

## ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ И СИНТЕЗ КРИТЕРИЕВ ОПАСНЫХ ОТКАЗОВ РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЕЙ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ

В роботі доповнено часовими характеристиками критерії небезпечних відмов рейкових кіл різних типів.

В работе дополнены временными характеристиками критерии опасных отказов рельсовых цепей различных типов.

In the paper the criteria of dangerous refusals of track circuits of different types are complemented by the time features.

### Введение, анализ исследований и постановка задачи

Одним из основных технических устройств, непосредственно обеспечивающим безопасность движения поездов, является датчик состояния участка пути – рельсовая цепь (РЦ). В ее функции входит фиксация наличия подвижной единицы, осуществление контроля целостности рельсовой линии, применение в качестве телемеханического канала связи и некоторые другие.

Согласно нормативной документации [1, 2], в процессе функционирования рельсовых цепей вероятность возникновения опасного отказа типа «ложная свободность» должна быть сведена к минимуму. Причем численное значение интенсивности таких отказов не должно превышать  $0,14 \cdot 10^{-10}$  (1/ч) за каждый час работы РЦ [2].

С другой стороны, факт возникновения опасного отказа может быть зафиксирован только в случае нарушения соответствующего критерия, т.е. при обнаружении признака или совокупности признаков нарушения безопасного состояния системы, установленных в нормативной и (или) проектно-конструкторской документации (п. 3.2.9 [2]).

Для систем электрической централизации, в которых выходные каскады датчиков построены на реле первого класса надежности, таким признаком является фиксация возбужденного состояния путевого реле при фактической занятости рельсовой линии или нарушении ее целостности [3]. Аналогичный критерий применяется в системах автоматической блокировки на перегонах [4 – 5].

Отметим, что при формализации критерия опасного отказа рельсовых цепей для релейных систем не фиксируются временные параметры.

Данные характеристики определяются быстродействием применяемых реле и перечислены в соответствующей нормативной документации [6]. С другой стороны, отсутствие анализа временных признаков сигналов в рельсовой линии привело к необходимости ввода данной функциональности в алгоритм работы систем.

Так, например, в электрической централизации промежуточных станций (ЭЦ-8) [7], с групповым замыканием и размыканием секций маршрута для защиты от преждевременного размыкания маршрута при потере шунта (загрязненные рельсы, короткая подвижная единица) освобождение стрелочных секций фиксируется групповым медленнодействующим на срабатывание реле МНСП (НМШТ-1800). Задержка на срабатывание этого реле выбирается не менее 8 с, что примерно в два раза превышает время потери шунта, полученное на основе статистических данных [8]. Аналогичные решения предусмотрены в электрической централизации промежуточных станций (ЭЦ-12) [9] с индивидуальным замыканием и размыканием секций маршрута, где освобождение секции фиксируется медленнодействующим реле МСП (для каждой секции маршрута).

В системе БМРЦ [10] применяется секционное замыкание и размыкание маршрута, однако для защиты от ложного размыкания каждая секция (кроме первой в маршруте) размыкается с проверкой следующих условий безопасности: размыкание предыдущей ( $i - 1$ )-ой секции; занятие подвижным составом  $i$ -ой секции; освобождение  $i$ -ой секции и занятие следующей ( $i + 1$ )-ой секции. Первая секция размыкается с проверкой трех последних условий. Тем не менее, для последней секции в маршрутах отправления, также как и в предыдущих системах ЭЦ, предусматривается ее размыкание с соответствующей выдержкой времени, которая реа-

лизована с помощью повторителя путевого реле с замедлением на притяжение (МП).

Проведенный анализ показывает, что формализация критерия опасного отказа рельсовой цепи сформировалась, исходя из предположения применения релейного выходного каскада. Исключение нарушения безопасного режима функционирования систем управления движением поездов производится за счет выбора адекватного алгоритма работы и соответствующих схемно-технических решений. С другой стороны, в настоящее время происходит процесс синтеза систем управления движением поездов на основе применения микропроцессорных (МП) средств. В случае применения МП устройств вместо путевого реле в качестве безопасного выходного каскада РЦ, с учетом значительного быстродействия средств вычислительной техники, остается открытым вопрос о критерии опасного отказа датчика. Т.е. в настоящее время нет ответа на ряд насущных вопросов, касающихся, в первую очередь, временных характеристик работы МП РЦ.

Таким образом, *целью данной работы* является дальнейшее развитие теории безопасности систем железнодорожной автоматики и телемеханики за счет дополнения критерия опасного отказа рельсовой цепи временными характеристиками.

