

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет»
(национальный исследовательский университет)
Политехнический институт
Факультет Энергетический
Кафедра «Электрические станции, сети и системы электроснабжения»

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

Рецензент, начальник лаборатории
Релейной защиты и высоковольтных испытаний
АО ЭСК ЧТПЗ

_____/Р.Р.Хакимьянов/

« ____ » _____ 20 ____ г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой, д.т.н., профессор

_____/И.М. Кирпичникова /

« ____ » _____ 20 ____ г.

Разработка устройства интеллектуальной защиты участка
электросети

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ НАУЧНАЯ РАБОТА
ЮУрГУ – 13.04.02. 2018.309-05-298. ВКР

Руководитель, должность

_____/В.С. Павлюков /

« ____ » _____ 20 ____ г.

Автор

студент группы П-281

_____/Н.И. Ежиков /

« ____ » _____ 20 ____ г.

Нормоконтролер, должность

_____/К.Е. Горшков /

« ____ » _____ 20 ____ г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(национальный исследовательский университет)

Институт Политехнический
Факультет Энергетический
Кафедра Электрические станции, сети и системы электроснабжения
Направление Электроэнергетика и электротехника

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ /И.М. Кирпичникова/
_____ 2018 г.

ЗАДАНИЕ

на выпускную квалификационную научную работу студента

Ежикова Никиты Игоревича

Группа П-281

1. Тема выпускной квалификационной работы

Разработка устройства интеллектуальной защиты участка электросети

утверждена приказом по университету от 04.04.2018 №580.

2. Срок сдачи студентом законченной работы 20.06.2018.

3. Исходные данные к работе

Микроконтроллер Arduino Nano V3. Руководство по эксплуатации.

Описание защит для напряжения класса 0.4кВ

4. Содержание расчетно-пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов)

1) Обзор применяемых защит для класса напряжения 0.4кВ.

2) Разработка алгоритмов защит для класса напряжения 0.4кВ.

3) Разработка алгоритмов автоматической коррекции уставок защит.

4) Обзор доступных датчиков тока и напряжения.

5) Выбор микроконтроллера и датчиков

- 6) Разработка корпуса устройства, удовлетворяющего стандартам IP57 и IK07
 7) Разработка общей схемы устройства
 5. Перечень графического материала
 Презентация PowerPoint.
 6. Консультанты по работе, с указанием относящихся к ним разделов работы

Раздел	Консультант	Подпись, дата	
		Задание выдал (консультант)	Задание принял (студент)

7. Дата выдачи задания 1.02.2018

Руководитель _____
 (подпись)

Задание принял к исполнению _____
 (подпись студента)

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Наименование этапов выпускной квалификационной работы	Срок выполнения этапов работы	Отметка о выполнении руководителя
Анализ исходных данных, постановка цели и задач	15.02.18	
Анализ принципа работы защит 0,4 кВ	20.02.18	
Разработка алгоритмов защит	1.03.18	
Разработка алгоритмов подстройки уставок	1.04.18	
Разработка общей схемы устройства	15.04.18	
Выбор датчиков, управляющего и коммутационного оборудования	15.05.18	
Оформление пояснительной записки	15.06.18	
Подготовка презентации	20.06.2018	

Заведующий кафедрой _____ /И.М. Кирпичникова/
 Руководитель работы _____ / _____ /
 Студент _____ / _____ /

Аннотация

Ежиков Н.И. – Разработка устройства интеллектуальной защиты участка электросети– Челябинск: ЮУрГУ, П - 281, 2018 г., стр. 36, илл. 22, Список литературы – 7 наименований.

В данной работе рассмотрены основные виды защит 0.4кВ, разработаны алгоритмы работы данных защит для применения в микропроцессорных терминалах защит и разработаны алгоритмы автоматического изменения уставок защит для более точной защиты участка электросети. Были изучены и выбраны датчики тока и напряжения, разработан корпус и общая схема устройства с учетом электромагнитной совместимости и стандартов прочности и пыле- и влагозащиты.

					<i>13.04.02. 2018.309-05-298 ПЗ ВКР</i>		
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>			
<i>Разраб.</i>	<i>Ежиков Н.И.</i>				<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>	<i>Павлюков В.С.</i>				4	36	
<i>Реценз.</i>					ЮУрГУ		
<i>Н. Контр.</i>	<i>Горшков К.Е.</i>						
<i>Утверд.</i>	<i>Кирпичникова</i>						

Оглавление

Введение	6
1. Разработка алгоритмов защиты	8
1.1 Защита от длительной перегрузки.	8
1.2 Выявление длительной перегрузки.....	9
1.3 Выявление искрения.	11
1.4 Защита от повышения и понижения напряжения.....	12
1.5 Разработка алгоритма автоматической подстройки уставок.	13
1.5.1 Выбор номинального тока и корректировка времятоковой характеристики. .	13
1.5.2 Обнаружение неисправности изоляции.....	14
Выводы по главе 1	15
2. Разработка общей схемы устройства. Выбор датчиков и прочих элементов.....	16
2.1 Силовая часть разрабатываемого устройства.	16
2.1.1 Устройство управления контактором.	17
2.2 Выбор микроконтроллера.	18
2.2.1 Arduino Nano.....	19
2.2.2 Raspberry Pi.....	19
2.2.3 NodeMCU	20
2.2 Выбор датчика тока.	21
2.3 Выбор датчика напряжения.	24
2.4 Схема питания.....	26
2.5 Дополнительная защита.	27
Выводы по главе 2.	28
3. Разработка корпуса и схемы устройства.	29
3.1 Требования к корпусу. Компьютерная модель.....	29
3.2 Изготовление корпуса.	30
3.3 Схема устройства.	31
Выводы по главе 3	33
Заключение.....	34
Библиографический список.....	35

					ПЗ 13.04.02. 2018.309-05-298 ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

Введение

На сегодняшний день абсолютное большинство потребителей в сетях класса 0,4кВ имеют защиту только от длительного перегруза сети и от короткого замыкания на линии в виде автоматических выключателей. Также иногда установлены устройства защитного отключения для безопасности при случайном прикосновении человека либо утечке тока на заземленный корпус, что в некоторых случаях позволяет избежать пожароопасных ситуаций, и реле контроля напряжения, защищающие от сильных перепадов напряжения или от так называемого отгорания нулевого провода, из-за чего вместо фазы и нуля к потребителю приходит две фазы.

Под абсолютным большинством подразумеваются такие потребители как частные дома, квартиры и производственные помещения.

Крайне важно отметить тот факт, что ПУЭ регламентирует защиту данных сетей только от длительных перегрузок и коротких замыканий добавляя устройства защитного отключения для жилых помещений и некоторых других случаев никак не отмечая необходимость установки реле контроля напряжения или ограничителей перенапряжения, что особенно важно в домах, подключенных через воздушные линии электропередач.

Целью работы является разработка прототипа устройства защиты участка электросети с возможностью автоматической подстройки.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

- 1) Разработать алгоритмы работы защит от длительной перегрузки, низкого и высокого напряжения, дребезга контактов в сети.
- 2) Разработать алгоритм автоматической подстройки уставок защит под защищаемый участок сети.

