

УДК 656.256:656.259

В. И. ПРОФАТИЛОВ – к.т.н., доцент, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, profatilov@ua.fm

СИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЕЙ

Введение

Рельсовые цепи (РЦ) на железнодорожном транспорте в Украине являются одними из важнейших элементов, которые обеспечивают безопасность движения поездов. РЦ представляет собой датчик свободности или занятости участка на перегоне или станции подвижным составом. На основании информации, которая поступает от РЦ, функционируют системы автоблокировки и электрической централизации, а также РЦ служат каналом связи для передачи кодов автоматической локомотивной сигнализации (АЛС) на локомотив. Кроме того, РЦ используются для пропуска тягового тока на участках с электротягой. Условия работы РЦ являются очень сложными, так как на их функционирование будут влиять погодные условия, состояние балласта, а также электромагнитные помехи от тягового тока.

Рельсовые цепи отличаются сложностью в обслуживании и поэтому требуют значительных эксплуатационных затрат. Если проанализировать статистику всех неисправностей, которые возникают в «Укрзалізниці» по службе сигнализации, централизации и блокировки, то количество неисправностей РЦ в процентном соотношении составляет от 15 до 40%. Учитывая, что на железных дорогах Украины находятся в эксплуатации приблизительно 174.000 станционных и 73.000 перегонных РЦ, то повышение надежности их работы является **актуальной задачей**.

Одним из способов повышения надежности работы РЦ является разработка и внедрение технических средств диагностики РЦ, позволяющих автоматизировать до-

статочно сложный процесс контроля параметров и анализ режимов работы РЦ. Кроме того, использование современной цифровой элементной базы, позволяет производить диагностику РЦ дистанционно, не выезжая на перегон, что значительно повышает безопасность работ.

Анализ и постановка задачи

Начиная с 1966 года на железных дорогах в Украине в качестве типового проекта использовалась система частотного диспетчерского контроля (ЧДК). В проектах кодовой автоблокировки, АЛС и переездной сигнализации обязательно предусматривалась установка блоков ЧДК типа ГКШ. С помощью ЧДК можно не только контролировать свободность или занятость блокучастков, но и получать диагностическую информацию о состоянии сигнальных установок и переездной сигнализации: контроль перегорания ламп светофоров, наличие основного и резервного питания, исправность дешифраторной ячейки, положение шлагбаума и др. [1].

В настоящее время система ЧДК устарела как морально, так и технически. Система ЧДК содержит много релейной аппаратуры, что снижает надежность и долговечность ее работы. Кроме того, система ЧДК является медленнодействующей (период опроса составляет 15 секунд), что не позволяет использовать ее на участках с высокоскоростным движением. При возникновении неисправности используется только световая сигнализация (мигание лампы в особом режиме), что затрудняет идентификацию неисправности, а также отсутствует архивация происходящих со-

бытий. Возможности диагностирования системы ЧДК ограничены только контролем состояния контактов. Данная система не позволяет контролировать аналоговые параметры, поэтому для диагностики работы рельсовых цепей не подходит.

Начиная с 2000-х годов на железной дороге в Украине вместо ЧДК начали использовать систему диспетчерского контроля (ДК) «КАСКАД», которая реализована на современной цифровой элементной базе. Она позволяет устранить многие функциональные недостатки системы ЧДК. Система «ДК КАСКАД» состоит из двух модулей:

- «СК2202» – станционный микропроцессорный контроллер;
- «ПК2202» – перегонный микропроцессорный контроллер.

На перегоне на каждой сигнальной установке или переезде устанавливается модуль «ПК2202», который позволяет контролировать 14 дискретных объектов, в основном это контакты реле кодовой автоблокировки или переездной сигнализации. Для передачи данных с перегона на станцию используются два аналоговых модема тонального спектра частот, один включен в сторону станции, а другой в сторону перегона. Всего на перегоне может быть установлено до 14 контроллеров «ПК2202» [2].

