

В.М. ЛИСЕНКОВ,
заведующий кафедрой
МГУПС, доктор техн. наук,
профессор
А.Е. ВАНЬШИН,
М.В. КАТКОВ,
ассистенты

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЕЙ

■ Показатели безопасности функционирования.

Функциями рельсовых цепей являются обнаружение разрушенного рельса в пределах рельсовой линии, поезда или его части. С помощью РЦ определяют изменения параметров сигналов контроля состояний рельсовой линии, когда ее рельсовые нити соединяются между собой колесными парами поезда (поездным шунтом) или нарушается целостность хотя бы одной из них вследствие разрушения рельса. При этом надо учитывать помехи, которые вызывают ошибки двух видов: необнаружение поездного шунта или разрушения рельса в пределах рельсовой линии, и ложное обнаружение при их отсутствии.

Ошибки первого вида являются опасными, так как их последствиями могут быть столкновения или сходы поездов. Ошибки второго вида неопасные, поскольку приводят лишь к задержке поездов.

Принимая это во внимание, можно сформулировать следующие понятия:

безопасность функционирования РЦ – это ее свойство работать без опасных ошибок;

показатель безопасности функционирования РЦ – это вероятность ее действия без опасных ошибок в течение какого-то времени или при выполнении определенного числа рабочих циклов;

риск возникновения опасной ошибки – это возможность ее возникновения;

показатель риска возникновения опасной ошибки – вероятность ее возникновения за определенное время функционирования или при выполнении определенного числа циклов работы.

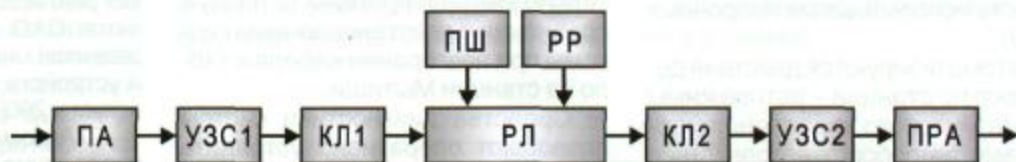
Рельсовая цепь является безопасной, если значение показателя безопасности не меньше нормативного, а значение показателя риска опасной ошибки не более нормативного.

Другой конец рельсовой линии соединяется с приемной аппаратурой ПРА с помощью УЗС2 и кабельной линии КЛ2. В состав приемной аппаратуры входят (рис. 3) полосовой фильтр ПФ2, детектор Д, полосовой фильтр ПФ3, ограничитель ОГ, решающее устройство РУ, декодер ДК, выпрямитель В и реле Р.

Функциональные узлы передающей аппаратуры выполняют такие же функции, что и аналогичные узлы любой другой системы передачи дискретной информации (СПДИ). Имеются лишь не принципиальные отличия. Во-первых, кодер К формирует лишь одну из возможных кодовых комбинаций для маркировки («окрашивания») сигнала контроля рельсовой линии. В ТРЦ в качестве кодовых комбинаций используют последовательности импульсов с периодами следования $T_1 = 1/8$ с и $T_2 = 1/12$ с. Во-вторых, параметры УЗС1, УЗС2 и других функциональных узлов подбирают таким образом, чтобы входные сопротивления передающей и приемной аппаратуры со стороны рельсовой линии обеспечивали все режимы работы ТРЦ, а именно, нормальный, шунтовой и контрольный.

Однако принципиально различаются функции рельсовой и проводной линий. Параметры проводной линии изменяются в процессе эксплуатации незначительно, и она создает практически постоянную среду распространения электромагнитной энергии сигналов. На параметры рельсовой линии существенно влияют поездный шунт ПШ или разрушенный рельс РР. В результате изменяются параметры сигналов контроля состояния рельсовой линии, поэтому ее можно рассматривать как некую линию-модулятор (М-линию), осуществляющую вторичную модуляцию сигналов контроля, поступающих на ее вход. В этих изменениях содержится информация о наличии поезда или разрушенного рельса в пределах рельсовой линии. Чем больше будут

