтесь со спецификацией о сопротивлении изоляции модулей, соединяемых последовательно, чтобы узнать, какой зазор требуется между модулями или другими заземляющими конструкциями.

В случае создания модуля из элементарных ячеек обязательно рассмотрите рабочее напряжение модуля в окончательной конфигурации последовательно соединяемых ячеек и убедитесь, что модуль спроектирован с требуемыми токами утечки и зазорами, а также с соответствующими изоляционными материалами. Тестирование на сопротивление изоляции всегда должно проводиться на отдельных модулях и на последовательно соединенных модульных цепях, чтобы точно оценить безопасность изоляции. В случае, когда изоляция недостаточна на уровне модуля, и зазор не является доступным на системном уровне, максимальное рабочее напряжение последовательной цепи должно быть доведено до безопасного уровня при рассмотрении этих характеристик. В общем случае напряжение применения выше 50 В считается потенциальной опасностью для человеческого организма.

## 5.2 Температура окружающей среды

Другим преимуществом органического электролита является его низкая точка замерзания. Это позволяет использовать суперконденсаторы в широком диапазоне температур. Преимущества особенно заметны при более низких температурах. Производительность суперконденсатора не существенно зависит от температуры. Поскольку хранение заряда не является химической реакцией, емкость очень стабильна во всем диапазоне рабочих температур конденсаторов. На сопротивление конденсатора влияет подвижность ионов внутри электролита. Таким образом, когда температура падает ближе к точке замерзания электролита, подвижность ионов снижается, что приводит к более высокому сопротивлению.

### 5.2.1 Требования безопасности относительно температуры.

Ячейки суперконденсаторов эффективно работают в диапазоне температур -40°C и +65°C. Систематическая эксплуатация ячеек при температуре выше 65 °C может привести к серьезному ухудшению рабочих характеристик и также срока службы. Величина деградации пропорциональна тому, насколько высокая температура находится за верхним пределом, а также от того, как долго ячейки работают при этой температуре. Типичные последствия включают в себя быструю деградацию емкости и увеличение внутреннего сопротивления, а также

					13.03.02.19.019.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ Документа	Подпись	Дата		34



возможное избыточное газообразование, что, в конечном итоге, приводит к повышению давления.

Рекомендуется, чтобы температура ячейки контролировалась при применении, чтобы убедиться, что температура не превышает безопасных уровней. Датчик температуры можно безопасно присоединить к положительной или отрицательной клемме ячейки, чтобы контролировать точную и репрезентативную температуру. Это особенно удобные места для контроля температуры, поскольку они не покрыты чем-либо подобным ярлыкам или термоусадочной пленкой и поэтому непосредственно доступны для точного измерения температуры.

По соображениям безопасности не рекомендуется измерять температуру в другом месте. Однако, если желательно разместить датчик температур в средней части ячейки, то необходимо учитывать влияние метки и термоусадочной пленки, которая покрывает ячейку. Не рекомендуется удалять термоусадочную пленку, так как воздействие на корпус ячейки может привести к короткому замыканию в случае контакта или близкого расстояния с другими проводниками.

Очень полезно контролировать температуру окружающей среды, чтобы избежать рабочих температур ячейки выше +40 °С. Это приведет к увеличению производительности суперконденсатора и продолжительности срока службы. Эксплуатация суперконденсаторов при температурах до +65 °С является надежной и безопасной, однако это приведет к сокращению времени цикла и силе постоянного тока, чем при температурах ниже +40 °С. Преимущество в оптимизации срока службы устройства, поддерживающего оптимальные температуры. На другом конце температурной шкалы избегайте работы при температурах значительно ниже -40 °С. Суперконденсатор перестанет функционировать, поскольку электролит в устройстве замерзает и не может выполнить свою предполагаемую функцию. Однако следует отметить, что как только суперконденсатор оттает, он вернется к нормальной работе.

В общем, мониторинг температуры окружающей среды, температуры ячеек и обеспечение комфортных рабочих температур является наилучшим способом обеспечения долговременного бесперебойного срока службы суперконденсаторов. Также важно учитывать требования к температуре хранения ячеек, поскольку они будут деградировать под воздействием теплового излучения.

### 5.3 Влажность

Суперконденсаторные ячейки РС способны эффективно работать при высоком уровне влажности. Во время работы не требуются особые меры предосторожности, кроме как для предотвращения образования и накопления конденсата, которые могут мешать работе любого электрического устройства.

Однако, влажность может отрицательно повлиять на суперконденсаторы при хранении. Ячейки РС поставляются в упакованных в вакууме контейнерах, чтобы исключить попадание влаги при хранении. Силовые клеммы/терминалы

					13.03.02.19.019.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ Документа	Подпись	Дата		35

ячеек РС чувствительны к окислению и, в конечном итоге, к коррозии из-за высокого уровня влажности в течение длительных периодов времени. При пайке на месте клеммы/терминалы больше не подвержены этим коррозионным воздействиям. Поэтому при хранении суперконденсаторов РС необходимо сохранять оригинальную упаковку без повреждений. Если оригинальная вакуумная упаковка открыта и часть ячеек РС остается после использования, необходимо повторно запечатать упаковку, введя вакуум во время повторного запечатывания, чтобы оставшиеся ячейки не подвергались воздействию влажности. Несоблюдение этого важного требования к хранению приведет к окислению клемм/терминалов и, в результате, будет ухудшено качество пайки. Также возможно повреждение клемм/терминалов.

Окисленные клеммы/терминалы можно очистить с помощью абразивной наждачной бумаги/ткани, чтобы удалить слой оксида. Необходимо соблюдать осторожность, чтобы удалить только окисление, а не удалять лужение, нанесенное на заводе, которое находится на терминалах/клеммах. Удаление оловянного слоя приведет к затруднению или невозможности припаивания терминалов/клемм.