Система «ДК КАСКАД» является более быстродействующей, чем ЧДК, поэтому ее можно использовать на участках с высокоскоростным движением. Кроме того, она более надежная, чем ЧДК, за счет использования бесконтактной элементной базы. Если система «ДК КАСКАД» подключена к

микропроцессорной системе диспетчерской централизации МСДЦ «КАСКАД», то появляется возможность автоматической регистрации всех событий, которые происходят на контролируемом перегоне, а также анализ диагностической информации в любой момент времени с необходимым уровнем детализации [2].

К недостаткам модуля «ПК2202» можно отнести то, что он не позволяет контролировать аналоговые параметры, и поэтому не подходит для дистанционной диагностики РЦ.

Целью разработки является проектирование системы диагностики, позволяющей проводить дистанционную диагностику рельсовых цепей кодовой автоблокировки с частотой сигнального тока 25 и 50 Гц.

Структура системы дистанционной диагностики рельсовых цепей

На рис. 1 представлена структурная схема системы дистанционной диагностики РЦ. Она представляет собой иерархическую структуру, состоящую из трех уровней:

- на первом уровне находятся линейные контроллеры (ЛК), которые устанавливаются на каждой сигнальной установке или переезде;
- второй уровень образуют центральные контроллеры (ЦК), которые устанавливаются на каждой станции;
- на третьем уровне устанавливаются автоматизированные рабочие места (АРМ) диспетчера и электромеханика.

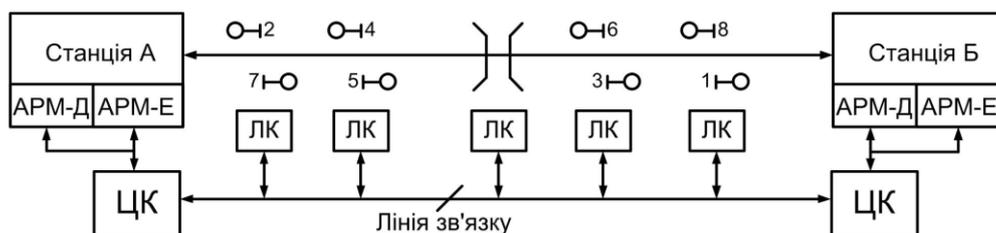


Рис. 1. Структурная схема системы дистанционной диагностики РЦ

ЛК предназначен для измерения напряжения и тока на питающем и релейном концах РЦ, сбора информации о состоянии элементов сигнальной установки или переездной сигнализации, первичная обработка этой информации и передача ее на станцию на второй уровень системы дистанционной диагностики РЦ.

Структурная схема ЛК приведена на рис. 2. Устройство управления линейного контроллера реализовано на микроконтроллере PIC18F2550. Микроконтроллер имеет встроенный аналогово-цифровой преобразователь (АЦП), порты ввода-вывода, таймеры и последовательные порты, поддерживающие стандарты SPI и USB [3].

Микроконтроллер выполняет логическую обработку данных, ее промежуточное хранение и передачу данных в центральный контроллер с помощью CAN-контроллера. В качестве дискретных датчиков используются контакты реле сигнальной установки или переездной сигнализации, которые подключаются к портам ввода-вывода микроконтроллера через транзисторные оптроны. Гальваническая развязка позволяет повысить помехоустойчивость работы ЛК, а также уменьшить влияние на работу схемы сигнальной установки или переездной сигнализации в случае неисправности ЛК.

Микроконтроллер PIC18F2550 имеет встроенный 10-разрядный АЦП, который используется для преобразования измеренных аналоговых сигналов в цифровой код. Так как значения напряжения и токов на питающем и релейном концах РЦ имеют

довольно широкий диапазон, то аналоговые сигналы предварительно согласуются с допустимым входным диапазоном АЦП 0...5 В, с помощью схемы согласования.