### Основной материал

Как известно (например, [1, 2]), аппаратура РЦ подразделяется на оборудование передающего, приемного концов и рельсовую линию (РЛ). Обеспечение функциональности производится за счет сигнального тока, формируемого на передающем конце и проходящего по РЛ. Качественные признаки таких сигналов зависят от типа рельсовой цепи, от частоты и уровня помех тягового тока. Кроме этого, использование РЦ как телемеханического канала связи обуславливает использование различных видов модуляции сигнального тока: амплитудной, частотной и фазовой.

Рассмотрим ток в рельсовой линии как функцию  $i_{рц}(t)$  и классифицируем типы РЦ по закону ее изменения (табл. 1).

В существующем оборудовании рельсовых цепей в качестве выходного каскада приемной части применяются реле. При свободном состоянии рельсовой линии ток  $i_{рц}(t)$  проходит по входным цепям путевого приемника (ПП), что приводит к срабатыванию и удержанию путевого реле. На выходе ПП появляется дис-

кретная информация о свободности и исправном состоянии рельсовой линии. В случае ее занятия подвижной единицей основная часть тока проходит через колесные пары, путевого приемник обесточивается и на его выходе появляется информация о занятом состоянии РЦ.

Таблица 1

#### Классификация рельсовых цепей по закону изменения тока в рельсовой линии

Тип рельсовой цепи	Закон изменения тока в рельсовой линии
Постоянного тока	$i_{рц}(t) = A(t)i_{п}, \quad (1)$ <p>где <math>A(t)</math> – некоторая, как правило, дискретная функция;  <math>i_{п}</math> – амплитуда тока источника питания.</p>
Переменного тока с амплитудной модуляцией	$i_{рц}(t) = A(t)i_{п} \cos(\omega t + \varphi). \quad (2)$ <p>В станционных некодируемых рельсовых цепях <math>A(t) = 1</math>, тогда выражения для РЦ 25 Гц:  <math>i_{рц}(t) = i_{п} \cos(157t + \varphi)</math>,                      50 Гц: <math>i_{рц}(t) = i_{п} \cos(314t + \varphi)</math>,                      где <math>\varphi</math> – фаза колебаний, используемая в фазочувствительных РЦ. В кодируемых рельсовых цепях переменного тока <math>A(t)</math> – дискретная функция.</p>
Переменного тока с частотной модуляцией	$i_{рц}(t) = i_{п} \cos(\Omega t + \varphi), \quad (3)$ <p>где <math>\Omega</math> – функция частотной модуляции.</p>
Переменного тока с фазовой модуляцией	$i_{рц}(t) = i_{п} \cos(\omega t + \Phi), \quad (4)$ <p>где <math>\Phi</math> – функция фазовой модуляции.</p>

Это функционирование рельсовой цепи в штатном режиме, при возникновении отказа данный дискретный датчик выдает искаженную информацию, для характеристики которой применяются установившиеся термины: «ложная занятость» или «ложная свободность». Как известно [11 – 13], в первом случае отказ РЦ является защитным, во втором – опасным.

Сформулируем соответствующий критерий, как признак или совокупность признаков опасного состояния системы, который должен быть установлен в нормативно-технической документации на данное устройство [2]. Очевидно,

что следует привести общий критерий, без учета элементной базы реализации путевого приемника, после чего его необходимо дополнить временными характеристиками при условии применения средств микропроцессорной техники.

*Критерий опасного отказа путевого приемника рельсовой цепи (общий).* Появление на выходе путевого приемника информации о свободности рельсовой цепи при ее фактической занятости или нарушении целостности (например, [11]).

Как отмечено выше, данный критерий, устанавливаемый в нормативно-технической до-

кументации при разработке микропроцессорного путевого приемника, не будет являться достаточным. Рассмотрим данную проблему на примере сравнения функционирования оборудования РЦ переменного тока, с путевым приемником ДСШ и микропроцессорного устройства (МП ПП), выполняющего аналогичные функции (рис. 1). Отметим, что в программном обеспечении МП ПП предполагается пороговая фиксация наличия входного сигнала и, в отличие от путевого приемника ТРЦ [12], передача выходной информации осуществляется без применения реле.