Правильный уход за ячейками РС в отношении защиты от влажности при хранении необходим для предотвращения проблем с пайкой при использовании ячеек.

#### 5.4 Давление

Все ячейки способны выдерживать работу при низком давлении, без каких-либо негативных последствий. Работа при высоком давлении также допускается вплоть до 1 атмосферы.

Испытания ячеек при давлении выше 1 атмосферы не проводились, поэтому необходимо выполнить специальное тестирование, чтобы убедиться, что в результате режима работы с повышенным давлением нет отрицательных воздействий.

#### 5.5 Полярность / обратное напряжение

В отличие от многих накопителей анод и катод суперконденсатора состоят из одного и того же материала. Если положительная и отрицательная клемма и корпус также состоят из подобных материалов, то теоретически суперконденсатор не имеет истинной полярности.

При изготовлении терминалы/клеммы суперконденсаторов имеют обозначение полярности. Рекомендуется соблюдать полярность, хотя катастрофического сбоя не произойдет, если по каким-то причинам была перепутана полярность суперконденсатора при подключении.

Однако, если суперконденсатор уже был заряжен в определенном направлении, а затем полярность была изменена, срок службы такой ячейки будет уменьшена.

					13.03.02.19.019.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ Документа	Подпись	Дата		36

Степень негативного воздействия изменения полярности на суперконденсаторы может меняться в зависимости от серии. В частности, для ячеек серии МС срок службы будет значительно сокращен, когда ячейка будет соединена положительно обозначенной клеммой к отрицательной клемме источника заряда. Это имеет место и для ячеек серии ВС, хотя и в меньшей степени. Наконец, в ячейках РС изменение напряжения может не показать каких-либо негативных последствий для работы до тех пор, пока ячейка не будет снова повторно подключена после использования в обратном состоянии. В этот момент ячейка будет показывать ухудшенные характеристики производительности, срок службы сократится.

В общем, следует обратить внимание на правильную полярность ячеек при их подключении, чтобы избежать негативных последствий, приводящих к сокращению срока службы и ухудшению производительности.

## 5.6 Зарядка

Поскольку механизм накопления энергии суперконденсатора не является химической реакцией, заряд / разряд суперконденсаторов может происходить с одинаковой скоростью. Поэтому номинальный ток для суперконденсатора применяется как для заряда, так и для разряда. Эффективность заряда и разряда практически одинакова. Суперконденсаторы могут заряжаться различными способами. Это может быть источник постоянного тока/ мощности или зарядное устройство от сети переменного тока.

## 5.7 Механическое соединение и способы соединений

Различные варианты соединений используются в зависимости от применений суперконденсаторов. Существует ряд шин для соединения пайкой. В общем случае, чем больше емкость ячейки, тем более критичными становятся соединения между суперконденсаторными ячейками. Ячейки большой емкости имеют внутренние сопротивления порядка нескольких сотен микроОм. Плохие соединения между ними могут иметь большее сопротивление, чем внутреннее сопротивление самих ячеек. Большие ячейки, как правило, работают при больших токах, что требует надежных соединений.

### 5.7.1 Термоусадочная втулка

Каждая ячейка имеет термоусадочную втулку, закрывающую корпус ячейки. Эта термоусадочная втулка выполняет важную функцию. Ячейки сконструированы таким образом, что тело ячейки соединено с одним из терминалов и, следовательно, переносит разность потенциалов от окружающего оборудования. Поэтому термоусадочную втулку не следует снимать с ячейки по какой-либо причине. Она необходима для безопасной работы ячеек. При таком низком сопротивлении суперконденсаторы способны разряжать всю свою энергию очень быстро если, например, короткое замыкание произойдет между

										Лист
Изм	Лист	№ Документа	Подпись	Дата	13.03.02.19.019.00.00 ПЗ					37

открытым корпусом ячейки и окружающим оборудованием шасси, может возникнуть опасная ситуация.

### 5.7.2 Чистота клемм/терминалов

Суперконденсаторы имеют очень низкое эквивалентное последовательное сопротивление и, следовательно, способны обеспечить высокий уровень мощности. При соединении клемм ячеек важна чистота. Взаимодействие с грязными или окисленными ячейками может, как минимум, привести к снижению эффективности системы.

Высокоомные соединения между ячейками подвержены высоким температурам в зависимости от квадрата проходящего через них тока и, следовательно, могут генерировать значительное тепло в месте соединения, не говоря уже о воздействии на рабочие характеристики системы. Будьте осторожны при обращении с суперконденсаторами и убедитесь, что клеммы ячеек чисты перед использованием. Удалите любое окисление или другой мусор и грязь с клемм, используя соответствующие методы.

В процессе очистки следует проявлять осторожность, чтобы не повредить терминалы каким-либо образом, выбранный метод очистки не должен влиять на сам терминал. В большинстве применений используются не одиночные суперконденсаторы, а последовательно или параллельно соединенные группы, чтобы удовлетворить потребности в энергии и мощности. Ниже приведены рекомендации соединений, при которых можно ожидать обеспечения долгого срока службы, надежности и хорошей производительности. Поскольку ячейки разных типов/серий отличаются в размерах, конструкции, видах клемм/терминалов и т.п., целесообразно рассматривать требования к установке для каждого типа/серии ячеек отдельно. Поэтому ниже, хотя существуют некоторые общие рекомендации по использованию ячеек, есть также раздел, посвященный каждому типу ячеек со указанием особенностей установки для каждого из них.

### 5.8 Срок службы

Срок службы суперконденсатора, в основном, зависит от сочетания рабочего напряжения и рабочей температуры. Суперконденсатор имеет практически неограниченный срок годности при хранении в разряженном состоянии. Когда речь идет о жизни суперконденсатора, спецификации отражают изменение производительности, как правило, уменьшение емкости и увеличение сопротивления. Ограничение срока службы, определяемое отраслевыми стандартами - это снижение емкости на 20% и / или увеличение внутреннего сопротивления на 200%.

