

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
«Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники»

*На правах рукописи*

УДК 621.316.9

ГЕРАСИМОВИЧ  
Константин Евгеньевич

**МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ АВТОМАТА ЗАЩИТЫ  
ОТ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ**

Диссертация  
на соискание степени магистра техники и технологии  
по специальности 1–39 81 01 Компьютерные технологии  
проектирования электронных систем

Научный руководитель  
канд. тех. наук, доцент  
**ЛИХАЧЕВСКИЙ**  
Дмитрий Викторович

Минск 2015

Работа выполнена на кафедре проектирования информационно-компьютерных систем учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Научный руководитель:

**Лихачевский Дмитрий Викторович**,  
кандидат технических наук, доцент, декан  
факультета компьютерного проектирования  
учреждения образования «Белорусский госу-  
дарственный университет информатики и ра-  
диоэлектроники»

Рецензент:

**Полубок Владислав Анатольевич**,  
кандидат технических наук, доцент, заведу-  
ющий кафедры МПСС института информа-  
ционных технологий учреждения образования  
«Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники»

Защита диссертации состоится «23» января 2015 г. года в 9<sup>50</sup> часов на заседа-  
нии Государственной комиссии по защите магистерских диссертаций в  
учреждении образования «Белорусский государственный университет ин-  
форматики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, г.Минск, ул. П.Бровки, 6,  
4 уч. корп., ауд. 415, тел.: 293-20-88, e-mail: [kafpiks@bsuir.by](mailto:kafpiks@bsuir.by).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования  
«Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектрони-  
ки».

## ВВЕДЕНИЕ

Перенапряжения представляют собой любые превышения напряжения относительно амплитуды наибольшего рабочего напряжения. Перенапряжения подразделяются на грозовые (атмосферные) и внутренние, и являются одной из наиболее частых причин выхода из строя элементов электрических сетей.

Нестабильность в электрической сети и случаи перенапряжения приводит к выходу из строя бытовые и промышленные приборы. Для недопущения подобных случаев использую средства защиты, а именно автомат защиты от перенапряжения.

До середины 80 – х годов основным средством защиты от перенапряжений в электрических сетях считались вентильные разрядники с искровыми промежутками и карбидокремниевыми рабочими сопротивлениями, разработанные в период 50 – 60 – х годов. Конструкция и принцип работы вентильных разрядников обуславливают их принципиальные недостатки.

Принципиальный переворот в области борьбы с перенапряжениями в сетях произошел в результате разработки высоконелинейных варисторов на основе окиси цинка. Высоконелинейный металлооксидный варистор представляет собой поликристаллическую структуру, состоящую из легированных кристаллов окиси цинка и полупроводящих барьеров между ними из окислов других металлов

Защитные аппараты, в которых используются металлооксидные варисторы, получили название нелинейных ограничителей перенапряжений, а за границей – разрядников без искровых промежутков. Ограничитель перенапряжения в настоящее время широко применяются в мировой практике для борьбы с грозовыми и внутренними перенапряжениями в электрических сетях всех классов напряжений и на ближайшие годы альтернативы не имеют.

Данная работа посвящена моделированию работы автомата защиты от перенапряжения в сети. Автомат защиты предназначен для отключения потребителей от электросети переменного тока, при установлении недопустимых значений напряжений.

Автомат позволяет защитить бытовую технику от скачков напряжения сети и повышенного напряжения, может быть установлен в любой щитовой и является полностью автоматизированной защитой от повышенного / пониженного напряжения.

Основное назначение прибора – защита бытовых и промышленных потребителей от аварийных значений напряжения в однофазной сети. Автомат защиты построен на микроконтроллере, который непрерывно измеряет напряжение в сети и в случае выхода его за допустимые пределы отключает нагрузку. По истечении установленного времени, после того как напряжение возвращается в норму, нагрузка снова подключается к сети.

Перенапряжения в сети – это результат аварии или избытка электроэнергии, связанного с ее неравномерным потреблением. Длительная работа при повышенном напряжении ускоряет расход ресурса аппаратуры, а значительное превышение нормального уровня напряжения приводит к выходу из строя и возможному возгоранию. Область применения автоматов защит в сетях с любым напряжением и любым режимом нейтрали. Наибольшее распространение защитное отключение получило в электроустановках, используемых в сетях напряжением до 1 кВ с заземленной или изолированной нейтралью.