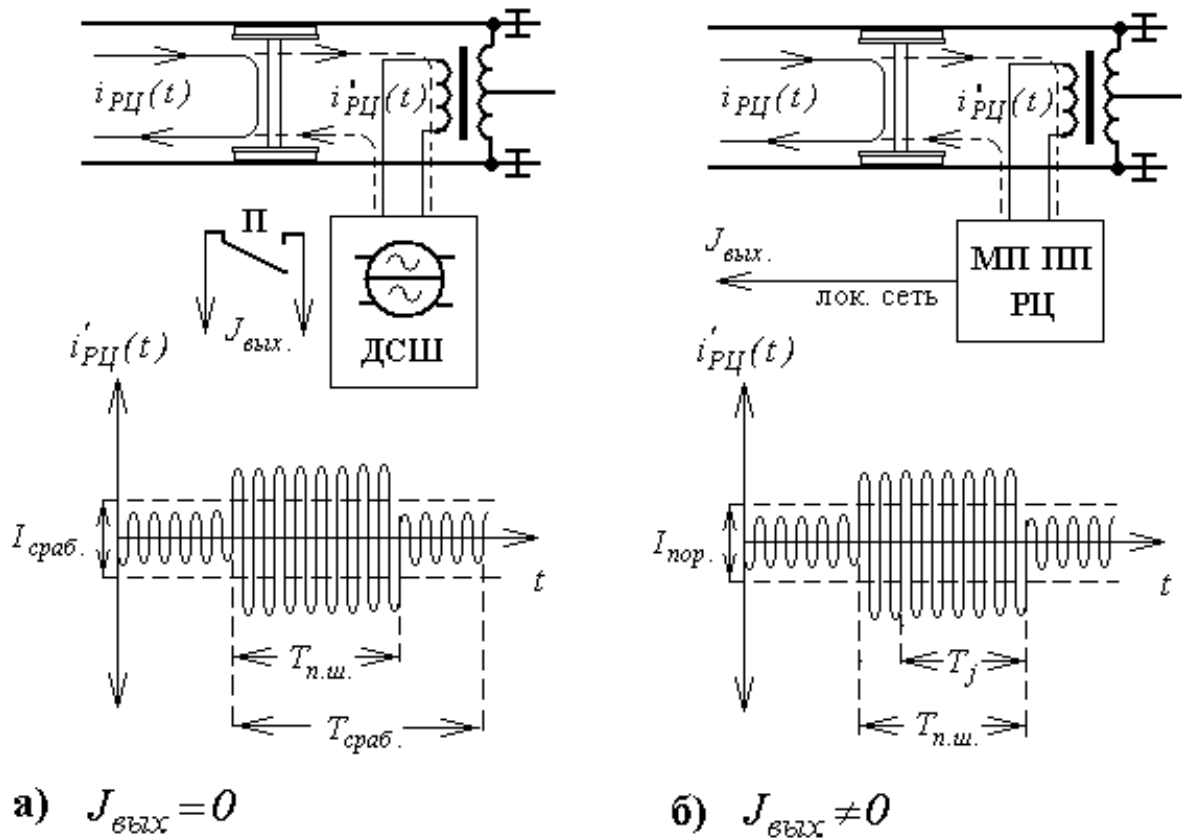


Рисунок 1 - Функционирование релейного а) и микропроцессорного б) приемников РЦ при кратковременной потере шунта

Так, при кратковременной потере шунта, длительностью  $T_{\text{н.ш.}}$ , во входных цепях путевого приемника ток  $i'_{PC}(t)$  увеличивается до такого значения  $I_{\text{сраб.}}$ , что наводимое им на обмотке напряжение превысит порог срабатывания путевого реле П (рис. 1, а). Однако если длительность воздействия такой помехи меньше времени срабатывания реле ДСШ ( $T_{\text{н.ш.}} < T_{\text{сраб.}}$ )

выходная информация  $J_{\text{вых}}$  о свободности рельсовой линии не появится, т.е.  $J_{\text{вых}} = 0$ . В данном случае происходит фильтрация опасных отказов за счет инерционности релейной элементной базы, следовательно, при формулировке общего критерия нет необходимости в уточнении временных характеристик входных сигналов.

В свою очередь, средства микропроцессорной техники позволяют выявить сигнал, превышающий порог срабатывания  $I_{пор.}$ , в течение двух-трех периодов функции  $i'_{рц}(t)$  [14, 15]. Данный промежуток времени распознавания сигнала  $T_{расп.}$  составляет: для РЦ-25 Гц – 80...120 мс, для РЦ-50 Гц – 40...60 мс.

Если длительность промежутка времени  $T_{п.ш.}$  (рис. 1, б), в течение которого по входным цепям МП ПП проходит ток  $i'_{рц}(t)$ , больше  $T_{расп.} = T_{п.ш.} - T_j$ , то устройство может передавать информацию  $J_{вых.}$  о свободности рельсовой линии, т.е.  $J_{вых.} \neq 0$ . Однако фактически поезд может находиться в зоне действия датчика, следовательно, формирование и передача такой информации будет являться опасным отказом типа «ложная свободность».