У суперконденсаторов нет четко определенного срока службы, его производительность постоянно ухудшается в течение всего времени его использования. Окончание срока службы наступает, когда производительность

					13.03.02.19.019.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ Документа	Подпись	Дата		38

суперконденсатора больше не соответствует требованиям конкретного применения. Срок службы может отличаться от указанного в спецификации.

Типичная деградация суперконденсатора напоминает экспоненциальный распад. Большинство изменений характеристик происходит во время первоначального использования суперконденсатора, и эти изменения постепенно выравниваются с течением времени. Самым существенным образом в процессе деградации происходит изменение внутреннего сопротивления.

#### 5.8.1 Замена суперконденсатора на новый того же типа

Новая ячейка будет иметь более высокую емкость, чем остальная часть цепи. Хотя это возможно, однако это приведет к увеличению напряжения на других ячейках и дальнейшему ускорению процесса их старения. Этот эффект еще более усугубляется, если новая ячейка отличается от других ячеек.

#### 5.8.2 Замена суперконденсаторов всей цепи

Несмотря на более высокую стоимость, этот способ не только гарантирует правильную сбалансированность ячеек, но также обеспечивает дополнительный срок службы системы. Если цепь заменяется на цепь другого типа ячеек, импеданс цепи изменится и, следовательно, важно изменить схему заряда и/или разряда (нагрузки) соответственно, если поддержание постоянной времени имеет первостепенное значение для конкретного применения. Например, дополнительный резистивный элемент может быть добавлен последовательно с цепью для поддержания исходного сопротивления схемы.

#### Вывод по разделу пять

В отличие от батарей, суперконденсаторы обладают одинаковой эффективностью при заряде и разряде. Это позволяет разряжать суперконденсатор очень быстро без ограничения тока, т.е., используя ток, требуемый в конкретном применении. Потери эффективности суперконденсаторов в основном связаны с внутренним сопротивлением, которое увеличивается в процессе циклирования. В большинстве применений эффективность ультраконденсаторов составляет 98%. Обычно, эффективность ультраконденсаторов даже при сильных пульсациях тока не опускается ниже 90%.

									Лист
									39
Изм	Лист	№ Документа	Подпись	Дата	13.03.02.19.019.00.00 ПЗ				

## 6 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

### 6.1 Краткое описание производственного участка

Исследования осуществляются в лаборатории, которая находится в здании филиала ЮУрГУ в городе Златоусте на кафедре ЭАПП. В лаборатории отсутствуют открытые электроустановки и открытые токоведущие части. Лаборатория предназначена для тестирования, диагностики и ремонта испытательных учебных стендов, а также для испытаний различных моделей в рамках НИР. Для обработки результатов экспериментов и опытов в лаборатория оснащена персональными электронно-вычислительными машинами (в дальнейшем – ПЭВМ).

### 6.2 Анализ всех производственных и экологических опасностей

Изучение и обнаружение возможных факторов производственных несчастных случаев, тяжелых заболеваний, аварий, взрывов, пожаров, и разработка мероприятий и требований, направленных на устранение этих причин, которые позволяют создать безопасные и благоприятные условия для труда человека [23].

Работа персонала напрямую связана с компьютером, соответственно с вредными факторами, что значительно снижает эффективность работы. В помещении лаборатории на персонал ПЭВМ могут отрицательно функционировать следующие факторы:

#### а) физические факторы:

- светотехнические факторы (недостаточная освещенность рабочей зоны);
- бароакустические факторы (атмосферное давление, повышенный уровень шума);
- радиационные факторы (ионизирующие, тепловые и радиочастотные излучения);
- электромагнитные факторы (возможность поражения электрическим током, статическое электричество, повышенные уровни электромагнитных полей, ультрафиолетового излучения, ионизирующего излучения, повышенный уровень напряжения в электрической сети, атмосферное электричество);

#### б) психофизиологические факторы:

##### 1) физические перегрузки:

- статические нагрузки;
- динамические нагрузки;
- гиподинамия;

##### 2) нервно-эмоциональные нагрузки:

- умственное перенапряжение;
- переутомление;
- перенапряжение анализаторов (кожные, зрительные, слуховые и т.д.);
- монотонность труда;
- эмоциональные перегрузки .

									Лист
									40
Изм	Лист	№ Документа	Подпись	Дата	13.03.02.19.019.00.00 ПЗ				

### 6.3 Нормы для лаборатории

С целью стандартной и высокопроизводительной работы в производственных помещениях следует, чтоб метеорологические требования (температура, влажность и скорость движения воздуха) были в конкретных пределах. Частые перемены микроклимата в лабораториях вызываются повышением температуры работников помещений. Температуру в помещении рекомендуется корректировать в зависимости от времени года, количества тепловыделений и прочих факторов. Оптимальные нормы (ГОСТ 12.1.005 - 88) приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Оптимальные нормы микроклимата для лаборатории

Период года	Температура воздуха, °С не более		Относительная влажность воздуха, %		Скорость движения воздуха, м/с
	22	24	40	60	
Холодный	22	24	40	60	0,1
Теплый	23	25	40	60	0,1

Освещение в помещении является гибридным (естественным и искусственным). Освещенность поверхности рабочего стола находится в пределах 300-500 лк, а общая освещенность - не менее 400 лк.

Естественное освещение в помещении осуществляет в виде бокового освещения. Величина коэффициента естественной освещенности (к.е.о.) подходит по нормативным уровням по СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение. Нормы проектирования».

При выполнении основной работы уровень шума на рабочем месте не должен превышать 50 дБА [26].

