

Ю. И. ЖАРКОВ, Ю. Г. СЕМЕНОВ (Ростовский государственный университет путей сообщения, Российская Федерация)

ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ РАДИОСИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ НЕИСПРАВНЫХ ТОКОПРИЕМНИКОВ И ГОЛОЛЕДНЫХ РЕЖИМОВ ПО ДУГОВЫМ НАРУШЕНИЯМ ТОКОСЪЕМА

Наведено принципи побудови, структура радіосистеми для знаходження несправних струмоприймачів та ожеледних режимів по дугових порушеннях струмозйому, а також особливості радіосигналів, що приймаються, й основи їх розпізнавання.

Приведены принципы построения, структура радиосистемы для обнаружения неисправных токоприемников и гололедных режимов по дуговым нарушениям токосъема, а также особенности принимаемых радиосигналов и основы их распознавания.

The principles of construction and the structure of radio system for detecting damaged current collectors and glaze-ice regimes on arc breaking of current collection as well as the peculiarities of received radio signals and the basics of their identification are presented.

Исследование метода, основанного на регистрации радиоизлучений от дуговых нарушений скользящего контакта, позволили разработать основы построения автоматизированной стационарной системы диагностики дуговых нарушений токосъема АСДТ [1]. В широком смысле такая автоматизированная система должна объединять в себе возможность регистрации дуговых нарушений токосъема от неисправных токоприемников и гололедных режимов. Система должна контролировать участки контактной сети, подверженные, прежде всего, раннему образованию гололеда. Участок состоит из нескольких пролетов контактной сети, протяженность которого определяется чувствительностью системы. Для описываемой системы зона контролируемого участка контактной сети составляет порядка 2 км в обе стороны от антенного узла. Система имеет возможность проводить также контроль неисправных токоприемников по дуговым нарушениям токосъема. В этом смысле отдельные системы контроля, установленные в локальных местах тяговой сети, должны быть объединены в общую систему в рамках дистанции электроснабжения, диспетчерского круга, дороги и т.д. Для этого локальные системы должны иметь возможность передачи информации об участке, причинах, времени дуговых нарушений токосъема энергодиспетчеру в виде протокола событий, что можно реализовать только с помощью компьютерных информационно-вычислительных сетей. На рис. 1 показана общая структура такой системы АСДТ.

Основой системы АСДТ являются локальные радиосистемы контроля дуговых нарушений токосъема РС, устанавливаемые в контролируемых фидерных зонах. РС передают информацию об опасных дуговых нарушениях токосъема на энергодиспетчерский пункт (ЭДП). Предусматривается возможность передачи информации на ЭДП двумя путями. Первый путь – по каналам телемеханики в виде сигнала тревоги с указанием номера режима и номера участка (на рис. 1 жирные сплошные стрелки). Второй путь – по модемным каналам через компьютер станции, производственную сеть *INTRANET* на компьютер ЭДП с передачей протокола о времени, типе опасного режима, номере участка и т.д. (пунктирные стрелки на рис. 1).

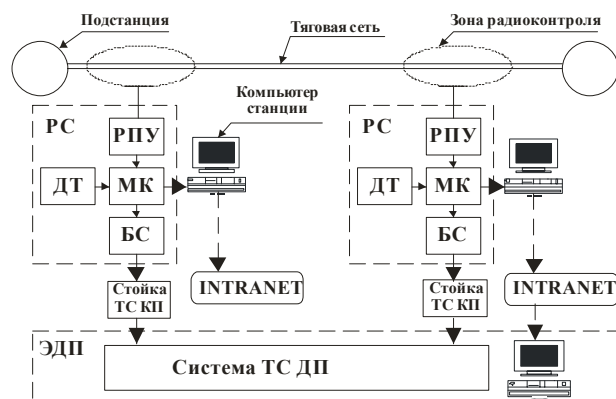


Рис. 1. Укрупненная техническая структура системы АСДТ

На рис. 1 показан укрупненный состав РС: РПУ – радиоприемное специализированное

устройство; МК – цифровой микроконтроллер; БС – блок согласования с каналами телемеханики; ДТ – датчик температуры окружающей среды.

Технически локальная стационарная система РС была реализована по проекту филиала ОАО «РЖД» ПКБ ЦЭ в виде системы контроля дуговых нарушений токосъема под названием УОГ-2005. Опытный образец изготовлен заводом МЭЗ – филиалом ОАО «РЖД».

