

УДК 621.318.5

АНАЛИЗ ПЕРЕВОДА РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ НА СОВРЕМЕННЫЕ МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ РЕЛЕ

Воробчук Н.В.¹, студент гр. ЭЭ-24, I курс, Мазур Д.Д.¹, студент гр. ЭЭ-24, I курс, Покоянов Н.А.¹, студент гр. ЭЭ-22, III курс

Научный руководитель: Плотников М.П., к.т.н., доцент кафедры энергетики

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Братский государственный университет"

г.Братск

Возникновение короткого замыкания связано со следующими факторами: нарушение целости изоляции, повышенной влажности, обрыва проводов, повреждение кабеля, ошибки действий персонала или долговременные перегрузки. В процессе КЗ к очагу повреждений идут токи с огромным количеством ампер, они вызывают перегрев проводки и токоведущих частей, что приводит к дополнительным повреждениям. При КЗ нарушается работа трансформаторов и останавливаются электродвигатели в связи с напряжением, которое стремится к нулю. Частым случаем является возникновение электрической дуги с настолько высокой температурой, что даже металл начинает плавиться в зоне короткого замыкания, приводящее к разрушению токоведущих частей и изоляционных материалов, что приводит к цепной реакции повреждений на всем участке цепи, а также столкновение дуги с работником ведёт к получению серьёзных травм, нередко ведущих к летальному исходу [1].

Основным принципом работы релейной защиты является оперативное обнаружение места возникновения короткого замыкания и быстрое автоматическое размыкание цепи от остальной неповреждённой части электрической установки или сети посредством срабатывания выключателей, что позволяет предотвратить дополнительные повреждения и чрезвычайные ситуации с возгоранием оборудования [2]. Также дополнительная функция релейной защиты является предупреждающая

система, т.е она фиксирует отклонение в большую или меньшую сторону во время работы оборудования к примеру: перегрузки, замыкания на землю отдельных фаз в сетях с изолированными нейтралями и т.д. В подобных ситуациях незамедлительное отключение оборудования не требуется, так как данные ситуации имеют временный характер и могут быть устраниены самостоятельно или персоналом [2-3].

Электромеханическое реле действует на основе простой схемы действия. Внутри устройства располагается катушка, намотанная на железный сердечник, которая при протекании через неё создаёт магнитное поле. При достижении определённого значения тока, магнитное поле усиливается, что приводит к притяжению подвижной части реле, называемой якорем, и размыканию контакта, ток перестаёт проходить [2].

Износстойкость электромеханического реле зависит от характеристик коммутируемого напряжения и нагрузки. Например для реле модели РЭП -15 (реле электромагнитное промежуточное) распределяется на классы коммутационной износстойкости реле:[2]

- Класс А - 4 миллионов циклов (включение / отключение)
- Класс Б - 2 миллионов циклов (включение / отключение)

При этом также разделяют реле по роду тока, работающие с переменным и постоянным током:

- реле постоянного тока подразделяют на нейтральные и поляризованные. Нейтральные реле срабатывают в обоих направлениях тока, а поляризованные срабатывают в зависимости от полярности их подключения [3]

- реле переменного тока не подразделяется, поскольку переменный ток по своей природе характеризуется циклической сменой полярности [3]

В нормативно-технической документации указываются допустимые диапазоны токов и напряжений, при соблюдении которых гарантируется заданное число коммутаций.

При этом существует разница между механическим и электрическим ресурсом реле. Механический ресурс - это долговечность движущихся элементов, шарниров и контактов при отсутствии тока через контакты. Электрический ресурс - это срок службы контактов при размыкании, пропускающих полный номинальный ток [5]. Каждый раз, когда контакты размыкаются под нагрузкой, возникает искра, которая может повредить

контактные поверхности, поэтому электрический ресурс намного короче механического [1].

Микропроцессорные реле являются современным цифровым устройством, объединяющие в себя функции защиты, контроля, управления и оповещения. За счёт использования современных элементных баз, обеспечивается высокая точность измерений, стабильность рабочих характеристик и более быстрая реакция на аварийные ситуации. Это позволяет не только повысить восприимчивость систем защиты, а также уменьшить количество ступеней согласования характеристик защитных аппаратов [3-4].

Отличительной особенностью микропроцессорных реле является отсутствие заданного класса износостойкости, так как их ресурс никак не зависит от числа срабатываний, однако связан со старением программного обеспечения и физической деградацией электронных компонентов, особенно таких как электролитические конденсаторы и микросхемы. Срок службы эксплуатации составляет 20 - 25 лет, кроме механических выводов. Данные устройства способны самостоятельно диагностировать и сообщать о неполадках в его работе [2-3]. Сигнал от него поступает на компьютер и работник обслуживающий реле берет это во внимание.

В таблице приведены ключевые параметры, по которым можно сравнивать традиционные электромеханические и современные микропроцессорные реле.