### 6.4 Требования охраны труда при работе на анализируемом оборудовании

Основными факторами поражения работника электрическим током в трудовой зоне считаются касание к железным нетоковедущим частям системного блока ПЭВМ, которые способны быть под напряжением. В следствии повреждения изоляции и запрещенное применение электрических устройств, например таких как электрические плиты, чайники, обогреватели.

Основным организационным событием считается инструктаж сотрудника и подготовка к безопасным технологиям работы, а так же контроль законов нормативно-технических документов (правил и инструкций согласно технической эксплуатации, пожарной безопасности) согласовании с занимаемой должностью согласно к исполняемого труда.

При проведении незапланированного и планового ремонта вычислительной техники выполняются следующие действия:

- отключение компьютера от сети;
- проверка отсутствия напряжения.

После исполнения этих операций возможно осуществлять восстановления поврежденного оборудования. Персонал, выполняющий восстановление, обязан обладать как минимум вторую категорию по электробезопасности.

Требования, предъявляемые к электрическому оборудованию, зависят от помещения, в котором оно эксплуатируется. Помещение лаборатории, в котором функционирует пользователь ПЭВМ, относится к 1 классу, то есть данное помещение без повышенной опасности: сухое (относительная влажность воздуха до 60%), беспыльное, с нормальной температурой воздуха, изолированными полами и небольшим количеством заземленных устройств.

ПЭВМ считается электрическим механизмом с напряжением питания 220/380 В трехфазной четырехпроводной сети с заземленной нейтралью. Так как все токоведущие части ПЭВМ изолированы, то случайное касание к токоведущим частям исключается.

С целью обеспечения защиты от поражения электрическим током касание к железным нетоковедущим частям системного блока ПЭВМ, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции используется защитное заземление и зануление.

Заземление корпуса ПЭВМ гарантировано подведением заземляющей жилы к питающим розеткам. Сопротивление заземления 4 Ом, согласно для электроустановок с напряжением до 1000 В.

Электропитание трудового участка обязано быть подключено через рубильник, установленный в месте, удобном для быстрого отключения питания рабочего места, а также должны быть предприняты меры для обесточивания рабочего места в аварийных режимах. Можно поставить автоматический выключатель с защитой от кратковременного замыкания.

При касании к определенным из элементов ПЭВМ появляются разрядные токи статического электричества. Такие разряды не представляют прямой угрозы для пользователя ПЭВМ, но приводят к малоприятным ощущениям в виде удара или толчка. Для снижения возникающих зарядов статического электричества в лаборатории покрытие пола выполняется из антистатического покрытия. Пользователю ПЭВМ не стоит одевать одежду из синтетических материалов. К общим мерам защиты от статического электричества возможно отнести общее и местное увлажнение воздуха (до 50%) и ионизацию воздуха.

Для обеспечения подходящей трудоспособности и сохранения здоровья пользователя ПЭВМ в течении рабочей смены должны устанавливаться регламентированные перерывы. В течение смены регламентированные перерывы следует устанавливать через 1,5 – 2 часа от начала рабочей смены и через 1,5 – 2 часа после обеденного перерыва продолжительностью 20 минут каждый или продолжительностью 15 минут через каждый час работы. Продолжительность непрерывной работы с ПЭВМ без регламентированного перерыва не должна превышать 1 час.

										Лист
Изм	Лист	№ Документа	Подпись	Дата	13.03.02.19.019.00.00 ПЗ					42



## 6.5 Производственная санитария

### 6.5.1 Определение категории тяжести труда при работе в лаборатории

Работа большинства сотрудников в лаборатории связана с умственным трудом. Работа относится к 1 категории и не требуют систематического мышечного напряжения [27].

### 6.5.2 Требования к помещению для эксплуатации ПЭВМ

Помещение лаборатории с ПЭВМ должно быть оснащено аптечкой первой помощи и в нем ежедневно должна проводиться влажная уборка.

Площадь на одно рабочее место пользователя ПЭВМ с видеодисплейным терминалом на базе электронно-лучевой трубки должна составлять не менее 6 м<sup>2</sup>, а с видеодисплейным терминалом на базе плоских дискретных экранов (плазменные, жидкокристаллические) – 4,5 м<sup>2</sup>.

Помещение лаборатории с ПЭВМ должно оборудоваться системой отопления, кондиционирования воздуха или эффективной приточно-вытяжной вентиляцией. Минимальный расход воздуха определяется из расчета 50 – 60 м<sup>3</sup> на одного работающего. Условия по воздухообмену (за 1 час) – двух-трех кратный [29].

Полимерные материалы, используемые для внутренней отделки интерьера помещения с ПЭВМ, должны быть разрешены для применения органами и учреждениями Государственного санитарно-эпидемиологического надзора.

Поверхность пола в помещении эксплуатации ПЭВМ должна быть ровной, без выбоин, не скользкой, удобной для очистки и влажной уборки, обладать антистатическими свойствами.

### 6.5.3 Требования к организации и оборудованию рабочего места

Модульными размерами рабочей поверхности стола для ПЭВМ, на основании которых должны рассчитываться конструктивные размеры, следует считать /10/: ширину 800, 1000, 1200 и 1400 мм, глубину 800 и 1000 мм при нерегулируемой его высоте, равной 725 мм. Рабочий стол должен иметь пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной – не менее 500 мм, глубиной на уровне колен – не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног – не менее 650 мм.

Рабочий стул (кресло) должен быть подъемно-поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также – расстоянию спинки от переднего края сиденья. Конструкция рабочего стула (кресла) должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе на ПЭВМ. Поверхность сиденья, спинки и других элементов стула (кресла) должна быть полумягкой, с нескользящим, неэлектризующимся и воздухопроницаемым покрытием, обеспечивающим легкую очистку от загрязнений.