Наиболее логичным в данной ситуации следует принять временные параметры релейных путевых приемников в качестве основных, как доказавших за более чем полувековой период эксплуатации высокие показатели функциональной безопасности. На основе такого подхода сформулируем общий принцип синтеза критериев опасных отказов: выдача МП ПП информации о свободном состоянии РЦ при появлении сигнала  $i'_{рц}(t)$ , превышающего порог  $I_{пор.}$ , в рельсовой линии ранее, чем время срабатывания релейного путевого приемника, соответствующего данному типу рельсовой цепи. Выдача такой информации должна продолжаться при уменьшении уровня входного сигнала в течение промежутка времени, не превышающего задержку на отпускание релейного ПП. Аналогично для фазовых и частотных признаков сигналов соответствующих РЦ.

Детализируем критерии для рассмотренных выше типов рельсовых цепей (табл. 1):

1. Постоянного тока. Как известно, РЦ такого типа нашли применение в импульсно-проводной автоблокировке [4, 12], которая является устаревшей и применение такого типа РЦ во вновь разрабатываемых микропроцессорных системах неоправдано. С другой стороны, с целью охвата всех известных и перспективных типов РЦ, целесообразно сформулировать соответствующий критерий.

В импульсно-проводной АБ импульсы постоянного тока, согласно выражению (1), формируются на питающем конце маятниковым трансмиттером МТ-1 с периодом следования

105 (имп./мин.). На приемном конце, при свободном и ненарушенном состоянии рельсовой линии, они принимаются импульсным реле И. Путевое реле П, входящее в состав дешифратора, срабатывает во время первого интервала (минимальное значение  $T_{сраб.}$ ) и обесточивается после первого отсутствия импульса  $i'_{рц}(t)$ . Следовательно, критерием опасного отказа следует считать формирование информации о свободном состоянии РЦ ранее 1,75 с после фиксации наличия импульса постоянного тока на приемном конце. Выдача такой информации должна продолжаться в течение промежутка времени, не превышающего 1,75 с (до момента прихода следующего импульса). При его отсутствии МП ПП должен выдавать информацию о занятии РЦ.

2. Переменного тока с амплитудной модуляцией. Рельсовые цепи такого типа нашли применение в системах электрической централизации (фазочувствительные с частотой 50, 25 Гц с путевыми приемниками ДСШ), кодовой автоблокировке (функция  $A(t)$  в выражении (2) представляет собой код КЖ, Ж или З [4, 12]), тональной частоты (функция  $A(t)$  – импульсы с частотой следования 8 или 12 Гц). Критерии опасного отказа для перечисленных типов рельсовых цепей следующие:

- для фазочувствительных РЦ [3] критерием опасного отказа является формирование информации о свободности РЛ в случае невыполнения условий:  $i'_{рц}(t) > I_{сраб.}$  и  $\varphi = \varphi_{ном.}$ , где  $\varphi_{ном.}$  – номинальный фазовый сдвиг между током  $i'_{рц}(t)$  и эталонным (фаза тока в местной обмотке ДСШ), а также в случае выдачи информации в промежуток времени, меньший 0,6...0,7 с, после фиксации  $i'_{рц}(t)$  (время задержки на срабатывание ДСШ). Информация о свободности не должна выдаваться более 0,7 с после пропадания входного сигнала. Обработка кратковременной потери шунта также может быть реализована в МП ПП, однако это должна быть информационная составляющая, не влияющая на основной критерий;

- в кодовой автоблокировке функции путевого реле выполняет сигнальное реле Ж и его повторитель Ж1 [4, 12]. Формулировка критерия основана на анализе работы дешифратора КАБ: выдача информации о свободности РЦ ранее приема и дешифрации полной кодовой посылки (промежуток времени 1,86 с) и про-

должение ее формирования в речении времени, большего 1,86 с после пропадания сигнала;

- в тональных рельсовых цепях временная характеристика состоит из времени фиксации несущей частоты, демодуляции модулирующего сигнала и задержки на срабатывания выходного реле АНШ [4, 12]. Критерием опасного отказа ТРЦ является выдача информация о свободности ранее 0,3 с после фиксации наличия сигнала и продолжение ее формирования более 0,1 с после его исчезновения.