					<i>ПЗ 13.04.02. 2018.309-05-298 ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		6

- 3) Разработать общую схему устройства с учетом защиты от пропадания питающего напряжения.
- 4) Выбрать датчики, устройства коммутации и аварийного отключения.
- 5) Разработать вариант корпуса устройства.

					<i>ПЗ 13.04.02. 2018.309-05-298 ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		7

1. Разработка алгоритмов защиты

1.1 Защита от длительной перегрузки.

Под **перегрузкой** электросети понимают такой режим работы электросети, при котором протекающий в ней ток превышает пропускную способность проводов.

Различают длительную перегрузку и кратковременную.

Длительная перегрузка происходит тогда, когда какой-либо потребитель в сети потребляет гораздо больше электроэнергии, чем на это рассчитана сеть.

Кратковременная перегрузка может произойти в момент включения или выключения относительно мощного потребителя и обуславливается по большей части переходными процессами.

Причины возникновения перегрузки:

- Повреждение изоляции питающих проводов;
- Поломка подключенных устройств;
- Подключение слишком мощных потребителей или слишком большого их количества;
- Наложение факторов и условий в совокупности приведших к повышению значений протекаемых в сети токов (подключение мощных стабилизаторов при предельно низком напряжении и т.п.);

Опасные последствия перегрузки:

- Ухудшение состояния изоляции проводов;
- Перегрев мест неизолированных соединений (втычные, болтовые) и, как следствие, повышенная их коррозия и потеря физических свойств;
- Возникновение пожароопасной ситуации ввиду повышенного нагрева проводов.
- Отгорание нулевого провода.

Таким образом крайне важно вовремя отследить и устранить длительную перегрузку в электросети. Кратковременная перегрузка, как правило, для сети не опасна.

					<i>ПЗ 13.04.02. 2018.309-05-298 ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		8

1.2 Выявление длительной перегрузки.

На сегодняшний день длительная перегрузка отсекается при помощи тепловой защиты автоматических выключателей, поэтому за основу для разработки мы возьмем времятоковую характеристику автоматического выключателя типа С, рис. 1.

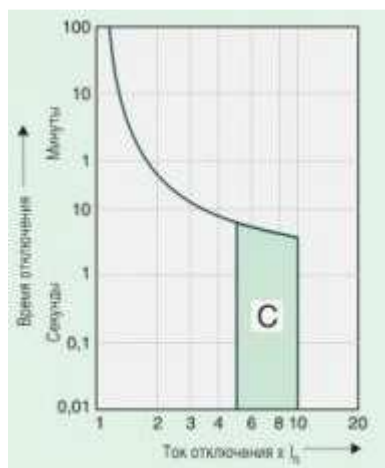


Рисунок 1. Времятоковая характеристика типа С

Для реализации в устройстве данная времятоковая характеристика была преобразована из плавной в ступенчатую, рис. 2.

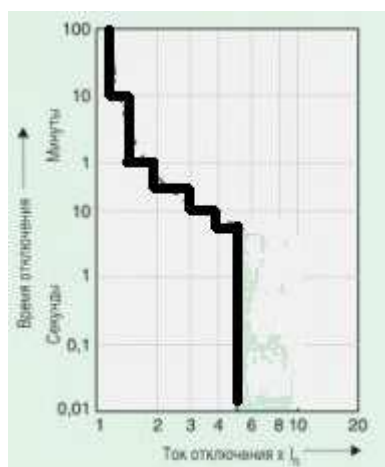


Рисунок 2. Приведенная к ступенчатому виду времятоковая характеристика

Так как в дальнейшем уставка тока будет не константой, был написан алгоритм работы защиты от длительной перегрузки. Блок-схема данного алгоритма в упрощенном виде представлена на рис. 3. При включении таймера каждые 0,5с проверяется значение тока. Если оно не соответствует

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

данной ступени, то таймер этой ступени отключается, при этой значение таймера предыдущей ступени уменьшается на значение $X*10$, $X*6$ и $X*2$ для первых трех таймеров соответственно. Таким образом исключается длительное срабатывание при пограничном между ступенями значении тока.

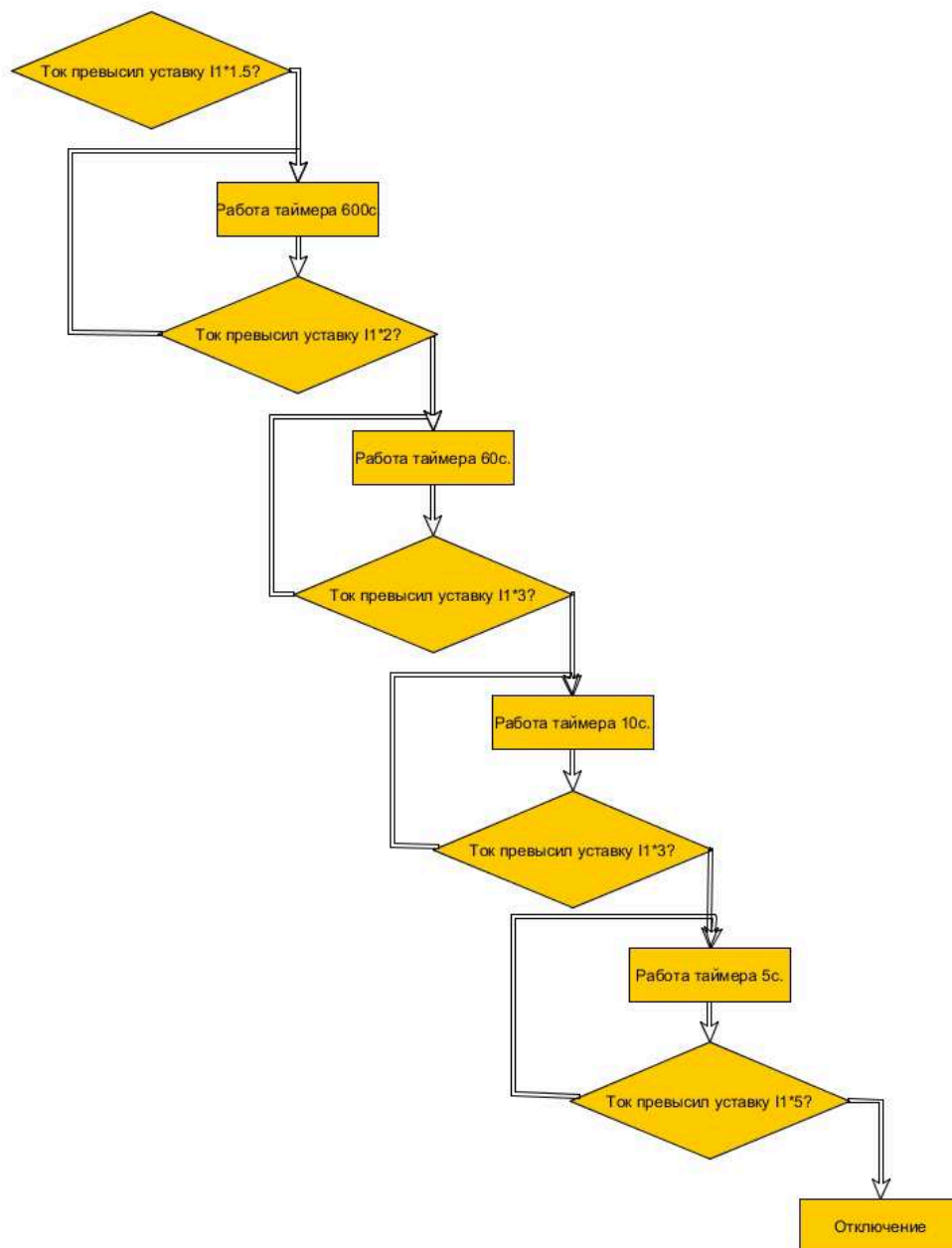


Рисунок 3. Упрощенная блок-схема работы защиты от перегруза

1.3 Выявление искрения.