Рабочее место должно быть оборудовано подставкой для ног, поверхность подставки должна быть рифленой [31].

					13.03.02.19.019.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ Документа	Подпись	Дата		43

Схемы размещения рабочих мест ПЭВМ должны учитывать расстояния между рабочими столами с мониторами, которое должно быть не менее 2,0 м, а расстояние между боковыми поверхностями видеомониторов – не менее 1,2 м.

Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на оптимальном расстоянии 600 – 700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов.

Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100 – 300 мм от края, обращенного к пользователю, или на специальной регулируемой по высоте рабочей поверхности, отделенной от основной столешницы.

#### 6.5.4 Требования к персональным электронно-вычислительным машинам

Все ПЭВМ должны иметь гигиенический сертификат, включающий, в том числе оценку визуальных параметров.

Конструкция ПЭВМ должна обеспечивать возможность поворота корпуса в горизонтальной и вертикальной плоскости с фиксацией в заданном положении для обеспечения фронтального наблюдения экрана /10/. Корпус монитора и ПЭВМ, клавиатура и другие блоки и устройства ПЭВМ должны иметь матовую поверхность одного цвета с коэффициентом отражения 0,4 – 0,6 и не иметь блестящих деталей, способных создавать блики [32].

В целях обеспечения защиты от электромагнитных и электростатических полей допускается применение приэкранных фильтров, специальных экранов и других средств индивидуальной защиты, имеющих соответствующий гигиенический сертификат [33].

В таблице 6.2 представлены параметры допустимых значений электромагнитных излучений.

Таблица 6.2 – Предельно допустимые значения электромагнитного излучения

Наименование параметров		Допустимое значение
Напряженность электромагнитного поля по электрической составляющей на расстоянии 50 см от видеомонитора		10 В/м
Напряженность электромагнитного поля по магнитной составляющей на расстоянии 50 см от поверхности видеомонитора		0,3 А/м
Напряженность электростатического поля не должна превышать		20 кВ/м
Напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг монитора по электрической составляющей должна быть не более:	– в диапазоне частот от 2 – до 400 кГц	25 В/м
	– в диапазоне частот от 5 Гц – до 2 кГц;	2,5 В/м

При работе на персональном компьютере наиболее тяжелая ситуация связана с полями излучений очень низких частот, которые способны вызывать биологические эффекты при воздействии на живые организмы. Поэтому для защиты от этого вида излучений применяются видеоадаптеры с высоким разрешением и частотой обновления экрана не ниже 80–82 Гц.

Конструкция клавиатуры должна предусматривать опорное приспособление, позволяющее изменять угол наклона поверхности клавиатуры в пределах от 5 до 15 градусов.

#### 6.5.5 Выбор и расчет системы освещения

Рекомендуется размещение окон с одной стороны рабочего помещения, желательно с северной или северо-восточной. На окнах следует установить жалюзи с вертикальными ламелями. Желательно размещение мониторов подальше от окон и таким образом, чтобы их экраны были перпендикулярны к поверхности окон.

Искусственное освещение в помещении лаборатории должно осуществляться системой общего равномерного освещения. Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300 – 500 лк. Допускается установка светильников местного освещения для подсветки документов. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана ПЭВМ. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк. . В качестве источников света при искусственном освещении должны применяться преимущественно люминесцентные лампы. Допускается применение ламп накаливания в светильниках местного освещения.

Общее освещение следует выполнять в виде сплошных или прерывистых линий светильников, расположенных сбоку от рабочих мест, параллельно линии зрения пользователя при рядном расположении ПЭВМ. Для обеспечения нормируемых значений освещенности в помещениях использования ПЭВМ следует проводить чистку стекол оконных рам и светильников не реже двух раз в год и проводить своевременную замену перегоревших ламп.

Проведем расчет искусственного освещения. Для освещения помещения лаборатории с размерами 10 на 15 метров и высотой 3 метра выбираем потолочные светильники типа УСП-35 с двумя люминесцентными лампами. Коэффициент отражения светового потока от потолка, стены и пола, соответственно:  $q_{\text{пот}} = 70\%$ ;  $q_{\text{с}} = 50\%$ ;  $q_{\text{пол}} = 30\%$ .

Уровень рабочей поверхности над полом  $h_p$  составляет 0,725 м. Тогда расстояние от потолка до рабочей поверхности  $h$ , м

$$h = H - h_p,$$

где  $H = 3$  – высота помещения лаборатории от пола до потолка, м.

$$h = 3 - 0,725 = 2,275 \text{ м.}$$

					13.03.02.19.019.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ Документа	Подпись	Дата		45

У светильников УСП наиболее выгодное отношение  $\varepsilon = 1,4$ . Отсюда расстояние между рядами светильников вдоль длинной стены  $L$ , м

$$L = \varepsilon \cdot h;$$
$$L = 1,4 \cdot 2,275 = 3,185 \text{ м.}$$

Число рядов светильников  $n$

$$n = \frac{B}{L},$$

где  $B = 15$  – длина помещения лаборатории, м.

$$n = \frac{15}{3,185} = 4,7.$$

Число рядов светильников  $n$  принимается равным 4.

Расстояние между стенами и крайними рядами светильников  $l$ , м

$$l = (0,3 \dots 0,5)L;$$
$$l = 0,96 \dots 1,59.$$

Расстояние между стенами и крайними рядами светильников  $l$  принимается равным 1,13 м.

