

3. Определены границы принятия решения о достоверности дублированных измерений, при выходе за которые необходимо замещать осредненное значение измеренной переменной ее наиболее вероятным значением.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А н и щ е н к о, В. А. Надежность измерительной информации в системах электропитания / В. А. Анищенко. – Минск: БГПА, 2000. – 128 с.
2. А н и щ е н к о, В. А. Контроль достоверности измерений в энергетических системах на основе теории статистических решений / В. А. Анищенко // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2003. – № 6. – С. 5–21.
3. А н и щ е н к о, В. А. О понятии достоверности измерения при контроле режимов работы энергетических переменных / В. А. Анищенко // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2005. – № 2. – С. 15–21.
4. А н и щ е н к о, В. А. Контроль дублированных измерений в условиях неопределенности / В. А. Анищенко // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2010. – № 2. – С. 11–18.
5. А н и щ е н к о, В. А. Достоверность дублированных измерений энергетических переменных / В. А. Анищенко, А. С. Немкович // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2013. – № 1. – С. 5–16.
6. Т э й л о р, Дж. Введение в теорию ошибок / Дж. Тэйлор. – М.: Мир, 1985. – 272 с.
7. А н и щ е н к о, В. А. Выбор замещающих значений при обнаружении недостоверных измерений аналоговых переменных / В. А. Анищенко, А. В. Горош // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2001. – № 1. – С. 25–31.

Представлена кафедрой  
электропитания

Поступила 30.05.2013

УДК 621.316.125

### **СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО ДИСТАНЦИОННОГО МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ КОНТАКТНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ**

**Канд. техн. наук, доц. ДЬЯЧЕНКО М. Д., инж. ТЕСЛЯ Ю. А.**

*Приазовский государственный технический университет*

Одной из причин возникновения аварийных ситуаций в системах электропитания является нарушение высоковольтных контактных соединений (КС). Нарушение КС приводит либо к обрыву проводника, либо к возгоранию оборудования.

В зависимости от конструкции различают болтовые, сварные, паяные и выполненные обжатием (спрессованные и скрученные) КС. Появление оксида алюминия на контактирующих токоведущих поверхностях в процессе эксплуатации ведет к резкому увеличению переходного сопротивле-

ния соединителя и повышенному тепловыделению. В процессе монтажа данный дефект, как правило, не проявляется, а становится очевиден уже после аварии. Процесс развития дефекта в КС протекает достаточно длительное время и зависит от ряда факторов, таких как ток нагрузки и его стабильность, воздействия химических реагентов окружающей среды, ветровых нагрузок, усилий затяжки болтов и др. Постепенное повышение переходного сопротивления КС происходит до определенного момента времени, после чего деградационные изменения переходят в лавинообразный отказ с интенсивным тепловыделением и впоследствии – полным повреждением соединения.

В настоящее время для контроля технического состояния высоковольтных КС применяют метод периодического тепловизионного контроля [1] либо визуального контроля отпадающих цветных плавящихся указателей и термоиндикаторных красок. Такой контроль на территории подстанции не вызывает больших затруднений, но на большой протяженности линий электропередачи становится весьма затратным. К тому же его нельзя назвать оптимальным, так как нагрев болтовых соединений зависит в основном от тока нагрузки, а при периодическом контроле нельзя быть уверенным, что в момент контроля ток через контролируемый элемент максимален. Это особо актуально для крупных металлургических предприятий, имеющих в своем составе электрооборудование с резкопеременным режимом работы, таких как прокатные станы и дуговые сталеплавильные печи. Следовательно, для повышения надежности КС в частности и энергосистемы в целом необходима система непрерывного мониторинга их состояния. Причем контроль должен производиться не только по изменению температуры, но и по изменению переходного сопротивления контактных поверхностей.

Разработана автоматизированная система автоматического мониторинга состояния КС высоковольтного оборудования, работающая в режиме реального времени, контролирующая разницу скоростей изменения температур проводника и КС, а также непосредственно переходное сопротивление каждого КС участка электрической сети. В основу системы положена технология WSN – беспроводные сенсорные сети (Wireless Sensor Network), которая состоит из множества миниатюрных вычислительно-коммуникационных устройств – мотов (от англ. motes – пылинки). Каждый мот снабжен сенсорами (в рассматриваемом случае датчиками температуры и переходного сопротивления), а также трансиверами, работающими в безлицензионном диапазоне радиочастот. Для повышения удобств эксплуатации при большой протяженности линий электропередачи не лишней будет интеграция устройства с приемником GPS. Питание устройств осуществляется за счет отбора энергии через простейший трансформатор тока непосредственно от токоведущего проводника.

Сенсорные сети имеют значительные преимущества перед традиционным радиочастотным доступом к датчику. Работа сенсорных сетей основана на совместной работе множества мотов. Сетевые протоколы и алгоритмы работы мотов обладают возможностью самоорганизации. Поэтому вместо передачи исходных данных они могут производить их предварительную обработку, выполняя простые вычисления, и передавать далее

только необходимые и частично обработанные данные. Каждый мот снабжен маломощным трансивером, но в совокупности с другими мотами благодаря автоматической самоорганизации сети возможно покрытие огромных пространств, даже если множество мотов по неизвестным причинам выйдет из строя.