Вид системы представлен на рис. 2. Конструктивно система состоит из трех основных устройств: антенного узла, устройства приема и обработки сигналов и датчика температуры окружающей среды. Конструкцией предусмотрено как внутреннее, так и наружное размещение антенного узла. Датчик температуры служит для определения диапазона температуры гололедных образований.



Рис. 2. Стационарная радиосистема регистрации дуговых нарушений токосъема УОГ-2005

Принципиальная схема антенного узла показана на рис. 3. Узел содержит штыревую антенну WA1, принимающую электрическую составляющую электромагнитного поля излучения, и магнитную ферритовую антенну WA2. Дроссель L1 служит для согласования фаз сигналов с обеих антенн с целью получения диаграммы направленности в виде «кардиоиды». Направленность диаграммы позволяет снизить уровень посторонних сигналов эфира, проходящих с тыльной от антенны стороны пространства. Антенный узел заключен в разрезной трубчатый экран. Индуктивность катушки WA2 совместно с емкостью C1, располагаемой в устройстве приема и обработки сигналов (рис. 4), образуют колебательный контур, осуществляющий высокочастотную селекцию радиоизлучения. При установке антенного узла штыревая антенна ориентируется вертикально,

а разрезной экран прорезью ориентируется на тяговую сеть контрольного участка.

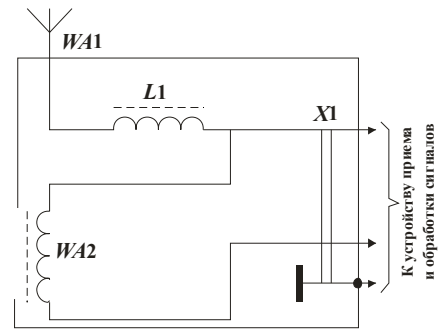


Рис. 3. Схема антенного узла

Предусмотрена установка антенного узла на высоте не менее 7...8 м над уровнем железнодорожного полотна выше контактной подвески для исключения эффекта экранирования сигналов тросами группового заземления, подвесками других путей и пр. В случае использования для места установки системы зданий антенный узел должен быть размещен внутри на уровне не ниже верхнего уровня второго этажа здания или на наружной стене в непосредственной близости от устройства приема и обработки сигналов.

На рис. 4 показана развернутая структурная схема устройства приема и обработки сигналов.

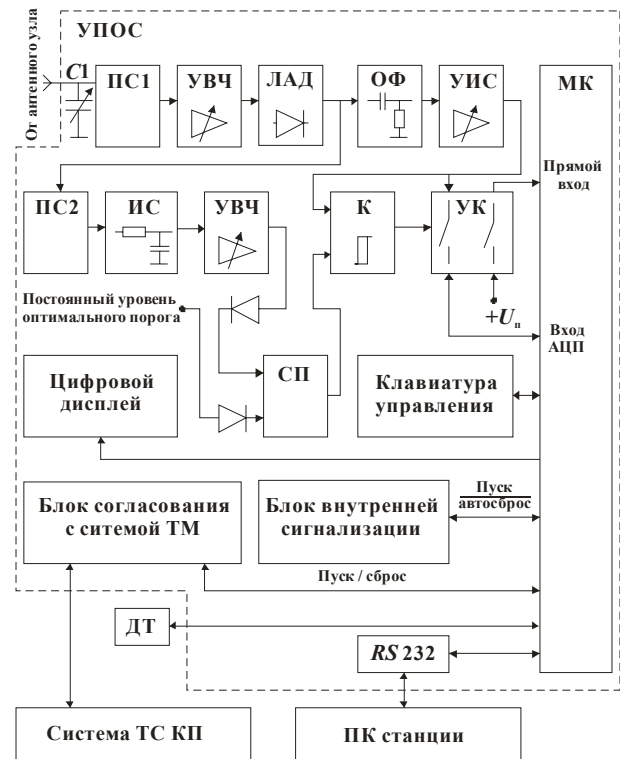


Рис. 4. Структурная схема устройства приема и обработки сигналов УПОС

Устройство УПОС содержит специализированное радиоприемное устройство, состоящее из блоков ПС1, УВЧ, ЛАД, ОФ и УИС. Такая структура обусловлена спецификой смеси радиосигналов, принимаемых радиосистемой.

Так, полезные сигналы от одиночных дуговых нарушений (например, от дефекта токоприемника) воспринимаются антенным узлом в виде пакетов часто чередующихся импульсов значительной амплитуды. Характерная осциллограмма огибающей высокочастотного излучения от дугового отрыва показана на рис. 5. Появление пакетов импульсных сигналов связано с неустойчивым характером дуги и повторными пробоями промежутка в нарушенном контакте в момент, близкий к переходу тока через нуль.