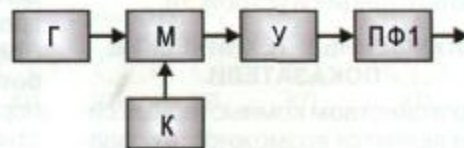
РИС. 1



■ Функциональные особенности ТРЦ. Функциональная

схема ТРЦ приведена на рис. 1, ее передающая аппаратура – на рис. 2. Последняя содержит генератор несущих колебаний Г, манипулятор М, кодер К, усилитель У, полосовой фильтр ПФ1. Передающая аппаратура ПА подключена к рельсовой линии с помощью устройства защиты и сопряжения УЗС1 и кабельной линии КЛ1.

РИС. 2



изменяться параметры сигналов в результате их вторичной модуляции, тем большей безопасности функционирования рельсовой цепи можно достичь.

В нормальном режиме функциональные узлы систем передачи дискретной информации и РЦ работают аналогично. Они реализуют поэлементный прием и различают сигналы, отличающиеся кодовыми комбинациями [1]. В тональной рельсовой цепи декодер ДК различает сигналы, имеющие разный период следования импульсов (T_1 или T_2), поэтому он выполнен в виде полосового фильтра ПФЗ. Декодер идентифицирует сигнал и совместно с реле Р принимает решение о принадлежности его к рельсовой цепи. Но имеются существенные различия в функциях приемной аппаратуры РЦ в шунтовом и контрольном режимах и системы передачи дискретной информации.

При переходе ТРЦ в шунтовой или контрольный режим сигнал на входе приемной аппаратуры существенно уменьшается и при определенных условиях может быть близким к нулю. Поэтому для выявления поездного шунта и разрушенного рельса необходимо обнаружить «пассивный» сигнал, когда токовый («активный») на входе решающего устройства отсутствует или меньше его порога. При обратном переходе в нормальный режим тональная рельсовая цепь должна обнаружить «активный» сигнал.

Таким образом, в системах передачи дискретной информации решается только одна задача различения сигналов, а в рельсовой цепи – две: обнаружения и различения сигналов. Поэтому безопасность ее функционирования зависит от ошибок при решении этих задач.

Безопасность функционирования РЦ зависит также от безопасности функционирования аппаратных и программных средств. Безопасность функционирования аппаратных средств – это их свойство функционировать без опасных отказов, а ее показатель – вероятность функционирования этих средств без опасных отказов в течение определенного времени или за конкретное число циклов работы рельсовой цепи. При этом под опасным понимается отказ, воздействие которого на процесс движения вызывает переход его в опасное состояние.

Аналогично формулируются понятия безопасности функционирования программных средств рельсовой цепи и показателя риска их опасной ошибки [2].

Методы повышения помехоустойчивости при аддитивных случайных помехах. Повысить помехоустойчивость тональных рельсовых цепей можно, владея полной информацией о видах и количественных характеристиках помех, воздействующих на них. В настоящее время хорошо изучены виды и источники помех в рельсовых линиях, пути их проникновения в рельсовые цепи, но совершенно недостаточен объем знаний о количественных характеристиках помех. Чтобы повысить безопасность тональных рельсовых цепей при минимальной энергии сигналов, необходимо провести системные экспериментальные и теоретические исследования характеристик и параметров помех в них.

Помехоустойчивость рельсовых цепей определяется помехоустойчивостью сигналов контроля состояния рельсовых цепей, формируемых в передатчиках; сигналов со вторичной модуляцией, формируемых в М-линии; помехоустойчивостью приемников при обнаружении и различении сигналов, а также алгоритмами принятия решений.

Анализу эффективности методов повышения помехоустойчивости систем передачи дискретной информации и обнаружения сигналов при аддитивных помехах посвящен ряд фундаментальных работ. Результаты, полученные в этих работах, позволяют утверждать, что тональные рельсовые цепи системы АБТЦ обладают самой низкой помехоустойчивостью из всех возможных вариантов реализации РЦ, так как:

для передачи информации о принадлежности сигнала к определенной ТРЦ используются АМ-сигналы, отличающиеся самой низкой помехоустойчивостью;

в приемнике применяют амплитудный детектор огибающей, устройства преддетекторной и последдетекторной обработки сигналов, которые не обеспечивают его высокой помехоустойчивости;

при различении и обнаружении сигналов используют одно решающее устройство с постоянным порогом срабатывания.