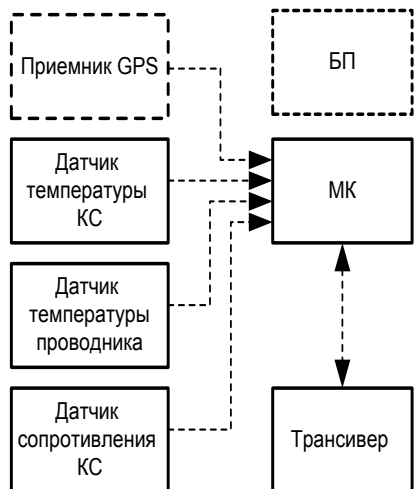


Рис. 1. Структура вычислительно-коммуникационного устройства

Структура каждого вычислительно-коммуникационного устройства (мота), установленного на контактное соединение, представлена на рис. 1. Благодаря развитию современной электроники удалось изготовить устройство в минимальных габаритах с малым потреблением. Проведенные полевые испытания прототипа устройства показали, что трансивер пакетной связи, работающий в безлицензионном радиочастотном диапазоне, при максимальной мощности излучения 18 МВт обеспечивает уверенный обмен данными на расстоянии более 600 м при расположении его на проводнике линии электропередачи напряжением 330 кВ.

Измерение переходного сопротивления контактного соединения выполнено на основе наложения контрольного тока (рис. 2). Для снижения требований к источнику питания контроль переходного сопротивления выполняется через значительные промежутки времени. Накопительный конденсатор через резистор большего сопротивления R2 медленно заряжается от источника питания VT1 (источник питания условно показан в виде гальванической батареи).

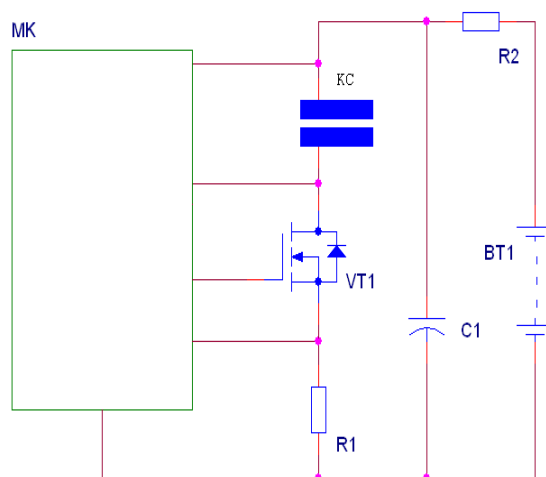


Рис. 2. Упрощенная схема измерения сопротивления контактного соединения

Накопительный конденсатор C1, заряженный до напряжения источника питания, разряжается через контролируемое переходное сопротивление КС

и источник стабильного тока, выполненный на транзисторе VT1 резистора R1 и элементов микроконтроллера МК. При этом микроконтроллер МК измеряет падение напряжения на переходном сопротивлении КС и делает вывод о величине переходного сопротивления.

Как и в обычной сенсорной сети, программный компонент сети агрегирует каналный, сетевой уровень и уровень приложений, позволяющие поддерживать передачу данных от всех узлов сети к некоторым узлам «стока» (базовым станциям), которые соединены со специализированной SCADA-системой, отображающей состояние КС в режиме реального времени. Так же как и в обычной сенсорной сети [2], данная сеть – самоорганизующаяся структура, и в случае выхода узлов из строя или добавления новых узлов в сеть поток данных от других узлов к базовой станции перераспределяется с учетом изменения конфигурации сети (рис. 3).