Как известно, дребезг контактов является постоянным спутником любой электросети, в которой есть те или иные разъемные контактные соединения. При плохом состоянии контактов дребезг может перерасти в искрение, крайне опасное с точки зрения пожароопасности. С физической точки зрения искрение крайне похоже на кратковременный дуговой разряд, таким образом при возникновении искрения в сети появляется высокочастотная составляющая тока и напряжения. Однако при анализе напряжения будет анализироваться вся сеть, в то время как при анализе тока обеспечивается селективность, и анализироваться будет только защищаемый участок. При многократном повторении возникновения ВЧ составляющей на протяжении короткого периода времени необходимо сигнализировать о возникновении искрения в сети и произвести отключение. Данную степень защиты необходимо сильно загрублять или отключать при защите мощных двигателей или генераторных систем, так как щетки электродвигателей вызывают искрение на роторе во время своей работы. Блок-схема работы защиты от искрения показана на рис. 4.

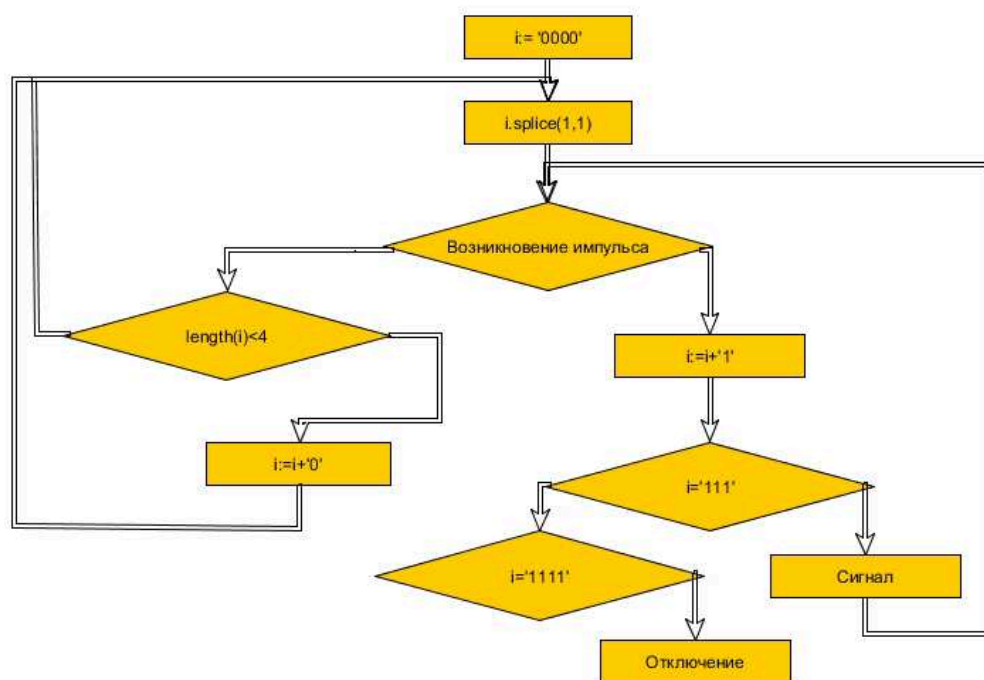


Рисунок 4. Блок-схема модуля защиты от искрения

1.4 Защита от повышения и понижения напряжения.

Согласно ГОСТ 29322-2014 (IEC 60038:2009) уровень напряжения в бытовой сети должен составлять 230/400В для одно- и трехфазных схем. Допускается отклонение до 10%, то есть уровень напряжения должен быть в диапазоне 207-253В и 360-440В. Особенно опасным считается повышение напряжения, так как может произойти пробой изоляции. Понижение уровня напряжения опасно повышением протекаемого тока при использовании блоков питания постоянной мощности. На рис. 5 показана блок-схема работы защиты от повышения и понижения напряжения с автоматическим включением после восстановления и запретом повторного автоматического включения. Необходимо заметить что при реализации данного алгоритма должна быть возможность выбора нижней границы напряжения, так как возможна эксплуатация прибора в сетях пониженного напряжения.

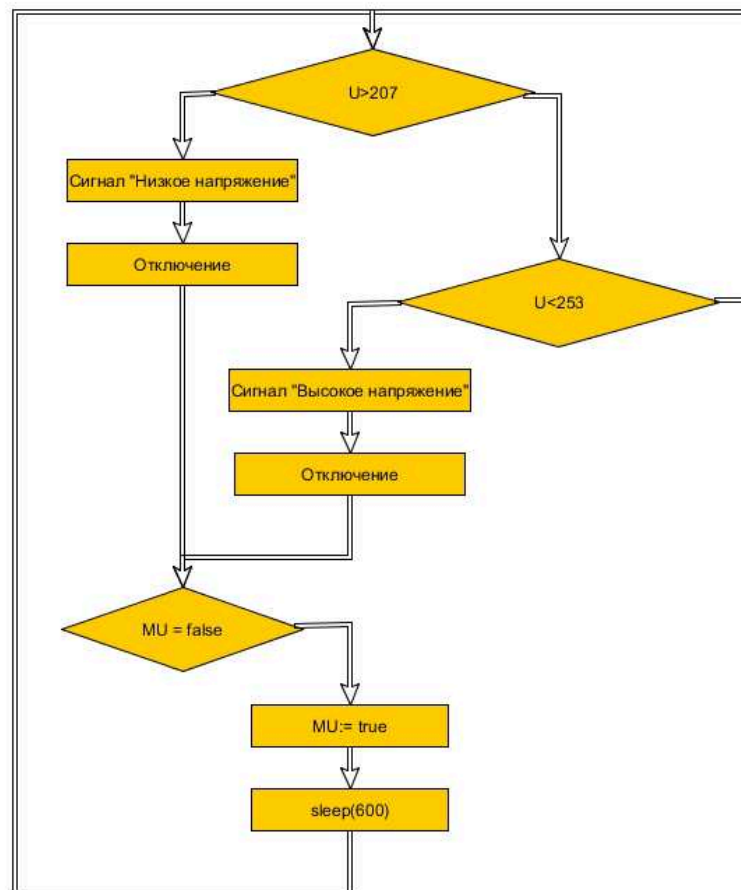


Рисунок 5. Блок-схема алгоритма работы защиты от повышения и понижения напряжения.

1.5 Разработка алгоритма автоматической подстройки уставок.