Индекс помещения  $i$

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)},$$

где  $A = 10$  – ширина помещения лаборатории, м.

$$i = \frac{10 \cdot 15}{2,275 \cdot (10 + 15)} = 2,64.$$

Световой поток, излучаемый светильником  $\Phi_{\text{св}}$ , лм

$$\Phi_{\text{св}} = 2 \cdot \Phi_{\text{л}},$$

где  $\Phi_{\text{л}} = 3120$  – номинальный световой поток для лампы, лм.

$$\Phi_{\text{св}} = 2 \cdot 3120 = 6240 \text{ лм.}$$

Необходимое число светильников  $N$

					13.03.02.19.019.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ Документа	Подпись	Дата		46

$$N = \frac{E_n \cdot k_3 \cdot A \cdot B \cdot Z}{n \cdot \Phi_{св} \cdot \eta},$$

где  $E_n = 400$  – норма освещенности для лаборатории, лк;  
 $k_3 = 1,4$  – коэффициент запаса для осветительных установок общего освещения;  
 $Z = 1,1$  – поправочный коэффициент, учитывающий неравномерность освещения, выбирается для люминесцентных ламп;  
 $\eta = 0,45$  – коэффициент использования светового потока светильника.

$$N = \frac{400 \cdot 1,4 \cdot 150 \cdot 1,1}{4 \cdot 6240 \cdot 0,45} \approx 8$$

Таким образом, в лаборатории устанавливаются 8 светильников в сплошной ряд [30].

#### 6.5.6 Выбор системы вентиляции

В лаборатории достаточно естественной вентиляции помещения, так как имеются окна, и отсутствует выделение вредных веществ.

В помещении лаборатории предусмотрены открывающиеся части окон для удаления воздуха из помещения в нерабочее время.

При естественной вентиляции воздух поступает в помещение лаборатории и удаляется из него вследствие разности температур, а, следовательно, и плотностей наружного и внутреннего воздуха, а также под воздействием ветра. Неорганизованная естественная вентиляция осуществляется инфильтрацией и эксфильтрацией воздуха через неплотности в окнах и дверях.

При естественной вытяжной вентиляции окна играют роль приточных устройств. С одной стороны малая воздухопроницаемость окон приводит к нежелательному сокращению воздухообмена, а с другой – к экономии теплоты на подогрев инфильтрационного воздуха. При недостаточной инфильтрации вентиляция осуществляется через открытые форточки [22].

При применении окон с высокими звуко- и теплозащитными свойствами естественного воздухообмена, обусловленного щелями и неплотностями, недостаточно для обеспечения здорового микроклимата в помещении. Тогда возможно применение приточно-вытяжных систем механической вентиляции помещения лаборатории [23].

#### 6.5.7 Требования к уровням шума на рабочем месте

Источниками шума в лаборатории являются сами ПЭВМ (встроенные в стойки ПЭВМ вентиляторы).

Шумящее оборудование, уровни шума которого превышают нормированные, должно находиться вне помещения с ПЭВМ [24].

					13.03.02.19.019.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ Документа	Подпись	Дата		47

Снизить уровень шума в лаборатории с ПЭВМ можно использованием звукопоглощающих материалов с максимальными коэффициентами звукопоглощения в области частот 63 – 8000 Гц для отделки помещений (разрешенных органами и учреждениями Госсанэпиднадзора России), подтвержденных специальными акустическими расчетами [25].

#### 6.5.8 Требования к организации режима труда и отдыха при работе с ПЭВМ

Режимы труда и отдыха при работе с ПЭВМ должны организовываться в зависимости от вида и категории трудовой деятельности. Пользователь ПЭВМ относится по виду трудовой деятельности к группе В – творческая работа в режиме диалога с ПЭВМ. Для группы В пользователь относится к III категории тяжести и напряженности работы с ПЭВМ, которая определяется по суммарному времени непосредственной работы с ПЭВМ за рабочую смену, но не более 6 часов за смену [35].

Во время перерывов с целью снижения нервно-эмоционального напряжения, утомления зрительного анализатора, устранения влияния гиподинамии и гипокинезии, предотвращения развития позотонического утомления целесообразно выполнять комплексы упражнений.

С целью уменьшения отрицательного влияния монотонии целесообразно применять чередование операций осмысленного текста и числовых данных, чередование редактирования текстов и ввода данных (изменение содержания работы) [34].

#### 6.6 Эргономика и производственная эстетика

Требования эргономики предусматривают правильную организацию помещения участка и рабочих мест. Столы и шкафы стоят вплотную к стенам так, что в центре остается большой проход. Рабочие столы имеют дополнительные полки, на которые устанавливаются контрольно-измерительные приборы. Такое расположение обеспечивает хороший доступ к органам управления и средствам отображения информации.

В таблице 6.3 представлены визуальные эргономические параметры и пределы их изменения.

Таблица 6.3 – Визуальные эргономические параметры

Наименование параметров	Пределы значений параметров	
	минимально (не менее)	максимально (не более)
Яркость знака (яркость фона), кд/м <sup>2</sup>	35	120
Внешняя освещенность экрана, лк	100	250
Угловой размер знака, угл. мин.	16	60

Под столом находится тумба с ящиками для хранения инструмента. Для уменьшения зрительного утомления и обеспечения равномерного освещения рабочих мест, стены выкрашены в бледно - розовый цвет. Над розетками и рубильником красной краской обозначены напряжения. На окнах висят светлые шторы от прямых солнечных лучей.

#### 6.7 Противопожарная и взрывобезопасность при работе в лаборатории

Исследовательская лаборатория относится к категории производства Д, категория помещения П.

Пожарная безопасность предусматривает обеспечение безопасности людей и сохранения материальных ценностей лаборатории на всех стадиях его жизненного цикла (научная разработка, проектирование, строительство эксплуатация) НАПБ Б.03.002-2007.

Пожары в лаборатории представляют особую опасность, так как сопряжены с большими материальными потерями. Характерная особенность лабораторий – небольшая площадь. Как известно, пожар может возникнуть при взаимодействии горючих веществ и окислителя при наличии источников зажигания. В помещениях лабораторий присутствуют все три основных компонента, необходимых для возникновения пожара. Горючими компонентами являются строительные материалы акустической и эстетической отделок помещений, перегородки, двери, полы, изоляция силовых сигнальных кабелей, обмотки радиотехнических деталей, панели, стойки, шкафы и прочее [39].