Целью данной магистерской диссертации является моделирование процессов отключения автомата защиты от перенапряжения в сети.

Решение поставленных задач производилось с помощью математического моделирования на основе системы линейных алгебраических уравнений, составленных по законам Кирхгофа, математического моделирования на основе теории обыкновенных дифференциальных уравнений, и теоретические исследования.

## **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

### **Актуальность темы исследования**

Защита бытовых и промышленных потребителей от аварийных значений напряжения в однофазной сети важна для обеспечения бесперебойной работы оборудования и недопущения выхода его из строя. Использование современных автомат защиты обеспечит защиту линии при перегрузках и коротких замыканиях, а скорость срабатывания автомата минимизирует выход из строя оборудования.

### **Степень разработанности проблемы**

Проведенные исследования показали, что с внедрением микропроцессорных устройств релейной защиты значительно усиливаются требования к качеству питания и электромагнитной совместимости электроприемников и систем питания. Изменение состава электроприемников переменного тока приводит к необходимости пересмотра требований к устройствам защиты от перенапряжений. Современный уровень развития математических методов и вычислительной техники позволяет для решения указанной задачи использовать математическое моделирование процессов сопровождающихся перенапряжениями при отключении КЗ плавкими предохранителями.

### **Цель и задачи исследования**

Целью диссертации является моделирование процессов отключения автомата защиты от перенапряжения в электрической сети.

Для выполнения поставленной цели в работе были сформулированы следующие задачи:

- определить достоинства и недостатки автоматов защиты;

- определить существующие методы защиты от перенапряжения;
- выбор и построение математической модели срабатывания защиты от перенапряжения;
- проведение сравнительного анализа моделей в разных программных комплексах.

**Объектом** исследования является автомат защиты от перенапряжения в электрической сети.

**Предметом** исследования являются переходные процессы в автомате защиты, сопровождающиеся перенапряжением, с учетом влияния на них устройств защиты: диодов и варисторов.

**Область исследования.** Содержание диссертационной работы соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) специальности 1-39 81 01 «Компьютерные технологии проектирования электронных систем».

#### **Теоретическая и методологическая основа исследования**

Решение поставленных задач производилось с помощью математического моделирования на основе системы линейных алгебраических уравнений, составленных по законам Кирхгофа, математического моделирования на основе теории обыкновенных дифференциальных уравнений.

**Информационная база** исследования для сравнительного и результирующего анализа сформирована на основе научных разработок.

**Научная новизна** диссертационной работы заключается в разработке математической модели защиты от перенапряжения

#### **Основные положения, выносимые на защиту**

1. Методы защиты приборов от перенапряжения.
2. Результаты исследований эффективности автоматов защиты и области их применения.
3. Математическая модель защиты срабатывания защиты от перенапряжения.

**Теоретическая значимость** диссертации заключается в том, что в ней посвящена разработке рекомендаций по защите установок постоянного оперативного тока от перенапряжений. Представлена математическая модель, описывающая электромагнитных переходных процессов, сопровождающихся межполюсными перенапряжениями при отключении КЗ с помощью программного комплекса MatCAD и EMTP-RV.

**Практическая значимость** изложенных в диссертационной работе научных результаты состоят в построенной модели для исследований эффективности устройств защиты от перенапряжения и позволяют сделать выбор защитных аппаратов и устройств защиты от перенапряжения.

#### **Публикации**

Основные положения работы и результаты диссертации изложены в четырех опубликованных работах общим объемом 8,0 страниц (авторский объем 8,0 страниц).

**Структура и объем работы.** Структура диссертационной работы обусловлена целью, задачами и логикой исследования. Работа состоит из введения, трёх глав и заключения, библиографического списка и приложения. Общий объем диссертации – 68 страниц. Работа содержит 3 таблицы, 37 рисунков. Библиографический список включает 60 наименований.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** рассмотрено современное состояние проблем с возникновением перенапряжения в электрической сети, определены основные направления исследований, а также дается обоснование актуальности темы диссертационной работы.

В **общей характеристике работы** сформулированы ее цель и задачи, показана связь с научными программами и проектами, даны сведения об объекте исследования и обоснован его выбор, представлены положения, выносимые на защиту, приведены сведения о личном вкладе соискателя, опубликованность результатов диссертации, а также, структура и объем диссертации.