Благодаря освоению микроэлектронной элементной базы и разработке методов обеспечения безопасности аппаратных и программных средств стало технически возможным применение более помехоустойчивых форм сигналов и методов их обработки в приемниках. В результате этого появился резерв повышения помехоустойчивости ТРЦ и, как следствие, резерв повышения безопасности их функционирования.

При создании новых систем централизованной автоблокировки возникает вопрос рационального использования этого резерва помехоустойчивости. Для обоснованного ответа на него необходимо знать, во-первых, нормативные значения вероятностей опасных и неопасных ошибок, которые следует обеспечить; во-вторых, фактические значения вероятностей опасных и неопасных ошибок применяемых ТРЦ; в-третьих, эффективность методов повышения помехоустойчивости рельсовых цепей в конкретных условиях их применения.

Для повышения безопасности тональных рельсовых цепей в АБТЦ, отличающихся меньшими вероятностями неопасных отказов, необходимо применять:

в передатчиках рельсовых цепей ЧМ- или ФМ-сигналы;

комбинации помехоустойчивых кодов для маркировки этих сигналов;

приемники с двумя параллельными трактами обработки сигналов, а именно, для различения сигналов и их обнаружения;

в каждом из трактов методы детектирования, преддетекторной и последдетекторной обработки, оптимальные для различения или обнаружения сигналов;

два решающих устройства с различными алгорит-

мами принятия решений – один для различения сигналов и другой для их обнаружения.

Таким образом, чтобы повысить безопасность функционирования рельсовой цепи и снизить степень их влияния на задержку поездов, необхо-



РИС. 3

димо изменить подход к их разработке и проектированию, а именно, шире применять методы повышения помехоустойчивости ТРЦ, известные из статистической теории обнаружения и различения сигналов.

■ **Методы обеспечения помехоустойчивости при детерминированных помехах.** Рассмотрим методы повышения помехоустойчивости тональных рельсовых цепей при детерминированных помехах. К ним относятся сигналы контроля состояния рельсовых линий других ТРЦ одной и той же системы централизованной автоблокировки, сигналы АПС, гармоники тягового тока. Известны формы таких помех, источники и пути проникновения в рельсовые цепи, а также методы обеспечения помехоустойчивости при их воздействиях, т. е. электромагнитной совместимости.

Проблема обеспечения ЭМС актуальна потому, что, во-первых, при отсутствии изолирующих и электрических стыков сигналы одной рельсовой цепи распространяются в смежные ТРЦ. Во-вторых, между отдельными цепями кабельных линий (КЛ1, КЛ2) имеются взаимные влияния, которые усиливаются при нарушениях изоляции жил. В-третьих, сигналы одной рельсовой цепи по обходным путям могут попасть через третьи цепи на вход приемной аппаратуры своей или другой ТРЦ, минуя рельсовые линии.

В централизованной автоблокировке с тональными рельсовыми цепями для обеспечения ЭМС различных ТРЦ применены 10 разных сигналов контроля состояния рельсовых линий. Они отличаются частотами несущих (420, 480, 580, 720 и 780 Гц) и периодами импульсных последовательностей ($T_1 = 1/8$; $T_2 = 1/12$ с), которыми несущие манипулируются по амплитуде в манипуляторе М. Для идентификации этих сигналов, поступающих на вход приемной аппаратуры, по частотному признаку в ней применены полосовые фильтры ПФ2, ПФ3 и декодер ДК, который выполнен в виде фильтра ПФ3. Если на двухпутном перегоне существенно больше 10 рельсовых цепей, то они могут иметь одинаковые сигналы. Это увеличивает возможность взаимных влияний между ними.