При первоначальной проектировке объекта обычно делается расчет нагрузки на электросеть, на основе которого выбираются номиналы автоматических выключателей каждой линии. При этом не учитывается тот факт, что при модернизации объекта нагрузки могут вырасти или же наоборот снизиться. Таким образом при наращивании мощностей необходимо делать перерасчет уставок и менять защитное оборудование, что может привести к значительным финансовым затратам. Если же пропустить данный пункт, то скорее всего будет некорректная защита электросети, что приведет к повышенной вероятности возникновения аварийной ситуации.

1.5.1 Выбор номинального тока и корректировка времятоковой характеристики.

В пункте 1.2 была представлена защита от перегрузки. Можно заметить что алгоритм работы данной защиты отталкивается от значения номинального тока. При первой установке прибора номинальный ток приравнивается к максимальному возможному току на данном участке электросети, то есть к номинальному току вводного автоматического выключателя. В данной ситуации терминальная защита от перегрузки не работает, так как перекрывается защитой от перегрузки на вводном автоматическом выключателе, работают только защиты от искрения и опасного изменения питающего напряжения.

Согласно времятоковой характеристике С, срабатывание от перегруза должно начинаться при токе от $I_{ном} * 1,35A$. На протяжении длительного времени необходимо анализировать протекаемый ток с целью выяснения максимального значения тока, протекающего более 10 минут, более 1 минуты, более 10 секунд и более пяти секунд. После данного анализа будет сформирована индивидуальная времятоковая характеристика, позволяющая наиболее точно защитить участок электросети. При этом необходимо учесть

					<i>ПЗ 13.04.02. 2018.309-05-298 ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		13

тот момент, что в момент обучения продолжает работать тепловая защита от перегруза, следовательно получившаяся времятоковая характеристика не может быть выше времятоковой характеристики С на графике на рис. 2. За Ином будет принят ток, обнаруженный на первом этапе, разделенный на 1,35.

1.5.2 Обнаружение неисправности изоляции.

Во время анализа, описанного в предыдущем пункте так же проводится анализ минимального тока в сети. В дальнейшем при длительном превышении минимального тока необходимо сигнализировать об этом пользователю устройства. При отсутствии реакции пользователя новое значение следует считать нормальным. Данный пункт позволит обнаружить длительное замыкание через какое-либо сопротивление, например каплю грязи на месте повреждения изоляции проводов.

Следует заметить что данный метод не подходит для полноценного анализа изоляции проводов и служит запасным вариантом для обнаружения развивающегося пожара проводки. Также необходимо соблюдать условие, что минимальное значение тока не должно равняться нулю.

					<i>ПЗ 13.04.02. 2018.309-05-298 ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		14

Выводы по главе 1

В данной главе были разработаны и адаптированы под микропроцессорный терминал алгоритмы работы основных защит, таких как длительная перегрузка, повышение и понижение напряжения и искрение в сети с возможностью частичной коррекции уставок.

Также были представлены принципы работы систем с автоматически изменяющимися параметрами для обеспечения более точного определения аварийных ситуаций.

					ПЗ 13.04.02. 2018.309-05-298 ВКР	Лист
						15
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

2. Разработка общей схемы устройства. Выбор датчиков и прочих элементов.

При разработке микропроцессорного терминала защит с возможностью силовой коммутации следует учитывать необходимость гальванической развязки между управляющей и коммутируемой (силовой) частями устройства. Также необходимо обеспечить работу устройства при пропадании питающего напряжения из-за аварии или из-за работы защит.

При проектировании современных электронных устройств принято использовать принцип модульности устройства, что позволяет в кратчайшие сроки определить и устранить неисправность внутри устройства путем простой замены отдельного блока.

2.1 Силовая часть разрабатываемого устройства.

Для коммутации высоких токов необходимо использовать специальные устройства, имеющие малое время срабатывания, уменьшенный дребезг силовых контактов и специальные элементы, предназначенные для гашения возникающего при размыкании цепи дугового разряда.

Наиболее распространенными элементами силовой коммутации являются автоматические выключатели и электромагнитные контакторы. Их отличает малое время срабатывания, усиленные контактов, наличие искро- и дугогасящих элементов и повышенный ресурс работы.

Для основной коммутации разрабатываемого устройства был выбран электромагнитный контактор с возможностью коммутации токов величиной до 40А. Для уменьшения количества преобразователей напряжения в устройстве была выбрана модель контактора, управляемая напряжением 220В, что является напряжением питающей сети. Оптимальным с точки зрения поставленных задач является контактор ЕКР km-2-40-20 (рис. 6), имеющий 2 нормально разомкнутых контакта управляемых катушкой напряжением 230В.

					<i>ПЗ 13.04.02. 2018.309-05-298 ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		16



Рисунок 6. Контактор EKF km-2-40-20

Основным предназначением контактора в схеме разрабатываемого устройства является коммутация рабочих токов и токов перегрузки. Для размыкания тока короткого замыкания необходимо использовать автоматический выключатель. Был выбран двухполюсный автоматический выключатель ABB BMS412C40, с времятоковой характеристикой C и отключающей способностью 4,5кА (рис. 7).



Рисунок 7. двухполюсный автоматический выключатель ABB BMS412C40

2.1.1 Устройство управления контактором.

Для управления выбранным контактором необходимо подавать на управляющую катушку напряжение 230В для замыкания контактов. При пропадании напряжения контакты автоматически разомкнутся. Согласно

					ПЗ 13.04.02. 2018.309-05-298 ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

паспортным данным, потребляемая мощность катушки составляет не более 5Вт, значит возможно использование слаботочных реле, управляемых микроконтроллером.

Для реализации данного управления был выбран готовый двухканальный модуль на основе реле SRD-05VDC-SL-C, позволяющий коммутировать ток величиной до 10А при напряжении до 250В, управляемый постоянным напряжением 5В (рис. 8). Данный модуль примечателен также тем, что имеет полную гальваническую развязку с управляющим микрокомпьютером посредством оптрона.

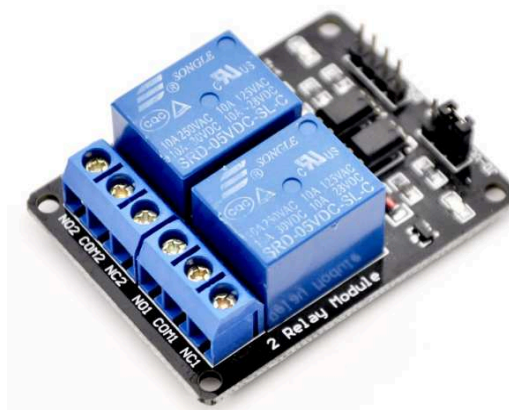


Рисунок 8. Двухканальный релейный модуль на основе реле SRD-05VDC-SL-C

2.2 Выбор микроконтроллера.

Микроконтроллер — микросхема, предназначенная для управления электронными устройствами. Классический микроконтроллер сочетает на одном кристалле сам процессор, ОЗУ, ПЗУ и некоторые периферийные устройства, например преобразователь напряжения или модули беспроводной связи. В промышленности микроконтроллеры зачастую используются для создания различных устройств автоматики.

Программирование микроконтроллеров чаще всего осуществляется при помощи языка C++. Помимо этого языка программирования также используются Fort, Basic и различные интерпретаторы. Преимущество заключается в простоте использования данных языков, как наиболее простых как в логике, так и в синтаксисе.

