

– дефекты на трассе – наличие опасной для эксплуатации воздушных ЛЭП растительности; падение деревьев на провода и опоры; наличие древесно-кустарниковой растительности в охранной зоне; наличие строений и прочих объектов в охранной зоне; пересечение с природными и антропогенными объектами; опасные явления (проседание грунта, подтопление) [1].

Таким образом, современные технологии мониторинга воздушных ЛЭП позволяют использовать БПЛА для повсеместного обследования необходимых участков. Они могут решить одну из проблем для выездных бригад – доступ к труднодоступным участкам исследуемой местности. В Республике Беларусь большую территорию занимают лесные массивы и болотные местности. Такая территория создает существенные трудности для выездных бригад, в то время как БПЛА может облететь необходимые участки и дать высокоточную информацию для последующего анализа и проведения ремонтных и восстановительных работ.

Л и т е р а т у р а

1. Возможности применения беспилотных авиационных систем для мониторинга воздушных ЛЭП. – Режим доступа: <https://russiandrone.ru/publications/vozmozhnosti-primeneniya-bespilotnykh-aviatsionnykh-sistem-dlya-monitoringa-vozdushnykh-lep/>. – Дата доступа: 05.05.2023.

УДК 621.314

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ

В. А. Маркевич

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

Научные руководители: Т. В. Алферова, Л. И. Евминов

Рассмотрены способы повышения надежности работы микропроцессорных устройств релейной защиты и автоматики, использующих оптоволоконные каналы связи.

Ключевые слова: сетевое оборудование, оптоволоконные связи, устройства релейной защиты и автоматики, цифровая подстанция, протоколы резервирования, надежность.

WAYS TO INCREASE RELIABILITY OF RELAY PROTECTION AND AUTOMATION DEVICES

V. A. Markevich

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

Science supervisors: T. V. Alferova, L. I. Evminov

Ways to improve the reliability of the operation of microprocessor relay protection and automation devices using fiber optic communication channels are considered.

Keywords: network equipment, fiber optic communications, relay protection devices, digital substation, redundancy protocols, reliability.

При проектировании и реконструкции подстанций можно выделить несколько решений, влияющих на надежность работы устройств релейной защиты и автоматики (РЗА), использующих оптоволоконные каналы связи, в сравнении с классической схемой. Условно их можно разделить на три отдельные категории:

- 1) возможность сетевого оборудования;
- 2) схема оптических связей устройств РЗА;
- 3) возможность самих устройств РЗА.

Рассмотрим влияние каждой из этих категорий на надежность и предложим пути ее повышения.

Для цифровой подстанции к сетевому оборудованию относятся коммутаторы, преобразователи интерфейсов, сетевые платы устройств РЗА, разного рода преобразователи протоколов.

Наиболее 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 4-х токах и 4-х напряжениях) требует ресурсов коммутатора на 5–6 Мбит/с. В итоге для цифровой подстанции в одной сети генерируются 16 SV-потоков, на которые необходимо как минимум 96 Мбит/с пропускной способности сетевого оборудования. Для оптимизации распределения этих потоков данных и для обеспечения надежности сети в случае отказа одного из ее элементов необходимо использовать управляемые коммутаторы со встроенными функциями резервирования.

В случае обрыва линии передачи информации в коммутаторе имеется возможность использования протоколов STP/RSTP.

Spanning Tree Protocol (STP) – сетевой протокол, работающий на втором уровне модели OSI. 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, какие порты заблокировать, а какие будут работать в режиме пересылки, STP выполняет выбор корневого моста (Root Bridge); определение корневых портов (Root Port); определение выделенных портов (Designated Port).

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.

Использование технологии RSTP жизненно необходимо при построении цифровой подстанции, так как она позволяет восстановить работоспособность сети в случае повреждения ее отдельных участков. С другой стороны, время перестроения сети довольно большое, более 1,5 с, что для релейной защиты непозволительно. Значит, протокол RSTP необходимо использовать в комплексе с другими мероприятиями по повышению надежности.

Разработка схемы оптических связей между устройствами РЗА – одна из важнейших задач проектирования цифровой подстанции. Схема связи пассивно влияет на общую надежность системы РЗА.