Источниками зажигания в лаборатории могут оказаться электронные схемы ЭВМ, приборы, применяемые для технологического обслуживания ЭВМ, устройства питания, где в результате различных нарушений могут образоваться перегретые элементы, электрические искры и дуги, способные вызвать возгорание горючих элементов.

При работе устройств типа ввода – вывода используются носители информации на бумажной основе, образующие большое количество бумажной пыли. Пыль, оседая на печатных платах, микросхемах и других элементах электронных схем, заметно снижает их теплоотдачу, вызывая нагревание устройств ЭВМ, что в конечном итоге может привести к возгоранию.

Основными системами пожарной безопасности являются системы предотвращения пожара и система противопожарной защиты, включая организационно – технические мероприятия [36].

Предотвращение пожара достигается следующими мероприятиями:

- установкой вентиляторов на платы компьютера;
- не оставлять без присмотра работающий компьютер;
- не допускать попадание внутрь компьютера и периферии посторонних предметов, жидкостей и сыпучих веществ;
- не допускать перегибов, передавливания и натяжения питающих кабелей;
- не устанавливать компьютер вблизи источников тепла;
- не закрывать вентиляционных отверстий компьютера и периферии;

– установка пожарной сигнализации.

В зданиях университета для ликвидации пожаров пожарные краны устанавливаются в коридорах, на площадках лестничных клеток, у входов, т.е. доступных и заметных местах. Также применяют огнетушители типа ОУ – 5. Также используют сухой песок [40].

Мероприятия по предотвращению взрывов проводить не нужно, так как в этом отсутствует необходимость.

#### 6.8 Экологическая безопасность

При работе в лаборатории выбросов вредных веществ в атмосферу не происходит. В гидросферу происходит сброс воды, которая используется для сантехнических нужд. Литосфера загрязняется комплектующими от ЭВМ, радиодетальями от УНУ [37].

Очистка воды происходит на городских очистных сооружениях. Отходы, получаемые при эксплуатации УНУ и ЭВМ, вывозятся на свалку и перерабатываются специализированными организациями.

#### 6.9 Обеспечение безопасности при угрозе чрезвычайных ситуаций

Для ликвидации производственных аварий и последствий стихийных бедствий в первую очередь привлекаются специальные подразделения (пожарные, врачи, спасатели). В случае необходимости могут привлекаться и формирования гражданской обороны, которые организуются в каждом производственном подразделении.

При чрезвычайной ситуации может потеряться программное обеспечение, важная информация, хранимая на винчестерах компьютерной сети. Чтобы уменьшить ущерб в результате чрезвычайных ситуаций необходимо провести мероприятия, повышающие устойчивость работы объектов.

Ответственным, за оповещение исследователей находящихся в лаборатории и их эвакуацию при поступлении информации о чрезвычайной ситуации, является начальник лаборатории или его заместитель. В целях оказания помощи пострадавшим лицам, в лаборатории находится аптечка со средствами первой помощи. При наличии сигнала тревоги необходимо отключить оборудование, свет, чтобы не допустить аварийных ситуаций при коротком замыкании или обрыве токоведущих частей. При выходе из лаборатории необходимо проверить отсутствие там людей, после чего закрыть дверь с целью исключения проникновения посторонних лиц. Далее необходимо покинуть помещение согласно плану эвакуации, которые находятся на каждом этаже здания [38].

Во время проведения экспериментов при первых признаках аварийной ситуации (появление дыма, запаха) следует отключить устройство от питающей сети и далее действовать так, как предписывают правила в данной ситуации.



Выводы по шестому разделу: в данном разделе произведен анализ всех производственных и экологических опасностей. Предусмотрены меры по охране труда и определены требования производственной санитарии. Рассмотрены вопросы экологической безопасности и обеспечения безопасности при угрозе чрезвычайных ситуаций, а также рассмотрена противопожарная и взрывобезопасность при работе в лаборатории.

					13.03.02.19.019.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ Документа	Подпись	Дата		51

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения выпускной квалификационной работы получены следующие результаты:

1. Проведенный анализ показал возможность использования суперконденсаторов с комбинированными электроустановками.
2. Рассмотрены способы решения проблем эксплуатации с помощью активной балансировки.
3. С помощью программы Multisim построена математическая модель заряда двух последовательно соединенных суперконденсаторов с использованием активной балансировки.
4. Точность разработанной в среде Multisim модели подтверждена экспериментальными исследованиями.
5. Разработаны рекомендации по применению суперконденсаторов.

					13.03.02.19.019.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ Документа	Подпись	Дата		52