В **первой главе** рассматриваются методы защиты приборов от перенапряжения. Описаны характеристики и классификация автоматов защиты от перенапряжения. Уделено внимание особенностям работы автомата.

Во **второй главе** приведен анализ возможностей использования автоматов защиты и область их применения. Уделен вопрос варисторной защите от перенапряжения.

В **третьей главе** реализация математического моделирования проводилась в двух программных комплексах, в среде EMTP-RV и MathCAD.. Уделен вопрос сопоставлению результатов моделей.

В **приложении** приведен графический материал, в виде презентации.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данная работа посвящена разработке рекомендаций по защите установок постоянного оперативного тока от перенапряжений. Автомат защиты от перенапряжения предназначен для защиты бытовой и промышленной электроники, автоматики и сигнализации, а также аварийных осветительных приборов от выхода из строя. Автомат защиты должен обеспечивать надежное снабжение электроприемников как в нормальном, так и в аварийных режимах работы энергообъекта.

С внедрением микропроцессорных устройств релейной защиты значительно усиливаются требования к качеству питания и электромагнитной совместимости электроприемников и систем питания. Изменение состава электроприемников постоянного тока приводит к необходимости пересмотра требований к устройствам защиты от перенапряжений. В настоящее время, наметилась не всегда оправданная тенденция к использованию зарубежных средств защиты и необоснованному отказу от проверенных практикой отече-

ственных защитных устройств.

В основе действия защитного отключения, как электрозащитного средства, лежит принцип ограничения (за счет быстрого отключения) продолжительности протекания тока через тело человека при непреднамеренном прикосновении его к элементам электроустановки, находящимся под напряжением.

Устройства защитного отключения, реагирующие на дифференциальный ток, наряду с устройствами защиты от сверхтока, относятся к дополнительным видам защиты человека от поражения электрическим током при косвенном прикосновении, обеспечиваемой путем автоматического отключения питания.

В борьбе с внешними перенапряжениями эффективным средством является реализация зонной защиты с правильно выполненной системой заземления. Для ограничения внутренних перенапряжений необходимо использовать специальные ограничивающие устройства.

Разработана математическая модель автомата для исследования электромагнитных переходных процессов, сопровождающихся перенапряжениями при отключении КЗ плавкими предохранителями. Модель позволяет оценить основные параметры возникающего импульса перенапряжения, получить осциллограммы напряжения и тока. Достоверность модели проверена путем сопоставления расчетных данных по токам и напряжениям с данными, предоставляемыми производителями защитных аппаратов. Расхождение между сопоставляемыми параметрами не превысило 10%.

По итогам проведенного анализа выявлено, что у диодной защиты напряжение среза ниже, чем у автомата защиты, оно фактически равно напряжению аккумуляторной батареи – 220 В. Варисторы имеют напряжение среза порядка тройного напряжения сети.

Данный факт подтверждает эффективность диодной защиты в качестве устройства защиты от перенапряжений. Применение диодной защиты позволяет значительно уменьшить количество отказов приборов по причине нарушения и скачков напряжения до 10% процентов.

### **Список опубликованных работ**

[1–А.] Герасимович, К.Е. Автоматы защиты от перенапряжения в электрической сети. Варисторная защита / К.Е. Герасимович, С.С. Макаров, К.Г. Шуринов // Сборник статей Международной научно-практической конференции 23 декабря 2014 г, Уфа.

[2–А.] Герасимович, К.Е. Реле контроля напряжения / К.Е. Герасимович, К.Г. Шуринов, Е.В. Белягов // Сборник статей Международной научно-практической конференции 13 декабря 2014 г, Уфа.

[3–А.] Шуринов, К.Г. Моделирование процессов МОП–транзисторов,

обусловленных воздействием горячих носителей / К.Г. Шуринов, К.Е. Герасимович // Сборник статей Международной научно-практической конференции 13 декабря 2014 г, Уфа.

[4–А.] Герасимович, К.Е. Устройство защитного отключения от перегрузки / К.Е. Герасимович, П.А. Бондарёнок, Д.В. Лихачевский // Тезисы докладов XII Белорусско–российской научно – технической конференции 28-29 мая 2014 г, Минск.