

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ РЕЛЕЙНО-КОНТАКТНЫХ УСТРОЙСТВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ

Проведено аналіз існуючих методів побудови діагностичних тестів дискретних пристроїв, розроблено алгоритми та програма побудови перевіряючих та діагностичних тестів для релейно-контактної апаратури залізничної автоматики.

Проведен анализ существующих методов построения диагностических тестов дискретных устройств, разработаны алгоритмы и программа построения проверяющих и диагностических тестов для релейно-контактной аппаратуры железнодорожной автоматики.

The analysis of existing methods of construction of diagnostic tests of discrete devices is carried out, algorithms and the program of construction of checking and diagnostic tests for the relay-contact equipment of railway automatics are developed.

Введение

Для обеспечения бесперебойной работы систем регулирования движением поездов нормативными документами предусмотрено проведение периодического контроля параметров аппаратуры в ремонтно-технологическом участке (РТУ) дистанции сигнализации и связи. Существующая технология контроля параметров реле и релейных блоков в РТУ довольно трудоемкая и имеет целый ряд недостатков, в том числе большое количество ручных операций, низкая точность измерений, высокая субъективность результатов контроля, значительные затраты времени. Ряд важных параметров вообще не измеряются, поскольку в РТУ отсутствуют необходимые технические средства. Повышение эффективности технического обслуживания устройств железнодорожной автоматики в современных условиях возможно путем автоматизации контроля и диагностирования их параметров.

Одной из основных задач при разработке автоматизированных диагностических систем является построение тестов и алгоритмов диагностирования, которые позволили бы с высокой достоверностью провести контроль работоспособности релейно-контактных устройства железнодорожной автоматики, а при обнаружении неисправности локализовать ее с заданной точностью. Несмотря на довольно большое количество работ, в которых рассматриваются вопросы построения тестов для дискретных и гибридных устройств автоматики [1–5], ряд вопросов по построению проверяющих и диагностических тестов для релейно-контактных блоков железнодорожной автоматики не получил должного развития.

Релейно-контактные блоки железнодорожной автоматики при составлении тестов можно рассматривать как дискретные устройства [1–3]. Однако входные и выходные электрические параметры, а также временные задержки изменения состояния блока могут принимать непрерывный спектр значений. К тому же в ряде блоков и узлов производится селекция электрических сигналов по амплитуде, временным параметрам, количеству импульсов, несущей частоте (например, приемная аппаратура рельсовой цепи, дешифратор числового кода).

При тестировании блоков железнодорожной автоматики, как правило, доступно для использования ограниченное число выводов (входные и выходные выводы), тест должен выполняться в течение небольшого интервала времени и, по возможности, с минимальным участием оператора. Проверяющий тест должен соответствовать утвержденным отраслевым нормативным документам, а результаты проверки работоспособности должны быть достоверными.

Задача диагностирования реле и релейных блоков железнодорожной автоматики усложняется тем, что до настоящего времени не разработаны достоверные методы автоматизированного контроля механических параметров реле. Релейно-контактные блоки железнодорожной автоматики содержат также другие электротехнические компоненты (конденсаторы, резисторы, полупроводниковые диоды и т. д.), в которых могут возникать неисправности или недопустимые изменения их параметров,

С учетом рассмотренной специфики блоков, их структуры, требований к ним по надежности и безопасности, а также большого количества реле и релейных блоков железно-

дорожной автоматики разработка автоматизированных стендов для контроля и диагностики их параметров является актуальной задачей. Однако построение рациональных тестов для автоматизированного диагностирования блоков является довольно громоздкой и сложной задачей. В этой связи представляет практический интерес решение задачи упрощения процесса составления диагностических тестов с применением компьютерных технологий.

Целью работы является разработка методов компьютерного составления диагностических тестов для релейных блоков железнодорожной автоматики. Для этого в работе проведен анализ существующих методов построения тестов дискретных устройств и на этой основе разработаны алгоритмы и программа построения проверяющих и диагностических тестов для релейно-контактной аппаратуры железнодорожной автоматики.

Анализ проблемы

Диагностирование, т. е. определение технического состояния устройства, проводится по диагностическим признакам (ДП). Эти признаки выбираются в результате анализа диагностической модели, под которой понимается формальное описание объекта диагностирования (ОД), учитывающее изменение его состояний. ОД представляют в виде устройства, имеющего входы и доступные наблюдению выходы.

Процесс диагностирования представляет собой последовательность операций, каждая из которых предусматривает подачу на входы объекта некоторого воздействия и определения на выходах реакции на его воздействие. Такую элементарную операцию называют проверкой π . В качестве выходов наблюдения могут служить основные или рабочие выходы системы, а также дополнительные (контрольные) выходы.