					ПЗ 13.04.02. 2018.309-05-298 ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		18

Так же микроконтроллеры снабжены обилием портов для передачи сигнала, что практически сводит к нулю проблемы, связанные с передачей сигнала. Наиболее часто используемые интерфейсы: UART, I²C, SPI, CAN, USB, IEEE 1394, Ethernet.

Сегодня на рынке представлено более ста моделей микрокомпьютеров с различными характеристиками и архитектурами, что позволяет наиболее точно подобрать контроллер для разрабатываемого устройства. Рассмотрим наиболее распространенные из них.

2.2.1 Arduino Nano

Arduino Nano (рис. 9) является портативной версией популярного микрокомпьютера Arduino Uno. Как и прочие продукты серии Arduino, Nano предназначена для прототипирования различных устройств, но не предназначена для массового производства. В основе данного микрокомпьютера лежит микроконтроллер Atmel ATmega328 с тактовой частотой 16МГц и 1Кб ОЗУ. Напряжение питания микроконтроллера составляет от 5 до 20В и имеется 14 цифровых и 8 аналоговых входов/выходов.



Рисунок 9. микрокомпьютер Arduino Nano

2.2.2 Raspberry Pi

Raspberry Pi (рис. 10) также является одноплатным микрокомпьютером, однако гораздо большей мощности и предназначенный уже не только для прототипирования, но и для промышленного производства. Сердцем данного микрокомпьютера служит процессор на базе ARM Cortex-A53 x64 с частотой до 1,4ГГц и поддерживающий до 1Гб ОЗУ. Также данный микрокомпьютер имеет до 40 портов ввода/вывода, что

позволяет собирать на его базе насыщенные различными датчиками устройства. Питающим напряжением является постоянное напряжение в 9-15В.

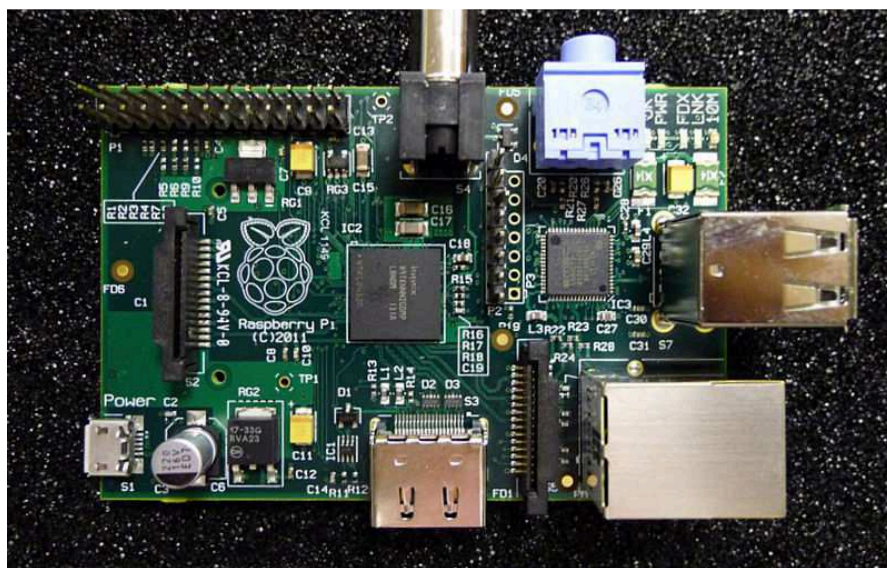


Рисунок 10. Микрокомпьютер Raspberry Pi

2.2.3 NodeMCU

Микрокомпьютер NodeMCU (рис. 11) является частично аналогом микрокомпьютера Arduino с тем отличием, что основой является микроконтроллер ESP8266 с возможностью работы с сетями Wi-Fi, языком программирования которого является скриптовый объектно-ориентированный язык программирования Lua. Преимуществом данного микрокомпьютера является возможность его использования в промышленном производстве, так как в него встроен аппаратный сторожевой таймер, позволяющий автоматически перезагружать микрокомпьютер при зависании.

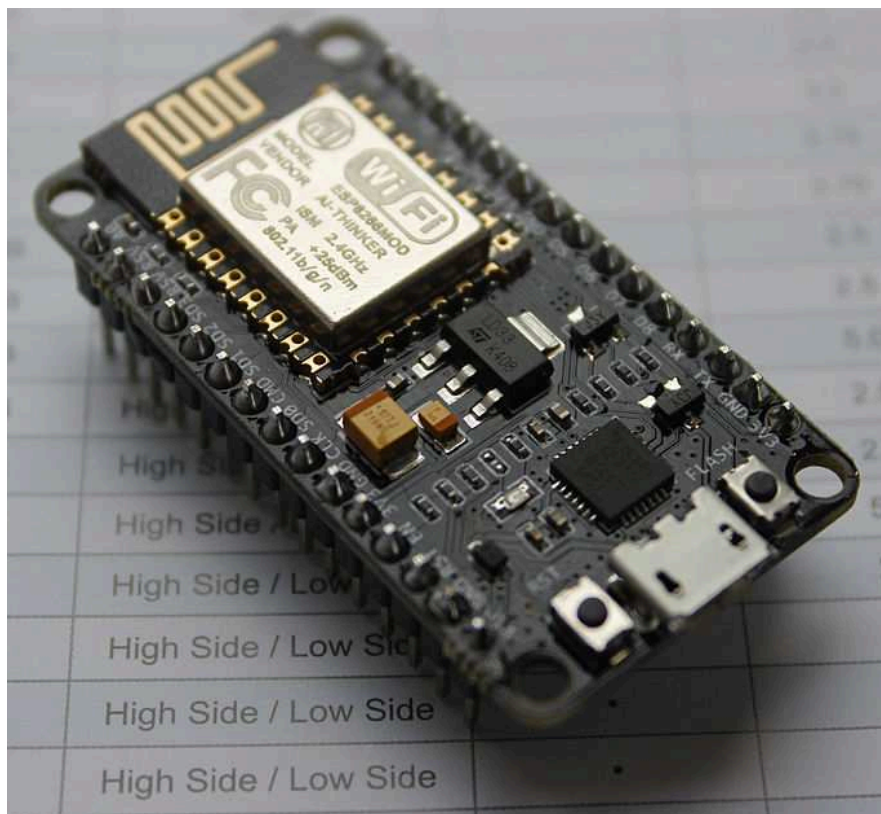


Рисунок 11. Микрокомпьютер NodeMCU Lua V3

Для первоначальной разработки был выбран микрокомпьютер Arduino Nano (п. 2.2.1), как подходящий по всем параметрам, однако в дальнейшем имеет смысл использовать микрокомпьютер NodeMCU Lua V3 для большей надежности и возможности гибкого общения с пользователем.

2.2 Выбор датчика тока.

Датчик тока – устройство, преобразующее значение протекающего в измеряемой цепи тока в напряжение или в ток меньшего значения для измерения.

Датчиками тока являются:

- Измерительный трансформатор тока
- Датчики на основе эффекта Холла
- Катушка Роговского
- Измерительный шунт

Рассмотрим каждый из датчиков отдельно.