Рассмотрим взаимные влияния между тональными рельсовыми цепями централизованной автоблокировки, вследствие которых возникают опасные ошибки.

Во-первых, в однокабельной магистрали нарушение изоляции жил первой кабельной линии одной рельсовой цепи может вызвать появление сигналов достаточно высокого уровня во второй кабельной линии другой ТРЦ. При идентичности сигналы одной из них будут использоваться в приемной аппаратуре другой.

Во-вторых, в однокабельной магистрали при нарушении изоляции первой кабельной линии одной рельсовой цепи появляются сигналы достаточно высокого уровня во второй кабельной линии той же ТРЦ, минуя рельсовую линию.

В-третьих, в однокабельной и двухкабельной магистралях нарушение изоляции между вторыми кабельными линиями двух разных рельсовых цепей с идентичными сигналами приводит к использованию в приемной аппаратуре одной рельсовой цепи сигналов другой.

В-четвертых, в однокабельной и двухкабельной магистралях сигнал рельсовой цепи поступает на вход ее приемной аппаратуры через третьи цепи, т. е. минуя рельсовую линию.

В-пятых, в однокабельной и двухкабельной магистралях сигнал одной рельсовой цепи поступает через

третьи цепи на вход приемной аппаратуры другой ТРЦ с идентичными сигналами.

Для исключения или снижения рассмотренных взаимных влияний, а следовательно, и вероятностей возникновения опасных ошибок в тональных рельсовых цепях, возможно:

использовать двухкабельные магистрали, что исключит взаимные влияния, которые имеют место в первом и втором случаях;

применять во всех рельсовых цепях сигналы различных форм, что в однокабельной магистрали исключит взаимные влияния, которые происходят в первом, третьем и пятом случаях;

контролировать целостность изоляции жил кабельных линий, что позволит исключить взаимные влияния, которые имеются в первом, втором и третьем случаях; поочередно контролировать состояния рельсовых линий различных блок-участков, что позволит исключить взаимные влияния, которые имеют место в первом, третьем и пятом случаях;

применять в первой и второй кабельных линиях сигналы различных форм, что позволяет исключить все взаимные влияния, кроме четвертого случая [3].

Решение о применении этих методов при разработке новой системы или при модернизации действующей должно приниматься только после технико-экономического обоснования.

Рассмотрим возможные методы повышения безопасности функционирования действующей централизованной автоблокировки с тональными рельсовыми цепями. В этой системе применены двухкабельная магистраль и контроль целостности изоляции жил кабеля, благодаря чему отсутствуют все взаимные влияния, кроме тех, которые идут через третьи цепи. Прохождение сигналов передатчика ТРЦ на вход приемника той же рельсовой цепи через третьи цепи не исключается ни одним из перечисленных методов. Прохождение сигналов передатчика ТРЦ на вход приемника другой рельсовой цепи с аналогичными сигналами может быть исключено путем применения во всех рельсовых цепях сигналов различных форм. Для этого необходимо использовать в качестве маркирующих признаков не периоды T_1 и T_2 последовательностей импульсов, а кодовые комбинации помехоустойчивого кода. Но в этом случае необходимо вместо генераторов периодических сигналов разработать кодер с числом кодовых комбинаций не меньше максимального числа блок-участков на перегоне, вместо фильтров в приемной аппаратуре применять декодеры, а также элементы синхронизации работы кодеров и декодеров. Если эти функциональные узлы разрабатывать на элементах дискретной электроники, на которых реализована централизованная автоблокировка с тональными рельсовыми цепями, то аппаратура будет очень громоздкой и ненадежной. Следовательно, необходимо переходить на новую микроэлектронную элементную базу, то есть практически реализовывать новую систему ЦАБ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Харкевич А. А. Борьба с помехами. — М.: Физматгиз, 1963 г., 276 с.
2. Лисенков В. М. Статистическая теория безопасности движения поездов. Учебник для вузов. — М.: ВИНТИ РАН, 1999 г., 332 с.
3. Лисенков В. М. Теория автоматических систем интервального регулирования. М.: Транспорт, 1987 г., 150 с.