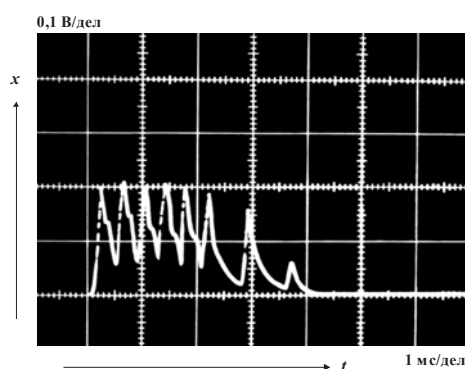


Рис. 5. Осциллограмма огибающей радиосигнала от дугового отрыва (переменный ток)

Огибающие радиосигналов от дугового токосъема при гололеде воспринимаются системой в виде непрерывно чередующихся импульсов радиоизлучения. На рис. 6 показан фрагмент осциллограммы огибающей радиосигналов от дугового токосъема при гололеде.

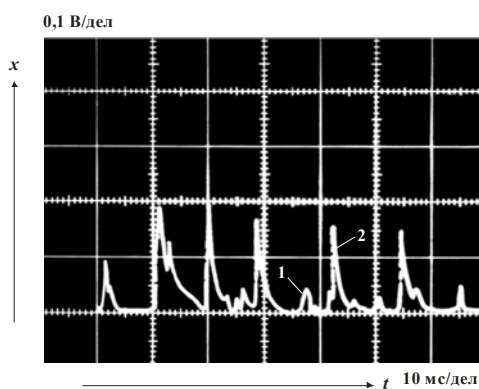


Рис. 6. Осциллограмма огибающей радиосигналов от дугового токосъема при гололеде

Импульсы соответственно типа 1 и 2 повторяются с периодичностью, близкой к полупериоду тока (10 мс). Анализ гистограмм свиде-

тельствует, что при гололедном режиме импульсные выбросы большого уровня (тип 2), очевидно, образуются пробоями промежутка в начале полупериода тока, а выбросы меньшего уровня (тип 1) — срезами тока перед подходом тягового тока к нулевому значению.

Система вынуждена производить выделение полезных импульсных радиосигналов на фоне двух видов помех: случайных помех «гладкого» фона относительно устойчивого уровня и импульсных помех от коммутационных процессов оборудования локомотива достаточно большого уровня, соизмеримого с уровнем полезных импульсных сигналов и имеющих схожую с сигналом форму. На рис. 7 показана характерная форма коммутационной помехи от переключения оборудования в электровозе.

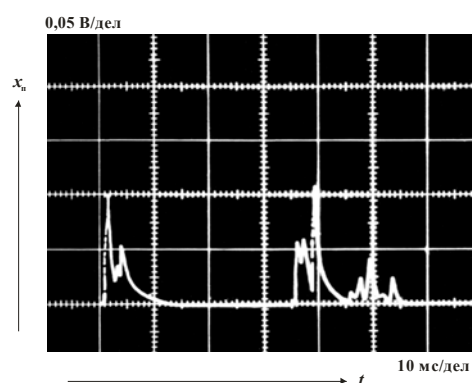


Рис. 7. Огибающая радиоизлучения помех от коммутационных переключений в электровозе

Отстройка системы от «гладких» помех фона производится в системе с помощью оптимального фильтра и оптимального порога срабатывания. Различение импульсных пакетов сигналов от импульсных помех локомотива осуществляется программным путем микропроцессором системы МК по алгоритму [2].

Устройство УПОС работает следующим образом. Высокочастотный сигнал, выделенный резонансным контуром, образованным индуктивностью W_2 антенного узла и конденсатором C_1 переменной емкости, поступает на повторитель сигнала ПС1, согласующий выходное сопротивление резонансного контура с входными цепями линейного усилителя высокой частоты УВЧ. Полоса принимаемых частот регулируется конденсатором C_1 . Необходимое усиление по высокой частоте регулируется в УВЧ. Усиленный высокочастотный сигнал детектируется линейным амплитудным детектором ЛАД, на выходе которого образуется сигналы, огибающие изменения высокочастотного процесса. Сигнал огибающей процесса поступает на оптимальный фильтр верхних частот, который