Измерительный трансформатор тока (рис. 12) – трансформатор, первичная обмотка которого подключается к источнику тока, а вторичная замыкается на измерительные приборы или устройства автоматики. Трансформаторы тока зачастую используются для измерения токов в силовых цепях, зачастую с высоким потенциалом. Основная проблема трансформаторов тока заключается в крайне ограниченном диапазоне частот и в том, что при помощи трансформатора тока можно измерять ток только при переменном напряжении. Также недостатком является тот момент, что вторичная обмотка трансформатора всегда должна быть нагружена, иначе на ней может возникнуть опасный для жизни человека или для оборудования потенциал.



Рисунок 12. Измерительный трансформатор тока

Частным случаем трансформатора тока является воздушный трансформатор, он же катушка Роговского (рис. 13). По сути это тот же трансформатор, только без сердечника. Преимуществом катушки Роговского является возможность измерения крайне высоких токов при практически любой частоте, однако при этом страдает точность измерений.



Рисунок 13. Катушка Роговского

Самым простым и самым точным способом измерения тока является токовый шунт (рис. 14). Как известно, при протекании тока через активное сопротивление, на нем происходит падение напряжения, пропорциональное измеряемому току, соответственно измеряя разность потенциалов можно рассчитать значение протекаемого тока по формуле $U_{ш} = I * R_{ш}$. Абсолютное большинство токовых шунтов откалибровано на напряжение 75 мВ при номинальном токе. Недостатком данного способа измерения является небольшой диапазон токов и отсутствие гальванической развязки.



Рисунок 14. Измерительный шунт

Особый интерес представляют датчики тока, основанные на эффекте Холла (рис. 15). Эффект Холла – эффект возникновения разности потенциалов при помещении проводника с током в магнитное поле. Преимуществами данных датчиков являются: наличие гальванической

развязки, широкий диапазон измеряемых токов, возможность измерения токов любой частоты, в том числе и постоянного тока. Также важно отметить малый размер подобных датчиков. К недостаткам датчиков Холла следует отнести нелинейность и высокую стоимость.

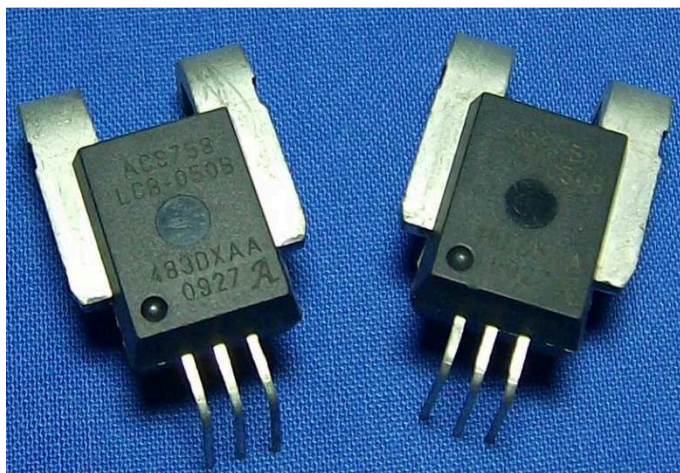


Рисунок 15. Датчик Холла

Для использования в разрабатываемом устройстве были выбраны датчики Холла по причине необходимости получения информации о высокочастотных составляющих протекающего тока для обнаружения искрения в сети.

2.3 Выбор датчика напряжения.

Для определения повышения или понижения напряжения сети необходимо использовать датчики напряжения. Наиболее распространены такие датчики, как измерительный трансформатор напряжения, емкостный датчик напряжения, резистивный делитель напряжения и электронные изолированные датчики.

Емкостные датчики напряжения основаны на принципе изменения емкости внутреннего конденсатора при изменении разности потенциалов на выводах датчика. Данные датчики нашли свое применение по большей части в высоковольтных сетях.

Резистивный делитель напряжения является самым простым способом измерения напряжения в сети, по сути это просто точный резистор. Схема резистивного делителя напряжения показана на рис. 16. Для определения напряжения в сети нам достаточно умножить измеренное напряжение на коэффициент делителя.

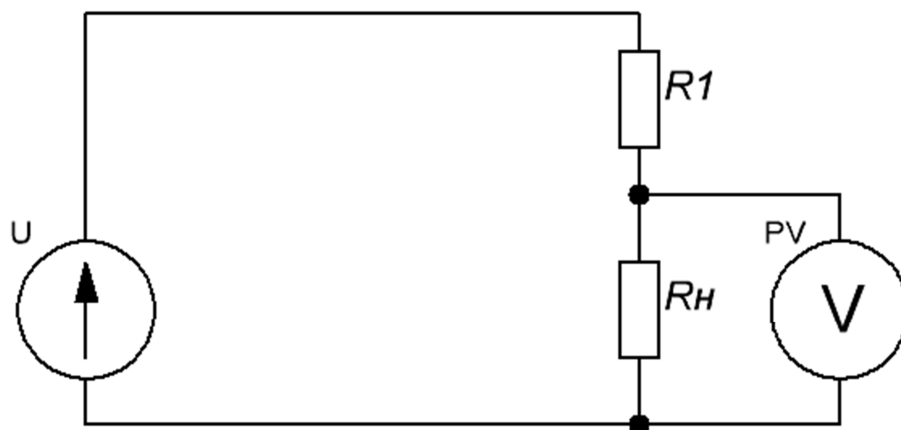


Рисунок 16. Схема подключения резистивного делителя напряжения.

Очевидным недостатком данного способа является отсутствие гальванической развязки между измеряемой сетью и измерительным прибором. Продвинутом вариантом резистивного делителя является электронный изолированный датчик. По сути дела это тот же делитель, развязанный с цепями измерения при помощи оптронов. Недостатком электронного изолированного датчика является крайне высокая стоимость и сложная схемотехника, а также необходимость передачи аналогового сигнала через оптическую развязку, что приводит к снижению точности.

Наиболее популярным на сегодняшний день является измерение напряжения при помощи измерительных трансформаторов напряжения (рис. 17). Трансформаторы напряжения обеспечивают достаточную точность измерений на необходимом диапазоне частот. Само собой трансформатор напряжения обеспечивает гальваническую развязку.



Рисунок 17. Датчик напряжения на базе трансформатора напряжения ZMPT101B

Для использования в разрабатываемом устройстве был выбран датчик напряжения на базе трансформатора напряжения по причине наличия развязки и невысокой стоимости.

2.4 Схема питания.

Для питания микрокомпьютера и всей периферии необходимы 5В и 3.3В постоянного напряжения. Напряжение в 3.3В возможно получить при помощи используемого микрокомпьютера Arduino Nano. Для получения 5В будет использован импульсный преобразователь напряжения как на рис. 18.

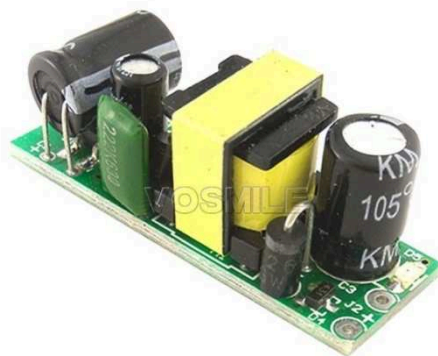


Рисунок 18. Импульсный преобразователь напряжения 220VAC-5VDC

					ПЗ 13.04.02. 2018.309-05-298 ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

Для обеспечения бесперебойной работы при отключении питания после преобразователя будет установлена аккумуляторная батарея формата 18650 с зарядным модулем, работающим от 5В и повышающим преобразователем напряжения.