3. Рельсовые цепи с частотной модуляцией не нашли применения в релейных системах автоматики и телемеханики. В связи с этим не представляется возможной ориентация на рассмотренные выше подходы. Однако, учитывая параметры рельсовой линии, следует отметить, что в качестве несущей частоты тока  $i_{рц}(t)$  могут применяться только низкочастотные колебания, а частота модуляции должна, как минимум, на порядок быть меньшей. Следовательно, по количественным значениям функции (3) можно ориентироваться на ТРЦ, а значит принять соответствующую формулировку критерия опасного отказа.

4. Рельсовые цепи с фазовой модуляцией также не нашли применения в релейных системах автоматики и телемеханики. Как и в предыдущем случае, принимаем формулировку критерия опасного отказа ТРЦ.

### Выводы и практические рекомендации

Таким образом, в работе получила дальнейшее развитие теория безопасности систем железнодорожной автоматики и телемеханики за счет дополнения критерия опасного отказа рельсовой цепи временными характеристиками для различных типов РЦ.

Предложенные критерии могут быть использованы как при синтезе микропроцессорных путевых приемников, так и при доказательстве их функциональной безопасности. Кроме этого, приведенные временные параметры времени могут быть использованы для обеспечения дополнительной функциональности датчиков, например, с целью технической диагностики устройств.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Правила технічної експлуатації залізниць України [Текст]: Затв.: Наказ Мінтрансу України від 20 грудня 1996 р. № 411. Із змінами і доповненнями, внесеними наказом Мінтрансу України від 8 червня 1998 р. № 226, від 23 липня 1999 р. № 386, від 19 березня 2002 р. № 179. – К., 2003. – 134 с.

2. ДСТУ 4178-2003. Комплекси технічних засобів систем керування та регулювання руху поїздів. Функційна безпечність і надійність. Вимоги та методи випробування [Текст]. – К.: Держспоживстандарт України, 2003. – 31 с.
3. Станционные системы автоматики и телемеханики [Текст] / Вл. В. Сапожников и др. – М.: Транспорт, 1997. – 432 с.
4. Путевая блокировка и авторегулировка [Текст]: учебн. для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. / под ред. Н. Ф. Котляренко. – М.: Транспорт, 1983. – 400 с.
5. Телеуправление стрелками и сигналами [Текст]. – изд. 2-е, перераб. и доп. / А. С. Переборов и др. – М.: Транспорт, 1975. – 448 с.
6. Сороко, В. И. Аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики [Текст]: справочник: в 2 кн. – Кн. 1. – 3-е изд. / В. И. Сороко, В. А. Милуков. – М.: НПФ «ПЛАНЕТА», 2000. – 969 с.
7. Типовые проектные решения 501-0-61. Электрическая централизация промежуточных станций: ЭЦ-8 [Текст]: Утв. и введ. в действие Главным Управлением сигнализации и связи МПС СССР с 01.04.75. – М., 1975.
8. Ведомственные нормы технологического проектирования [Текст] / МПС СССР. – Л.: Транспорт, 1986. – 125 с.
9. Типовые проектные решения 501-05-46.84. Электрическая централизация промежуточных станций: ЭЦ-12-83 (Альбом I-II) [Текст]: Утв. и введ. в действие Главным Управлением сигнализации и связи МПС СССР с 25.04.84. – М., 1984.
10. Типовые проектные решения 501-0-98. Схемы маршрутной релейной централизации: МРЦ-13 (Альбом I, V) [Текст]: Утв. и введ. в действие Главным Управлением сигнализации и связи МПС СССР с 30.07.78. – М., 1978.
11. Надежность систем железнодорожной автоматики, телемеханики и связи [Текст]: учебн. пособие для вузов ж.д. трансп. / под ред. Вл. В. Сапожникова. – М.: Маршрут, 2003. – 263 с.
12. Системы интервального регулирования движения поездов на перегонах [Текст]: учебн. пособие / А. Б. Бойник и др. – Х.: УкрГАЗТ, 2005. – 256 с.
13. Чепцов, М. Н. Вероятность опасного отказа микропроцессорного устройства управления движением поездов [Текст] / М. Н. Чепцов // 36. наук. пр. ДонІЗТ. – 2007. – Вип. 9. – С. 68-73.
14. Рабинер, Л. Теория и применение цифровой обработки сигналов [Текст] / Л. Рабинер, Б. Голд [пер. с англ.]. – М.: Мир, 1978. – 837 с.
15. Чепцов, М. Н. Безопасность программного обеспечения микропроцессорных тональных рельсовых цепей [Текст] / М. Н. Чепцов // 36. наук. пр. ДонІЗТ. – 2005. – № 4. – С. 54-61.

Поступила в редколлегию 31.03.2008.