подавляет постоянную и низкочастотную составляющие помехи «гладкого» фона, пропускающая на выход только короткие импульсы, соответствующие импульсам от дуговых нарушений и ряд импульсов от возможных коммутационных помех от электроподвижного состава. Сигнал с выхода ФВЧ усиливается импульсным усилителем УИС и поступает на один из входов компаратора К. На второй вход компаратора К подается опорный пороговый сигнал оптимального уровня. Опорный сигнал образуется следующим образом. Детектированный сигнал через повторитель сигнала ПС2 поступает на интегратор сигнала ИС, на выходе которого формируется сигнал, пропорциональный уровню «гладкой» фоновой помехи. Этот сигнал усиливается до необходимого уровня усилителем УПТ и подается на вход блока суммирования порогов СП. На второй вход СП подается опорный постоянный уровень оптимального порога регистрации. Интегрированный сглаженный сигнал не влияет на значение установленного заранее постоянного оптимального порога регистрации до тех пор, пока он меньше установленного оптимального порога. Если интегральный сигнал от гладкого фона превысит уровень оптимального порога, то срабатывание компаратора будет происходить относительно суммы интегрированного уровня сигнала гладкого фона и установленного порога. При превышении уровня импульсного сигнала от УИС уровня порога от СП компаратор К сработает и подаст управляющий импульсный сигнал на сборку управляемых электронных ключей УК. Ключи замыкаются на время действия импульса компаратора и через них поступают сигналы для прямого запуска программы микроконтроллера МК (прямой вход) для обнаружения пакетов импульсов и аналоговый сигнал от УИС для анализа его параметров. МК работает по алгоритмам, приведенным в [1].

Алгоритм распознавания неисправных токоприемников состоит, прежде всего, в отделении пакетов полезных сигналов одиночных дуговых нарушений токосъема, появляющихся при прохождении неисправного токоприемника по контрольному участку контактной сети, от импульсных одиночных и сдвоенных импульсных помех. Алгоритмом фиксируется также периодичность повторения дуговых нарушений токосъема в пролетах контактной сети контрольного участка. Для распознавания дугового токосъема в режиме гололеда используется алгоритм, предусматривающий сравнение сум-

марного зафиксированного количества импульсов в реализации за выбранное время с некоторым пороговым значением. Для реализации алгоритма распознавания дуговых нарушений в режиме гололеда на микропроцессор дополнительно подается информация от цифрового датчика температуры окружающей среды ДТ.

МК формирует команды на срабатывание внутренней сигнализации и на ее периодический сброс, а также команды на передачу сигнала о факте нарушения в систему телесигнализации ТС КП через блок согласования с системой телемеханики. МК производит формирование протокола событий о дуговых нарушениях токосъема. Установка параметров и порогов, требуемых для реализации программного алгоритма распознавания режимов дуговых нарушений, вызов страниц протокола событий производится со встроенного блока клавиатуры. Для чтения протокола и контроля значений, установленных параметров, используется цифровой жидкокристаллический дисплей. МК имеет порт RS 232 для подключения персональной ЭВМ, с помощью которой может быть реализован канал передачи сообщений энергодиспетчеру по производственной сети *INTRANET*, а также осуществлена первичная загрузки или перезагрузка программ работы МК.

В качестве подтверждения правильности алгоритма и функционирования системы ниже приводятся примеры сигналов от дуговых нарушений токосъема, регистрируемых стационарной системой. На рис. 8, 9, 10 и 11 приведены осциллограммы процессов соответственно при одиночном дуговом отрыве, при дуговом нарушении на воздушном промежутке, при прохождении токоприемником секционного изолятора и от токосъема при гололеде, полученные с выхода УИС при испытаниях системы в эксплуатационных условиях.

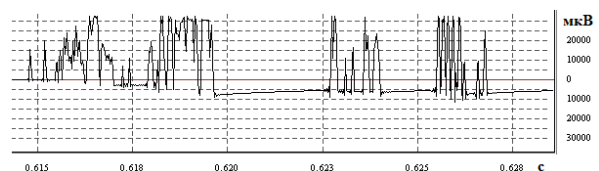


Рис. 8. Осциллограмма сигнала от дугового отрыва токоприемника электровоза грузового поезда

Одиночное дуговое нарушение (рис. 8) состоит из четырех пакетов импульсов, каждый из которых представляет собой плотный пакет. Очевидно, что в длительность отрыва токоприемника попали два перехода тягового тока через нуль. Пакеты следуют парами с периодом

повторения, примерно равным полупериоду тока, и образованы повторными пробоями воздушного зазора после среза тока в конце полупериода и повторными пробоями в начале полупериода перед зажиганием устойчивой дуги. Время пауз между импульсами в каждом пакете меньше установленного порога идентификации пакета, поэтому каждый такой пакет будет идентифицирован системой как отдельное дуговое нарушение. Так как длительность пауз между соседними пакетами составляют менее 10 мс, то такой сигнал объединяется системой в одно дуговое нарушение.