Совокупность проверок, позволяющих решать какую-либо из задач диагноза, называют тестом $T = \pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n$. Под длиной теста понимают число входящих в него проверок. Проверяющий тест T_π – это совокупность проверок, позволяющая обнаружить в системе любую неоднородность из заданного списка. Проверяющий тест решает задачи проверки исправности системы и проверки работоспособности. Диагностический тест T_d – это совокупность проверок, позволяющая указать место неисправности с точностью до классов эквивалентных неисправностей. Таким образом, для построения тестов и алгоритмов диагностирования необходимо иметь

формальное описание объекта и его поведения в исправном и неисправном состояниях, т. е. математическую модель.

В качестве математической модели релейно-контактных блоков железнодорожной автоматики с относительно небольшим числом контактов можно использовать представление таблицей истинности для комбинационных объектов и таблицами переходов и выходов для последовательных объектов. При этом диагностирование сводится к анализу входных и выходных последовательностей. Представим ОД в виде дискретного автомата как показано на рис. 1.

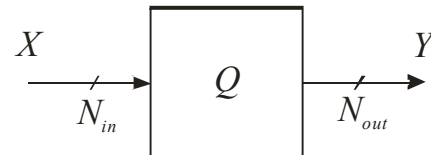


Рис. 1. Схематическое представление ОД

На рис. 1 приняты следующие обозначения $X = \{x_k\}$ ($k = 1 \dots K$), $Y = \{y_m\}$ ($m = 1 \dots M$) – множества входных и выходных сигналов, $Q = \{q_n\}$, ($n = 1 \dots N$) – множество внутренних состояний объекта диагностирования. Элементы множества могут быть многоуровневыми двоичными числами в соответствии с размерностью входной N_{in} и выходной N_{out} шины. Очевидно, количество всех возможных комбинаций входных и выходных сигналов связано с размерностью входной и выходной шины следующим образом:

$$K = 2^{N_{in}}; \quad M = 2^{N_{out}}.$$

Максимально возможное количество комбинаций входных сигналов определяет максимальную длину тривиального неоптимизированного теста для комбинационных дискретных блоков, в котором каждый элемент множества $X = \{x_k\}$ представляет собой элементарную проверку. Последовательность проведения элементарных проверок для построения теста (но не алгоритма) является безразличной. Количество всех возможных внутренних состояний дискретного устройства определяется количеством ключей (контактов) N_k , которые могут изменять свои состояния и определяются формулой $N = 2^{N_k}$.

Очевидно, для исправного объекта диагностирования разрешенными могут быть не все возможные сочетания состояний ключей в силу определенной логической взаимозависимости между ними.

Наиболее вероятными дефектами контактных схем, появляющихся в процессе эксплуатации являются обрыв контакта, короткое замыкание контакта, ложное несрабатывание или срабатывание реле, обрыв соединительного провода, дребезг контакта, отклонение временных параметров [1–5].

Для релейно-контактных схем наиболее простой моделью физической неисправности является модель логической константной неисправности (stuck fault model). На рис. 2 приведено схематическое изображение реле с k -ой контактной группой. Обозначим соединение общего контакта a_k с фронтовым или тыловым контактом соответственно через $a_{k,\phi}$ и $a_{k,\tau}$. Для исправного реле при отсутствии рабочего напряжения на его обмотке ($X = 0$) $a_{k,\phi} = 0$, $a_{k,\tau} = 1$. При подаче напряжения на вход ($X = 1$) состояние контактов изменяются $a_{k,\phi} = 1$, $a_{k,\tau} = 0$.

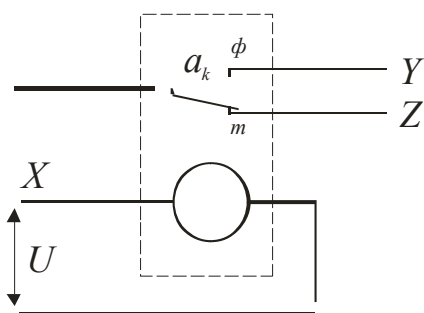


Рис. 2. Схематическое представление реле

Все возможные неисправности контактов реле можно условно разделить на два типа: обрыв, когда цепь, в которую включен данный контакт, остается разомкнутой независимо от состояния реле; короткое замыкание – цепь остается замкнутой независимо от состояния реле. Неисправный фронтовой контакт реализует «константа 0», а при коротком замыкании «константа 1», независимо от наличия или отсутствия управляющего напряжения на входе реле. Обозначим эти константные неисправности соответственно через $a_{k,\phi}^0$ и $a_{k,\tau}^1$. Аналогичные константные неисправности для замыкающего (тылового) контакта обозначим в виде $a_{k,\phi}^1$ и $a_{k,\tau}^0$. Все остальные неисправности реле при построении логической модели сводят к ложному включению и ложному выключению. Неисправность «ложное включение обмотки» эквивалентна кратной неисправности, в которую входят короткие замыкания всех фронто-

