

Таким образом, потребление электроэнергии на один разряд крайне незначительно.

Предложенное устройство может применяться в тех случаях, когда невозможно соединить металлические поверхности с помощью процесса пайки. Например, сварка контактов терморпар, соединение контактов солнечных батарей, сварка мест подключения заземления в различном электрооборудовании, в сборке ячеек аккумуляторных батарей, а также во многих других задачах энергетики.

Предполагаемое устройство отличается своими малыми габаритами и небольшой стоимостью. Практическое применение устройства позволит более эффективно выполнять различные виды монтажа электрического и механического оборудования.

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ОПТОВОЛОКОННЫЕ КАНАЛЫ СВЯЗИ

Д. А. Ганущак

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научные руководители: Т. В. Алферова, А. О. Добродей

Рассмотрены существующие способы повышения надежности работы устройств релейной защиты и автоматики с применением оптоволоконных каналов связи.

Ключевые слова: инновационные технологии, цифровая подстанция, интеллектуальная сеть, надежность, РЗА, оптоволоконные каналы связи.

Решения, влияющие на надежность работы релейной защиты и автоматики (РЗА) и использующих оптоволоконные каналы связи, можно разделить на три отдельные категории:

1. Возможности сетевого оборудования.
2. Схема оптических связей устройств РЗА.
3. Возможности самих устройств РЗА.

1. Возможности сетевого оборудования. К сетевому оборудованию относятся: коммутаторы, преобразователи интерфейсов, сетевые платы устройств РЗА, разного рода преобразователи протоколов. Самыми важными из этого многообразия сетевого оборудования являются сетевые коммутаторы. К ним предъявляются особые требования из-за того, что они должны обеспечить передачу большого количества информации без задержек и потерь. Например, один SV поток (в нем содержится информация о четырех токах и напряжениях) требует ресурсов коммутатора на 5–6 Мбит/с.

Для оптимизации распределения этих потоков данных и обеспечения надежности сети в случае отказа одного из ее элементов необходимо использовать управляемые коммутаторы с возможностью применения протоколов STP/RSTP.

Spanning Tree Protocol – сетевой протокол, работающий на втором уровне модели OSI [1]. Основной задачей STP является приведение сети Ethernet с множественными связями к древовидной топологии, исключающей циклы пакетов. Происходит это путем автоматического блокирования ненужных в данный момент для полной связности портов.

Для определения портов, которые требуется заблокировать, а также портов, находящихся в режиме пересылки, STP выполняет следующий алгоритм:

1. Выбор корневого моста (Root Bridge).
2. Определение корневых портов (Root Port).
3. Определение выделенных портов (Designated Port).

Выбор корневого моста. Корневым становится коммутатор с наименьшим идентификатором моста (Bridge ID).

Только один коммутатор может быть корневым. Для того чтобы выбрать корневой коммутатор, все коммутаторы отправляют сообщения BPDU, указывая себя в качестве корневого коммутатора. Если коммутатор получает BPDU от коммутатора с меньшим Bridge ID, то он перестает анонсировать информацию о том, что он корневой, и начинает передавать BPDU коммутатора с меньшим Bridge ID. В итоге только один коммутатор останется корневым и будет передавать BPDU.

Определение корневых портов. Порт коммутатора, имеющий кратчайший путь к корневому коммутатору, называется корневым портом. У любого не корневого коммутатора может быть только один корневой порт.

Определение назначенных портов. Коммутатор в сегменте сети, имеющий наименьшее расстояние до корневого коммутатора, называется назначенным коммутатором (мостом). Порт коммутатора, подключенный к рассматриваемому сегменту сети, называется назначенным портом.

Существенное достоинство технологии RSTP заключается в том, что в памяти свитчей хранится информация о резервных портах для соединения с корневым мостом в случае неисправности основной сети.

2. Схема оптических связей устройств РЗА. Разработка схемы оптических связей между устройствами РЗА – одна из важнейших задач проектирования цифровой подстанции. Схема связи пассивно влияет на общую надежность системы РЗА. Для повышения надежности каналов связи необходимо использовать протоколы резервирования данных типа HSR/PRP.