Параметр	Электромеханическое реле	Микропроцессорные реле (твердотельные)
Скорость срабатывания	10-50 мс (медленнее из-за механики)	<10 мс (быстрый отклик за счёт цифровой обработки)
Точность измерений	Средняя (ограниченная точность мех. элементов)	Высокая (точные АЦП, возможность калибровки до ±0,1-0,5%)
Надёжность	Подвержены износу, вибрации, шуму	Отсутствие движущихся частей, высокая стабильность работы
Стоймость установки	Низкие капитальные затраты	Более высокие капитальные затраты (современные компоненты)
Эксплуатационные расходы	Высокие (частое обслуживание, замена изношенных деталей)	Низкие (самодиагностика, удалённое обновление программного обеспечения)

Гибкость настройки	Ограниченнaя возможность перенастройки	Программируемые параметры, адаптация к специфике подстанции
Интеграция в системы	Сложнее интегрировать в современные системы SCADA и DCS	Лёгкая интеграция с цифровыми системами мониторинга и управления

Переход на микропроцессорные реле требует значительных финансовых инвестиций, обусловленных не только закупкой нового оборудования и специализированного программного обеспечения, но и затратами на обучение персонала. Компании будут вынуждены пересматривать бюджеты для модернизации технологической базы, поскольку интеграция новых устройств сопряжена с комплексным переоснащением производственных линий [5]. В условиях недостаточного развития отечественного производства микропроцессорных реле российским предприятиям зачастую приходится прибегать к импортным решениям, что приводит к дополнительным расходам, связанным с валютными колебаниями и санационными ограничениями. Недостаток развитой сети надёжных местных поставщиков усложняет финансовые аспекты перехода, делая его менее доступным для многих компаний [4].

С технической точки зрения переход от электромеханических реле к микропроцессорным представляет собой многоуровневый процесс. Основная сложность заключается в необходимости интеграции новых устройств в уже существующие системы управления, что требует пересмотра стандартов связи, обновления протоколов и обеспечения полной совместимости с прежним оборудованием [3]. Дополнительно, микропроцессорные решения предъявляют повышенные требования к надёжности программного обеспечения и кибербезопасности делают процесс модернизации ещё более сложным - малейшие ошибки в алгоритмах могут привести к серьёзным аварийным ситуациям. [6-7]. В совокупности, эти технические сложности требуют глубокого анализа, тестирования и разработки комплексных решений для обеспечения стабильной и безопасной работы обновлённой системы.

Массовый переход на микропроцессорные реле потребует немалых вложений, но с каждым годом выгода использования микропроцессоров растёт в связи с тем, что [2]:

- Снижение затрат на обслуживание
- Снижение аварийности и простоев
- Оптимизация состава обслуживающего персонала

- Повышение энергоэффективности
- Улучшение инвестиционной привлекательности за счёт увеличения надёжности системы

Кроме экономических выгод стратегические преимущества современных решений включают в себя расширенные возможности по архивированию и анализу данных, более простую интеграцию с цифровыми системами, а также унификации [3]. Микропроцессорная модернизация - это современное технологическое решение представляющее собой сокращение расходов, снижение рисков, повышение устойчивости и адаптацию к будущим требованиям энергосистемы [2].

Список литературы:

1. Реле: назначение, принцип действия, устройство URL: <https://dip8.ru/articles/rele-chto-eto/> (дата обращения: 20.03.25)
2. Гуревич В. И. Электрические реле. Устройство, принцип действия и применения. 2016. 689с. (дата обращения: 20.03.25)
3. Малышко Р. В, Ладожинская Д. А. Обзор и сравнения эксплуатации электромеханической и микропроцессорной РЗА в РФ // Цифровая наука. 2021. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-i-sravneniya-ekspluatatsii-elektromehanicheskoy-i-mikroprotsessornoy-rza-v-rf/viewer> (дата обращения: 22.03.25)
4. Сушко В. РЗА в российской энергосистеме Современное состояние // Новости электротехники. Журнал 6. 2014. URL: <http://news.elteh.ru/arch/2014/90/04.php> (дата обращения: 23.03.25)
5. Буртаков В.С., Захаренков А.Ю., Кузьмичев В.А. Рекомендации по модернизации, реконструкции и замене длительно эксплуатирующихся устройств релейной защиты и электроавтоматики энергосистем // Релейная защита и автоматизация. 2013. № 1(10). (дата обращения: 23.03.25)
6. Коновалова Е.В., Сахаров С.Н. Устройства РЗА в ЕНЭС. Основные результаты работы // Новости электротехники. Журнал 6. 2014. URL: <http://www.news.elteh.ru/arch/2008/52/09.php> (дата обращения: 25.03.25)
7. Кудрявый В.В. Системные причины аварий // Энергоэксперт. № 6(35) 2012. (дата обращения: 27.03.25)