вых контактов и обрывы всех тыловых контактов. Неисправность «обрыв обмотки» соответственно эквивалентна кратной неисправности, включающей в себя короткие замыкания всех тыловых контактов и разрыв всех фронтовых контактов. Неисправности типа «ложное включение», «ложное выключение» или замыкание (сваривание) трех контактов описываются константными неисправностями кратности 2 в виде s , $\{a_{k,\phi}^0, a_{k,\tau}^1\}$, $\{a_{k,\phi}^1, a_{k,\tau}^0\}$. Большинство обрывов или замыканий монтажных проводов можно представить константными неисправностями.

Учет временных задержек

Элементы релейно-контактной аппаратуры имеют определенные динамические параметры, определяемые временами перехода из одного внутреннего состояния в другое. Релейная аппаратура железнодорожной автоматики, в большинстве случаев, асинхронная и для обеспечения правильного функционирования последовательных многотактных схем (т. е. смены их внутренних состояний под действием входной последовательности сигналов) и устранения возможного «соревнования» при прохождении сигналов по разным ветвям схемы, вводят временные задержки на срабатывание и отпускание реле. Эти задержки реализуются конструктивно или схемно. В процессе эксплуатации параметры времязадающих элементов могут изменяться, в результате чего изменятся временные задержки сигналов в схеме и возможно изменение логических зависимостей, реализуемых схемой (delay fault).

Введем формальное рассмотрение задержек для k -го реле в схеме блока, схематически представленного на рис. 2.

Подачу на вход реле в момент времени t_1 напряжения и выключение его в момент времени t_2 можно описать несимметричными ступенчатыми функциями соответственно включения и выключения:

$$X(t) = 1(t - t_1) = \begin{cases} 0 & \text{при } (t - t_1) < 0; \\ 1 & \text{при } (t - t_1) \geq 0, \end{cases}$$

$$X(t) = 0(t - t_2) = \begin{cases} 1 & \text{при } (t - t_2) < 0; \\ 0 & \text{при } (t - t_2) \geq 0. \end{cases}$$

Соответственно выражение для входного импульса $X_k(t)$ длительностью τ можно представить в виде

$$X_k(t) = 1(t - t_1) \wedge 0(t - t_1 - \tau).$$

Выходные логические переменные $Y_{k,i}$ и $Z_{k,i}$ принимают значения 0 или 1 в зависимости от состояния фронтального и тылового контактов i -й контактной группы k -го реле.

После подачи на вход ступенчатого напряжения в момент времени t_1 происходит замыкание фронтального контакта k -й контактной группы с запаздыванием на время $\tau_{k,i}^\phi$ и размыкание тылового с запаздыванием на время $\tau_{k,i}^T$. Выходные сигналы реле можно записать в виде:

$$Y_{k,i}(t) = 1(t - t_1 - \tau_{k,i}^\phi) = 1(t - t_1 - \tau_k^\phi \pm \Delta\tau_{k,i}^\phi);$$

$$Z_{k,i}(t) = \bar{1}(t - t_1 - \tau_{k,i}^T) = \bar{1}(t - t_1 - \tau_k^T \pm \Delta\tau_{k,i}^T) \quad (3)$$

где τ_k^ϕ , τ_k^T – средние значения времен задержек соответственно на замыкание фронтальных и размыкания тыловых контактов реле, а $\Delta\tau_{k,i}^\phi$, $\Delta\tau_{k,i}^T$ – параметры, характеризующие неодновременность замыкания фронтальных и размыкания тыловых контактов i -й контактной группы.

Для схемы, в которой через контакты первого реле подается напряжение на обмотку второго реле, выходная функция для фронтального контакта второго реле будет включать суммарную задержку на срабатывания обоих реле

$$Y_2(t) = 1\left[t - t_1 - (\tau_1^\phi + \tau_2^\phi)\right],$$

где τ_1^ϕ , τ_2^ϕ – время запаздывания фронтальных контактов соответственно первого и второго реле.

Функции конъюнкции и дизъюнкции, реализуемые на фронтальных контактах первого и второго реле, имеющих задержку на срабатывания τ_1^ϕ и τ_2^ϕ , запишем в виде:

$$Y_1(t) \wedge Y_2(t) = 1(t - t_1 - \tau_{\max}),$$

$$Y_1(t) \vee Y_2(t) = 1(t - t_1 - \tau_{\min}),$$

где

$$\tau_{\max} = \max\{\tau_1^\phi, \tau_2^\phi\},$$

$$\tau_{\min} = \min\{\tau_1^\phi, \tau_2^\phi\}.$$

Приведенное формальное описание временных задержек можно применять для описания работы логических схем с временными задержками.