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Беляков, А.И. Электрохимические суперконденсаторы: текущее состояние и проблемы развития / А.И. Беляков // Электрохимическая энергетика. – 2006. – Т. 6, № 3. – С. 146-149.
2. Умняшкин, В.А. Основы методики расчета и обоснования базовых параметров гибридной энергосиловой установки легкового автомобиля / В.А. Умняшкин, Н.М. Филькин [и др.] // Интеллектуальные системы в производстве.– 2008.– № 1.– С. 164-174.
3. Ломакин, В. В. К расчёту баланса мощности комбинированной энергоустановки гибридного автомобиля / В. В. Ломакин, А. В. Шабанов, А. А. Шабанов // Журнал автомобильных инженеров. – 2014. – № 1 (84). – С. 24 – 27.
4. Агупов, В.В. Особенности активной балансировки напряжений суперконденсаторов / В.В. Агупов, М.Ю. Чайка, Ю.Ю. Разуваев [и др.]. // Вестник Воронежского государственного технического университета. – Воронеж, 2011. – Т. 7. – № 10. – С. 85-88.
5. Кузнецов, В.П, Панькина О.Н., Мачковская Н.И., Шувалов Е.К., Востриков И.С. Конденсаторы с двойным электрическим слоем (ионисторы): разработка и производство // Компоненты и технологии. - 2005, №6. С. 21-25.
6. Суперконденсаторы или ионисторы вместо аккумулятора. Новая технология Ё-мобиль. [Электронный ресурс] / GREEN-CAR. – Режим доступа: \ www/URL: [http://green-car.com.ua/index.php?option=com\\_content&view=article&id=62&Itemid=78](http://green-car.com.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=62&Itemid=78).
7. Шидловский, А. К. Суперконденсаторы в системах электропитания электромобилей [Текст] / А. К. Шидловский, В. Б. Павлов, А. В. Попов, В. Е. Павленко // Техническая электродинамика. Тематический выпуск "Силовая электроника и энергоэффективность". - 2010. - Ч. 1. - С. 48-51.
8. Бахмутов, С. В. Совершенствование процесса рекуперации энергии гибридного автомобиля / С. В. Бахмутов, А. И. Филонов, Е. Е. Баулина // Научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана: Наука и образование. – 2013. – № 7. – С. 101–114.
9. Есаулов, С.М. Проектирование компонентов для систем автоматического диагностирования транспорта. / С.М. Есаулов, О.Ф. Бабичева, Н.П. Лукашова // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2009. – Вып.5/3(41). – С.28 – 32.
10. Есаулов, С.М. Применение эталонной модели для автоматической системы диагностирования оборудования на транспорте. / С.М. Есаулов, О.Ф. Бабичева, А.В. Будченко // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2009. – Вып.4/7(40). –С. 19 – 22
11. Панкрашкин, А. Ионисторы Panasonic : физика, принцип работы, параметры / А. Панкрашкин // Компоненты и технологии. – 2006. – № 9.
12. Шурыгина, В. Суперконденсаторы. Помощники или возможные конкуренты батарейным источникам питания // Электроника : Наука. Технология. Бизнес. – 2003. – № 3. – 20 с.

										Лист
Изм	Лист	№ Документа	Подпись	Дата	13.03.02.19.019.00.00 ПЗ					53

13. Способ заряда блока ионисторов и устройство для его осуществления. – Заявка на изобретение № 2013145662/07 от 04.10.13.

14. Пат. РФ № 2488198 Стабилизированный комбинированный источник электропитания. – Оpubл. 23 мая 2013 г.

15. Агупов, В. В., Разуваев, Ю. Ю., Чайка М. Ю., Чопоров О. Н. Особенности активной балансировки напряжений суперконденсаторов // Вестник Воронежского государственного технического университета. – Воронеж : Изд-во Воронежского государственного технического университета, 2011. – С. 85–88.

16. Балансир для зарядки литиевых аккумуляторов. СМИ Сайт-ПАЯЛЬНИК 1999–2016. – URL: <http://сhem.net/pitanie/5-295.php> (дата обращения: 27.10.2016).

17. Патон, Б. Е., Коротынский А. Е., Драченко Н. П. и др. Использование суперкондесаторов для повышения энергоэффективности устройств для точечной контактной сварки // Тр. Междунар. научно-практ. конф. «Энерго и ресурсосбережение в промышленности, энергетике и транспорте. – Киев, 2009. – С. 54–58.

18. Еременко, В., Воронцов, К., Варламов, Д. Аппаратные методы повышения энергетической эффективности высоковольтных аккумуляторных батарей // Электр. компоненты – Украина. – 2007. – № 7/8. – С. 62–66.

19. Титце, У. Полупроводниковая схемотехника: Справочное руководство / Титце У., Шенк К. -М.: Мир-1983.- 512 с.

20. Maxwell active cell voltage management electronics// maxwell.com: Document #1011130 | Revision 1.0, February 17, 2007. URL:

21. Пат. 2488198 Российская Федерация, МПК Н01М10/00 / Галушко, А. И., Гром, Ю. И., Лазарев, А. Н., Салихов, Р. С. Стабилизированный комбинированный источник электропитания; заявитель и патентообладатель ОАО «Научно-исследовательский институт электромеханики». – № 2012121375/07; заявл. 23.05.2012. – 3 с.

22. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимат производственных помещений.

23. ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.

24. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.

25. СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы.

26. СН 2.2.4/2.1.8.583-96 Инфразвук на рабочих местах, в жилых и общественных помещениях и на территории жилой застройки.

27. СН 2.2.4/2.1.8.582-96 Гигиенические требования при работах с источниками воздушного и контактного ультразвука промышленного, медицинского и бытового назначения.

28. ГОСТ 12.1.012-2004 ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования.

29. СН 2.2.4/2.1.8.566-96 Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. Санитарные нормы.

										Лист
Изм	Лист	№ Документа	Подпись	Дата	13.03.02.19.019.00.00 ПЗ					54

- 30. СП 52.13330.2011 Естественное и искусственное освещение.
- 31. Правила устройства электроустановок (Издание седьмое).  
Госэнергонадзор Минэнерго России, 2003 г.
- 32. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.
- 33. ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования.
- 34. Порядок обучения по охране труда и проверки знаний требований охраны
- 35. Охрана труда работников организаций. Совместное постановление Министерства труда и социального развития РФ № 1 и Министерства образования от 13.01.2003 № 29.
- 36. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. Госэнергонадзор Минэнерго России, Энергосервис. 2003 г.
- 37. ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
- 38. НПБ 105-03 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
- 39. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования.
- 40. ГОСТ 12.1.010-76 ССБТ. Взрывобезопасность. Общие требования.

					13.03.02.19.019.00.00 ПЗ	Лист
Изм	Лист	№ Документа	Подпись	Дата		55