Во-первых, необходимо учитывать трассу, по которой будут проходить оптические кабели. От устройств, резервирующих друг друга, кабельные связи должны проходить по разным кабельным каналам и эстакадам. Во-вторых, для повышения надежности каналов связи необходимо использовать протоколы резервирования типа HSR и 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 крити-

чески 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. Протоколы HSR и PRP позволяют осуществлять резервирование сети и бесшовное переключение в случае возникновения отказов. Это особо важно для автоматизации и управления технологическими процессами в приложениях, которые в своей работе полностью зависят от скорости, точности времени и не могут допускать потери пакетов и задержки.

Для выполнения вышеупомянутых требований необходимо принять совершенно новый подход к вопросу о гарантированной высокой доступности. В основе этого иного подхода к резервированию сети лежит наличие двух независимых активных путей между двумя устройствами. Отправитель использует два независимых сетевых интерфейса, которые передают одни и те же данные одновременно. Протокол мониторинга для резервирования удостоверяется, что получатель использует только первый пакет данных и отбрасывает второй. Если получен только один пакет, получатель знает, что на другом пути произошел сбой.

По такому принципу и работает протокол параллельного резервирования (PRP – Parallel Redundancy Protocol). Данный протокол 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. Естественно, если только обе сети не выйдут из строя одновременно.

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.

Внедрение сетей на базе протоколов PRP/HSR призвано обеспечить надежную передачу данных на промышленных объектах. Новые технологии улучшают показатели точности и надежности, а также обеспечивают увеличение производительности коммуникационных сетей подстанции, что способствует их активному внедрению. Тем не менее, чтобы избежать лишних затрат, желательно оставлять в эксплуатации существующие устройства. До настоящего времени большинство решений по переводу существующих устройств на работу в сетях PRP/HSR не оправдывали ожиданий, в том числе с точки зрения экономической эффективности. Поскольку существующие устройства поддерживают протокол RSTP, контрольные пакеты которого не могут быть правильно обработаны в сетях на базе протоколов PRP/HSR, традиционным решением является объединение сети на базе RSTP и сети на базе PRP/HSR с помощью коммутаторов, которые обеспечивают преобразование между протоколами RSTP и PRP/HSR, могут допускать потери пакетов и задержки.

Применения параллельного резервирования позволяет оборудованию РЗА оставаться в работе даже при повреждении одной из сети передачи данных без потери SV-потока.

Сетевое резервирование позволяет избежать ситуаций, когда неисправности в отдельных точках сети могут привести к развитию системных аварий, приводя к отказу сразу всех коммуникационных систем. Для обеспечения непрерывной работы коммуникационных систем логично использовать сеть с возможностью резервирования. Особую важность имеют решения резервирования, которые позволяют

обеспечить «нулевое время» восстановления системы, также известное как «плавное» восстановление, целью которого является нулевая потеря пакетов данных.

У каждого производителя устройств РЗА, которые могут работать с SV-потоками и GOOSE-сообщениями есть свои уникальные функции по резервированию. В качестве примера рассмотрим технологию HardFiber.

Технология HardFiber позволяет подключаться 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. С применением резервирования источников SV-потока силами самого терминала РЗА GE D60 общая система защиты и автоматики остается работоспособной даже при неисправности одного из элементов оптико-волоконных линий связи.

Таким образом, повышение надежности работы устройств РЗА, использующих оптоволоконные каналы связи, может быть достигнуто только путем комплексного использования трех составляющих: возможностей сетевого оборудования, рассмотрения схемы оптических связей устройств РЗА и возможностей самих устройств РЗА.

Литература

1. Аношин, А. О. Цифровые подстанции. Проблемы внедрения устройств РЗА / А. О. Аношин, А. В. Головин // Новости электротехники. – 2012. – № 2 (74). – С. 42–47.

УДК 621.314

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ГАЗОВОМУ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОМУ ПЕЧНОМУ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ ОБОРУДОВАНИЮ

В. А. Панасик

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

Научный руководитель Н. В. Грунтович

Выполнен анализ научной литературы по газовому и электрическому печному технологическому оборудованию. Определены преимущества применения электрических печей по сравнению с газовыми.

Ключевые слова: технологическое оборудование, стекольная промышленность, электроставка, модернизация, энергоэффективность.

ANALYSIS OF PUBLICATIONS ON GAS AND ELECTRIC FURNACE TECHNOLOGICAL EQUIPMENT

V. A. Panasik

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

Science supervisor N. V. Gruntovich

The analysis of scientific literature on gas and electric furnace technological equipment is carried out. The advantages of using electric furnaces in comparison with gas ones are determined.

Keywords: technological equipment, glass industry, electric welding, modernization, energy efficiency.