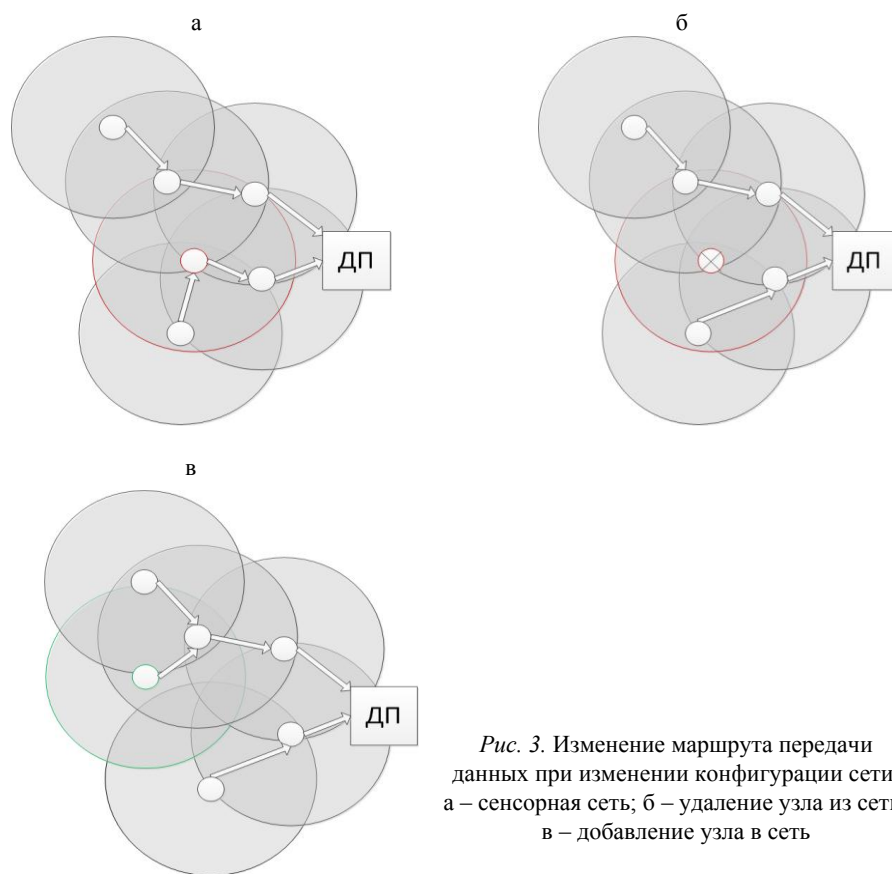


Рис. 3. Изменение маршрута передачи данных при изменении конфигурации сети: а – сенсорная сеть; б – удаление узла из сети; в – добавление узла в сеть

В связи с некоторыми особенностями данного применения сенсорной сети возникает ряд трудностей в ее организации при использовании традиционных протоколов. Это связано с тем, что в пределах подстанции число мотов во много раз превышает число мотов, установленных на линии электропередачи. В результате этого неоправданно возрастает нагрузка сети за счет возникновения множества коллизий, тогда как в пределах линии электропередачи такой проблемы практически нет. В связи с этим алгоритм автоматического конфигурирования сети несколько оптимизирован для решения данной задачи.

Каждый узел сети самостоятельно решает задачу оптимизации маршрута. В процессе выбора оптимального маршрута анализируется ориентированный граф сети. Чтобы понять, в каком состоянии находится линия связи, подключенный к его портам маршрутизатор периодически обменивается короткими тестовыми пакетами со своими ближайшими соседями. Метрики выбранного пути могут характеризоваться следующими параметрами качества связи: пропускной способностью канала; уровнем напряженности поля полезного сигнала от тестирующего узла сети; числом дейтограмм, стоящих в очереди для передачи; загрузкой канала; требованиями безопасности; типом трафика; числом шагов до цели. Узлам сети, находящимся вблизи узлов «стока», т. е. базовым станциям (а это узлы в пределах подстанций), маршрут корректируется с учетом приоритетов по инициативе базовых станций. Учитывая то, что объем информации, передаваемый каждым узлом сети, весьма мал, можно полностью отказаться от сжатия передаваемой информации. Однако при увеличении количества мотов (узлов сети) объем передаваемой информации может резко возрасти. В этом случае уже целесообразно использовать технологию сжатия информации, например метод биномиального нумерационного сжатия [3]. Метод биномиального сжатия информации в сенсорных сетях довольно прост в реализации, не требует высоких аппаратных затрат и весьма эффективен при сжатии распределенной между элементами сети информации с неизвестной статистикой появления сообщений.

## ВЫВОДЫ

1. В процессе исследований создан лабораторный и макетные образцы устройства мониторинга контактных соединений, которые в настоящее время проходят полевые испытания на контактных соединениях воздушной линии напряжением 330 кВ [4]. Можно считать, что данное решение является перспективным направлением в плане повышения надежности энергосистем и позволяет перейти на новый уровень качества их обслуживания.

2. Применение интегральных технологий при реализации данных устройств позволит многократно сократить затраты для создания комплексных систем мониторинга контактных соединений высоковольтных сетей.

3. На основе данной разработки, за счет корректировки программного обеспечения, может быть построена система раннего прогнозирования дефектов контактных соединений, что многократно повысит надежность сетей электроснабжения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Применение приемников инфракрасного излучения для проверки контактов и изоляторов / Я. А. Цирель [и др.] // Электрические станции. – 1976. – № 1. – С. 51–53.
2. Рагозин, Д. В. Моделирование синхронизированных сенсорных сетей. Проблемы програмування / Д. В. Рагозин // Спеціальний випуск. – 2008. – № 2–3. – С. 721–729.
3. Кулик, И. А. Использование биномиальных чисел для сжатия бинарных изображений / И. А. Кулик, С. В. Костель, Е. М. Скордина // Вісник Сумського державного університету. Технічні науки. – 2009. – № 2. – С. 29–36.
4. Устройство автоматического мониторинга состояния контактных соединений высоковольтных подстанций и линий электропередачи: пат. на полезную модель № 83573, Украина / М. Д. Дьяченко, Ю. А. Тесля; зарегистрирован 10.09.2013.

Поступила 28.08.2013