2.5 Дополнительная защита.

Несмотря на крайне малую вероятность возникновения в цепи 220В импульса перенапряжения, такая вероятность существует, особенно в цепях потребителя, подключенного через воздушную линию электропередач.

Наиболее популярным способом устранения данной опасности является установка нелинейных ограничителей перенапряжения (ОПН). Примером ОПН является варистор (рис. 19). При превышении номинального напряжения варистора происходит лавинообразный пробой полупроводника внутри и, как следствие, полупроводник становится проводником. По окончании волны перенапряжения варистор восстанавливает свое сопротивление и становится в какой-то мере диэлектриком.



Рисунок 19. Варистор номинальным напряжением 300В

Устанавливается варистор между фазой и заземляющим проводом. Таким образом при возникновении перенапряжения варистор станет проводником и вся волна перенапряжения уйдет в землю.

					ПЗ 13.04.02. 2018.309-05-298 ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

Выводы по главе 2.

В данной главе были рассмотрены различные виды датчиков и микроконтроллеров. Были выбраны оптимальные варианты для разработки прототипа устройства. Необходимо отметить тот факт, что выбранные датчики и контроллеры могут не подойти для промышленного использования по причинам слабой изоляции или защищенности от электромагнитных помех.

Также была разработана схема питания устройства, обеспечивающая работоспособность при пропаже напряжения.

					ПЗ 13.04.02. 2018.309-05-298 ВКР	Лист
						28
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

3. Разработка корпуса и схемы устройства.

3.1 Требования к корпусу. Компьютерная модель.

Согласно ГОСТ Р 50827-95 корпус разрабатываемого устройства должен соответствовать стандартам IP52 защиты от пыли и влаги и IK07 защиты от физических воздействий.

Для уменьшения влияния различных блоков устройства друг на друга, данные блоки были разделены по модулям.

Для разработки первичного корпуса устройства был выбран программный комплекс FreeCAD. Был разработан вариант корпуса, разделяющий силовую, управляющую и вычислительную части друг от друга с целью уменьшения влияния электромагнитных помех от различных элементов устройства друг на друга. 3D модель первичного варианта корпуса разрабатываемого устройства изображена на рис. 20

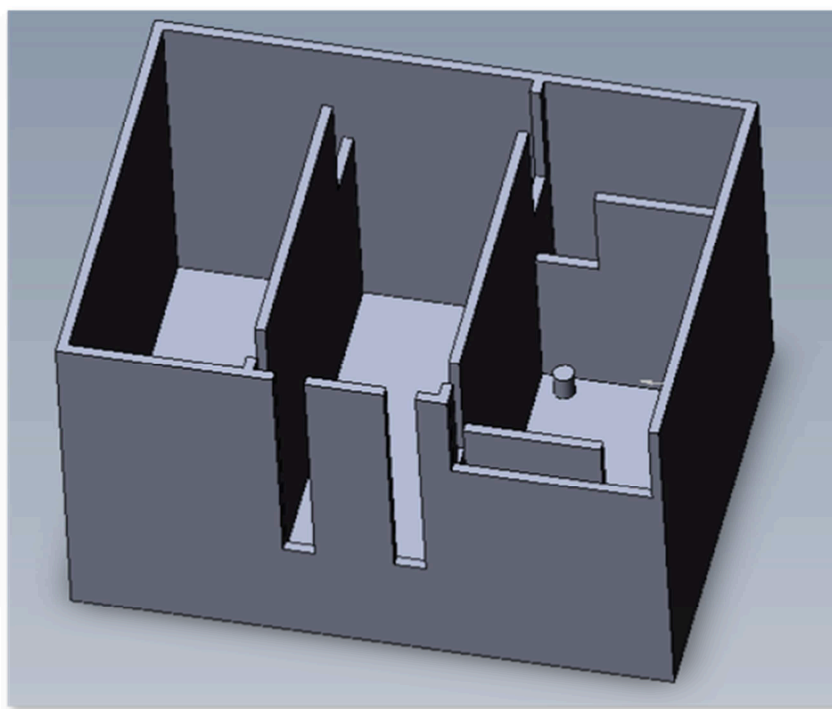


Рисунок 20. 3D модель разработанного корпуса.

Условно корпус можно разделить на три блока. По центру располагается отсек для автоматического выключателя. Справа расположен

отсек для электромагнитного контактора, который является отключающим элементом выполненных на микроконтроллере защит. Как можно заметить, на дне правого отсека предусмотрены элементы, дополнительно удерживающие контактор на своем месте. Отсек слева предназначен для размещения в нем управляющего и вычислительного блока и схемы питания электроники.

Для увеличения прочности толщина внутренних перегородок была увеличена в сравнении с внешними стенками.

3.2 Изготовление корпуса.

Для изготовления корпуса был выбран пластик типа ABS с 10% содержанием пластика типа PLA. Данная смесь является устойчивой к температурам до 280 градусов по шкале Цельсия, не разлагается при воздействии внешних факторов таких как пониженная влажность или воздействие ультрафиолета, и относительно проста в постобработке относительно таких пластиков как HIPS или чистый PLA.

Для изготовления корпуса была использована технология 3D печати методом послойного наплавления (рис. 21).

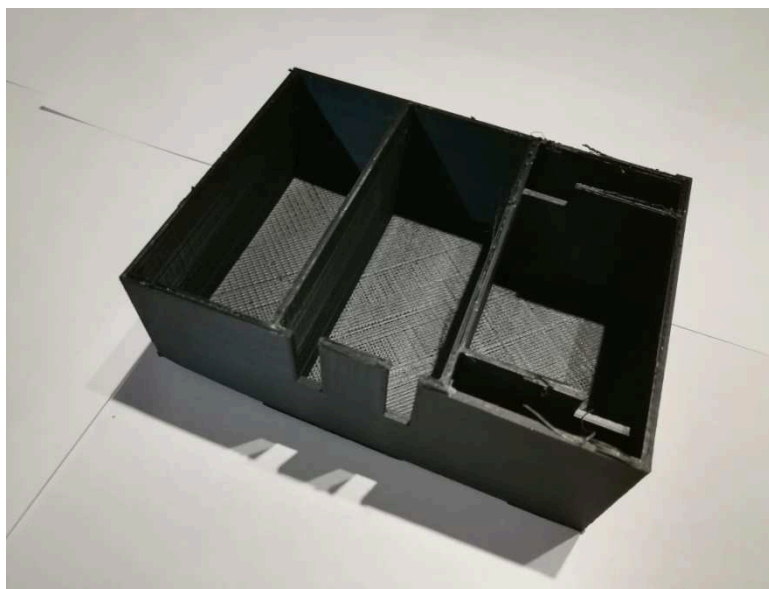


Рисунок 21. Изготовленный при помощи 3D печати корпус.

Изготовленный корпус удовлетворяет требованиям стандарта прочности IK07, однако для соответствия стандарту IP52 необходимо использовать силиконовые прокладки. Как можно заметить, внутри корпуса при изготовлении выполнены технологические отверстия для прокладки внутренних соединительных проводов.

3.3 Схема устройства.