Протоколы «бесшовного резервирования высокой доступности» (HSR – High Availability Seamless Redundancy) и «параллельного резервирования» (PRP – Parallel Redundancy Protocol) – это новейшие дополнения к стандарту МЭК 62439 для промышленных Ethernet сетей высокой доступности. Будучи разработанным для критически важных и чувствительных к временным параметрам применений, таких как автоматизация подстанций и управление движением, HSR и PRP обеспечивают гарантированное поведение в неблагоприятных условиях и повышенную надежность сети, а также резервирование сети и бесшовное переключение в случае возникновения отказов.

Протокол параллельного резервирования (PRP) использует две независимые сети с любой топологией, не ограничиваясь только кольцевыми связями. Двумя независимыми параллельными сетями могут быть кольца Turbo Ring, RSTP и даже сети без резервирования вовсе. Основным преимуществом PRP является его переключение без прерываний (бесшовное), которое вообще не затрачивает время на активацию резервирования в случае отказа, тем самым предлагая максимально возможную доступность.

Еще один протокол стандарта МЭК 62439 – кольцо HSR.

В архитектуре HSR основной и резервирующий пакеты отправляются в противоположные направления по кольцу. Принимающая точка обрабатывает первый пакет и отбрасывает дублирующий. Это обеспечивает резервирование на уровне пакетов с бесшовным переходом в случае отказа.

При переводе устройств, поддерживающих протокол RSTP, на работу в сетях PRP/HSR, имеют место проблемы совместимости. Однако на сегодняшний день уже

разработано новое решение, позволяющее использовать гибридные технологии сетей RSTP, PRP и HSR. Таким решением является объединение сети на базе RSTP и сети на базе PRP/HSR с помощью коммутаторов, обеспечивающих преобразование между протоколами RSTP и PRP/HSR.

Объединение принципов резервирования на базе HSR и RSTP могут привести к отказу сети из-за «широковещательного шторма».

3. Возможности самих устройств РЗА. У каждого производителя устройств РЗА, работающих с SV потоками и Goose сообщениями, есть свои уникальные функции по резервированию. Например, терминалы РЗА от «General Electric» используют BRICK (технология HardFiber) [2].

Технология HardFiber позволяет подключить к устройству сопряжения Brick при помощи оптического кабеля до четырех терминалов РЗА. Это принципиальное отличие от философии использования шины процесса. Компания «General Electric» данным решением не использует «общую точку», в которой собирается вся информация о процессах, происходящих на энергообъекте.

Таким образом, наибольшей надежности устройств РЗА можно достигнуть при использовании коммутаторов с возможностью применения протоколов STP/RSTP, обладающих совместимостью с протоколами резервирования данных типа HSR/PRP. По возможности также желательно использовать функции резервирования самих устройств РЗА, если таковые имеются.

Л и т е р а т у р а

1. jha-tech.com. – URL: <https://clck.ru/3Ksymh> (дата обращения: 06.04.2025).
2. gevernova.com / Multilin HardFiber System. – URL: <https://clck.ru/3Ksz27> (дата обращения: 06.04.2025).

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БОРЩЕВИКА

Ю. В. Булыгин, П. Д. Алексеев

*Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова,
г. Архангельск, Российская Федерация*

Научный руководитель В. К. Любов

Исследован потенциал применения борщевика Сосновского как альтернативного источника топлива. На примере этого инвазивного растения рассмотрены возможности энергетического использования подобных видов флоры. Приведен комплексный анализ борщевика: определение теплотворной способности борщевика, его элементного состава, а также элементного состава его золы. Отдельное внимание уделено практическому аспекту: представлены различные технологические решения для эффективного сжигания данного биоматериала.

Ключевые слова: биомасса, борщевик Сосновского, энергетическое использование, теплотехнические характеристики, твердое топливо, элементный состав.

В эпоху глобальных экологических вызовов человечество активно ищет новые пути получения энергии. Традиционные источники – нефть, природный газ и уголь – не только приближаются к истощению, но и наносят существенный вред экосистеме планеты. Эта ситуация диктует острую необходимость в разработке экологически безопасных и возобновляемых энергоресурсов.

Особое внимание ученых привлекает биоэнергетический потенциал растений, в частности, инвазивных и сорных видов. Использование такой флоры в энергетических целях открывает двойную выгоду: с одной стороны, это способствует рацио-