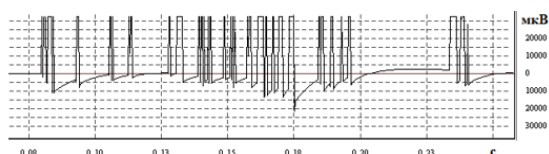


Рис. 9. Осциллограмма сигнала от дугового нарушения при проходе токоприемником воздушного промежутка

Общая длительность пакета импульсов при проходе токоприемником воздушного промежутка (рис. 9) составила порядка 240 мс. В таком сигнале присутствуют локальные пакеты, в которых отрезки времени пауз между соседними импульсами меньше установленного порога. Пакеты друг от друга отстоят на интервалах времени более 10 мс. Поэтому такой процесс будет зарегистрирован системой как несколько дуговых нарушений.

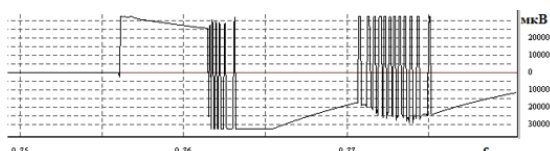


Рис. 10. Осциллограмма сигнала от дугового нарушения на секционном изоляторе

При дуговом нарушении на секционном изоляторе (рис. 10) зарегистрировано два пакета, плотность которых также соответствует условию объединения содержащихся в них импульсов в пакеты. Пауза между пакетами менее 10 мс. Система регистрирует такой сигнал как одиночное дуговое нарушение.

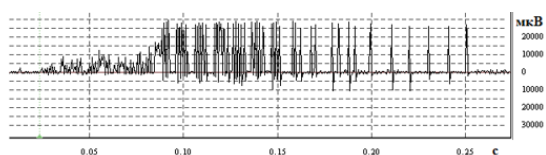


Рис. 11. Осциллограмма сигнала при проходе токоприемником гололедного участка

Экспериментальная запись сигналов от дугового нарушения токосяема при гололеде соответствует следующим условиям: искусственный гололед при температуре $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$; протяженность – 3 м; электровоз ЧС4 переменного тока с пассажирским составом при скорости около 40 км/ч; сближение с антенным узлом – 35 м. Длительность реализации T_p составляет порядка 280 мс. Как видно, процесс состоит из плотных пакетов и отдельных одиночных и сдвоенных импульсов. Общее число фактов будет больше числа установленного порога $g = 2 \cdot f \cdot T_p$, где f – частота тока; T_p – время реализации. Такой состав полностью соответствует алгоритму распознавания дугового токосяема при гололеде и будет зарегистрирован как рассматриваемый режим.

На рис. 12 показана характерная осциллограмма сигналов от коммутационных помех электроподвижного состава. Как видно отдельные импульсы не могут быть объединены в пакет, т.к. условия алгоритма распознавания дуговых нарушений по длительности пауз между импульсами и по количеству зарегистрированных подряд импульсов не выполняются. Такой сигнал будет определен системой как помеха и зарегистрирован не будет.

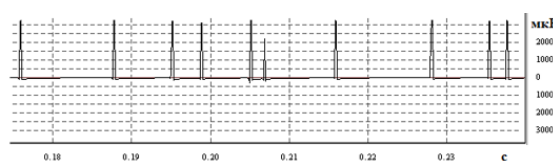


Рис. 12. Осциллограмма сигнала от коммутационных помех электроподвижного состава

Таким образом, радиосистема регистрации дуговых нарушений токосяема производит различение сигналов, способна проводить идентификацию дуговых нарушений, регистрировать неисправности токоприемника и гололедные режимы по дуговым нарушениям токосяема.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пат. РФ №2249511. Способ непрерывного контроля качества взаимодействия контактной подвески и токоприемников электроподвижного состава [Текст] / Ю. И. Жарков, Ю. Г. Семенов, Е. П. Фигурнов. – Оpubл. 10.04.05. – Бюл. № 10.
2. Жарков, Ю. И. Основы принятия оптимальных решений системой контроля дуговых нарушений токосяема [Текст] / Ю. И. Жарков, Ю. Г. Семенов // Вестник РГУ ПС. – 2006. – № 3. – Ростов-на-Дону, 2006. – С. 82-85.

Поступила в редколлегию 18.03.2009.