На рис. 22 изображена схема силовой части разрабатываемого устройства с подключенными датчиками тока и напряжения. Для защиты контроллера от перенапряжений, возникающих во время аварий, датчики гальванически развязаны с микроконтроллером через оптопары.

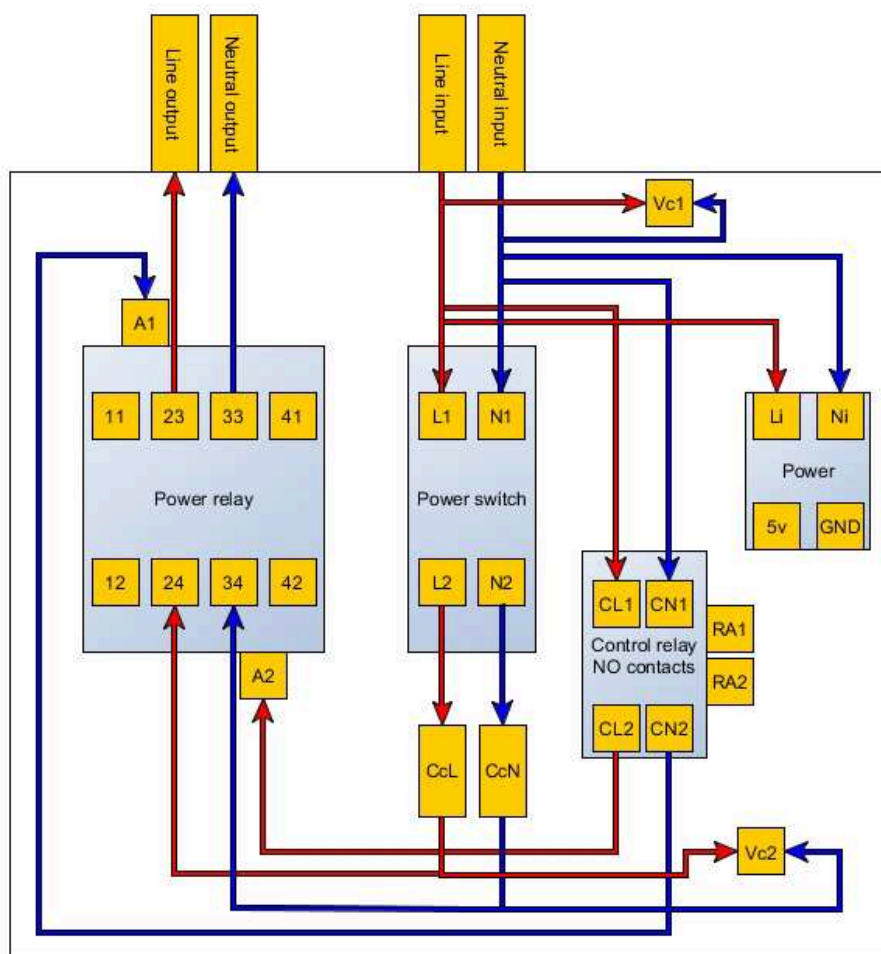


Рисунок 22. Принципиальная схема силовой части устройства.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

На данной схеме видно, что контроль напряжения (датчики Vc1 и Vc2) осуществляется на вводе в устройство и после автоматического выключателя (Power switch). Это сделано с целью определения состояния прибора, отключен он от сети или отключен при помощи автоматического выключателя, что в некоторых случаях может сообщать о внутренней аварии прибора. Контроль состояния размыкателя (Power relay) осуществляется при помощи двухканального слаботочного реле, которое управляется микроконтроллером. Питания микроконтроллера и периферии происходит из блока питания (Power).

Необходимо помнить, что при отсутствии питающего напряжения 230В отсутствует возможность управления размыкающего элемента, так как напряжение работы его катушек составляет 230В 50Гц.

Следует отметить что на приведенной выше схеме изображена компоновка прибора для однофазной схемы. В случае трехфазной схемы добавляются датчики напряжения между фазами, устанавливается трехфазный выключатель и размыкатель. Также в трехфазном исполнении добавляется контроль фаз, благодаря которому при перекосе фаз будет произведено отключение.

Для защиты участка сети прибор должен быть установлен после вводного автоматического выключателя непосредственно в начале защищаемого участка электросети. Прибор должен быть установлен в разрыв и фазного и нулевого провода, иначе прибор не включится. Собственная мощность разрабатываемого устройства составляет менее 10Вт в случае полного заряда батареи внутреннего источника питания и до 15Вт при заряде полностью разряженного резервного внутреннего источника питания.

					<i>ПЗ 13.04.02. 2018.309-05-298 ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		32

Выводы по главе 3

В данной главе были объявлены необходимые требования к корпусу устройства. Спроектирован и изготовлен корпус устройства с учетом электромагнитной защиты и с учетом технологических каналов для внутренних соединений.

Также была разработана общая схема устройства, позволяющая помимо основных защит определить внутреннюю аварию разрабатываемого прибора.

					ПЗ 13.04.02. 2018.309-05-298 ВКР	Лист
						33
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Заключение

Данная работа посвящена разработке сложного электронного устройства, предназначенного для увеличения надежности защищаемого участка электросети.

Для этих целей были изучены различные виды и типы датчиков и микроконтроллеров для выбора оптимальных для поставленной задачи.

Разработана общая схема прибора, позволяющая определить неисправность внутри самого устройства и сообщить об этом пользователю.

Также были изучены стандарты и требования к изготовлению корпусов сложных электротехнических устройств, благодаря чему был выбран материал корпуса и изготовлен сам корпус.

При разработке устройства защиты участка электросети были учтены возможные отказы и гарантировано отключение при возникновении аварии даже в случае полного выхода из строя всей электроники. Были разработаны алгоритмы автоматического уточнения уставок защит, позволяющие настроить прибор индивидуально под практически любую сеть.

Конструкция прибора предусматривает возможность относительно простой модернизации для защиты промышленных потребителей с другим характером нагрузки относительно бытового.

					ПЗ 13.04.02. 2018.309-05-298 ВКР	Лист
						34
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Библиографический список

- 1) Правила устройства электроустановок. – СПб.: Изд-во ДЕАН, 2011. – 928с
- 2) ГОСТ Р 50827-95 Корпуса для аппаратов, устанавливаемые в стационарные электрические установки бытового и аналогичного назначения. Общие требования и методы испытаний
- 3) <https://cdn.etm.ru/ipro/760/km.pdf>. - Каталогные данные электромагнитного контактора ЕКФ km-2-40-20
- 4) Электрический справочник в 3-х т. Т.2. Электротехнические устройства. Под общ. ред. проф. МЭИ В.Г. Герасимова, П.Г. Грудинского, Л.А. Жукова и др. – М.: Энергоиздат, 1981.- 640 с
- 5) <http://arduino.ru/Hardware/ArduinoBoardNano> - Каталогные данные Arduino Nano.
- 6) http://3dtoday.ru/wiki/FDM_materials/ - Обзор пластиков для 3D-принтера
- 7) Оперативные алгоритмы расчета потокораспределения в сложной ЭЭС. / Александров О.И., Бабкевич Г.Г. // Электрон. моделир. 1992.- 14, №6. - С.66-70.

					<i>ПЗ 13.04.02. 2018.309-05-298 ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		35