Задача диагностирования усложняется, если в схеме блока есть обратные связи (ОС), в результате чего реле, охваченные ОС, имеют возможность самоблокироваться, т. е. приобретают свойства элемента памяти. Релейные схемы, содержащие элементы памяти, являются многотактными. В многотактных схемах внутреннее состояние устройства $Q(t)$ зависит от входного сигнала $X(t)$ и внутреннего состояния схемы в предыдущий момент времени $Q(t-1)$.

Алгоритм разработки тестов

На основе проведенного анализа литературных данных можно привести следующий порядок составления диагностических тестов релейных блоков железнодорожной автоматики. Вначале необходимо составить формальное описание объекта диагностирования.

Для несложных комбинационных релейно-контактных схем с небольшим количеством ключей такое описание может быть получено на основе принципиальной электрической схемы путем описания логических связей на основе логических выражений над булевыми переменными. Для более сложных комбинационных схем можно составить логические выражения только для путей в схеме [1–3], которые образуются для каждой комбинации входных сигналов. На основании анализа уравнений для путей определяют выходные сигналы для каждого входного набора сигналов.

Для многотактных последовательных схем логические выражения составляют для всех возможных состояний элементов памяти, входящих в эти схемы при всех возможных комбинациях входных сигналов. Полученное математическое описание используют для компьютерного построения диагностического теста. Алгоритм составления теста следующий.

В процессе моделирования объекта диагностирования на компьютере происходит перебор всех возможных комбинаций входных сигналов, и определяют взаимозависимости между входными и выходными сигналами для комбинационных схем или входные-выходные последовательности сигналов для многотактных схем с памятью. Полученные зависимости должны обязательно включать в себя проверки, определяемые нормативной документацией. В дальнейшем при оптимизации тестов эти проверки не могут быть опущены.

Для построения диагностических тестов релейно-контактной аппаратуры компьютерная программа поочередно задает все возможные константные неисправности и для каждой неисправности вычисляются входные-выходные комбинации или последовательности аналогично вышеописанной процедуре. На основе полученных данных строится таблица функций неисправностей (ТФН). Такая таблица является явной моделью объекта диагностирования в исправном и неисправном состояниях. Порядок составления ТФН подробно описан в литературе [1–5].

В работе эта процедура реализована в виде программы. В первой графе приведены возможные элементарные проверки, которые характеризуются набором входных сигналов. Во второй и последующих графах указываются результаты проверок соответственно для исправной и для всех рассмотренных неисправных состояний. В графе для исправного объекта проставляют единицы, а в последующих графах единицы, если i -я проверка для объекта с j -й неисправностью дает результат, совпадающий с результатом исправной системы.

В противном случае в ячейке ТФН проставляется 0. После этого компьютерная программа упрощает таблицу путем объединения столбцов, в которых все результаты проверок совпадают. Такие неисправности являются неразличимыми на этом наборе проверок. В случае если в двух строках, соответствующих двум разным проверкам, все результаты совпадают, одну из строк можно опустить при соблюдении некоторых дополнительных условий, в частности, если эти проверки не входят в число обязательных в соответствии с нормативной документацией.

По разработанной программе составлены диагностические тесты для ряда устройств железнодорожной автоматики, в частности, для дешифратора автоматической локомотивной сигнализации типа ДКСВ 1, дешифраторной ячейки типа ДА, некоторых релейных блоков электрической централизации.

Выводы

На основе проведенного анализа существующих методов построения диагностических тестов дискретных устройств разработаны алгоритмы и программа построения проверяющих и диагностических тестов для релейно-контактной аппаратуры железнодорожной автоматики.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дмитренко И. Е. Техническая диагностика и автоконтроль систем железнодорожной автоматики и телемеханики. – М.: Транспорт, 1986. – 144 с.
2. Дмитренко И. Е. Измерение и диагностирование в системах железнодорожной автоматики, телемеханики и связи / И. Е. Дмитренко, Д. В. Дьяков, В. В. Сапожников. – М.: Транспорт, 1992. – 263 с.
3. Сапожников В. В. Основы технической диагностики: Учебное пособие для студентов вузов ж.-д. тр-та. / В. В. Сапожников, В. В. Сапожников. – М.: Маршрут, 2004. — 318 с.
4. Карибский В. В. Основы технической диагностики / В. В. Карибский, П. П. Пархоменко, Е. С. Сагомян и др. – М.: Энергия, 1976. – 464 с.
5. Пархоменко П. П. Основы технической диагностики / П. П. Пархоменко, Е. С. Сагомян. – М.: Энергоатомиздат, 1981. – 320 с.

Поступила в редколлегию 16.01.07.