ЛК может работать в двух режимах: автоматическом и ручном. Автоматический режим является основным. В этом режиме ЛК выполняет периодический контроль заданных параметров с интервалом 1 секунда и запись их в память. А затем по запросу ЦК, все сохраненные данные передаются в линию связи. В ручной режим ЛК переходит по команде электромеханика для выполнения плановых профилактических измерений или для выяснения причин сбоев в работе РЦ.

Структурная схема ЦК приведена на рис. 3. Устройство управления центрального контроллера реализовано на микроконтроллере PIC18F4550. Данный микроконтроллер имеет встроенный USB-контроллер, что позволяет реализовать обмен данными с любым современным компьютером имеющим USB-порт [3].

В функции центрального контроллера входит:

- организация циклического опроса ЛК;
- промежуточное хранение полученной информации из ЛК;
- организация обмена данными между ЦК и АРМ электромеханика и диспетчера;
- управление режимами работы ЛК;
- аварийная индикация состояния сигнальных установок или переездной сигнализации при отказе оборудования АРМ.



Рис. 2. Структурная схема линейного контроллера

Для обмена данными между ЛК и ЦК используется CAN-протокол с высокой достоверностью выявления ошибок, которые могут возникать при передаче. Для аппаратной реализации этого протокола применяется CAN-контроллер MCP2510. В нем на аппаратном уровне реализованные функции для приема и передачи данных, проверки канала связи, адресации информации, устранение конфликтов с другими приемо-передатчиками [4].

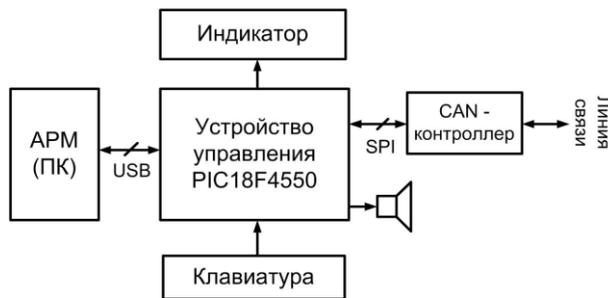


Рис. 3. Структурная схема центрального контроллера

Система дистанционной диагностики РЦ является полностью автономной и может работать без АРМ. При отсутствии связи ЦК с АРМ, в нем предусмотрено отображение информации на жидкокристаллическом индикаторе, который позволяет выводить алфавитно-цифровую информацию на экран размером 20x2 (20 символов, 2 строки).

Для реализации АРМ используются персональные компьютеры типа IBM PC. Программное обеспечение АРМ осуществляет сбор информации со всех ЛК, ее окончательную обработку и хранения полученных результатов в базе данных.

АРМ электромеханика обеспечивает вычисление параметров РЦ и анализ возникших неисправностей, а также позволяет

контролировать работу сигнальных установок и поездных сигнализаций на контролируемом перегоне. С помощью АРМ-Е электромеханик может проводить дистанционную диагностику РЦ и выполнять плановые проверки технического состояния системы автоблокировки.

АРМ диспетчера позволяет отображать на мониторе поездную ситуацию, а также текущее состояние сигнальных установок и поездных сигнализаций на контролируемом перегоне.

Методика автоматизированного определения параметров РЦ

Для диагностики РЦ необходимо вычислить параметры РЦ и с их помощью проанализировать режимы работы РЦ на соответствие требуемым критериям. При двухпроводном представлении РЦ переменного тока 25 или 50 Гц, она замещается пассивным симметричным четырехполюсником с распределенными параметрами, который описывается с помощью матрицы передачи, в соответствии с классической теорией четырехполюсников [5]:

$$\begin{cases} U_1 = AU_2 + BI_2 \\ I_1 = CU_2 + DI_2 \end{cases} \quad (1)$$

где A, B, C, D – параметры четырехполюсника рельсовой цепи, U_1 и I_1 – напряжение и ток на входе РЦ, U_2 и I_2 – напряжение и ток на выходе РЦ.

Математическая модель полной схемы РЦ (рис. 4) представляет собой три четырехполюсника соединенных последовательно:

- четырехполюсник Π для схемы замещения питающего конца РЦ;

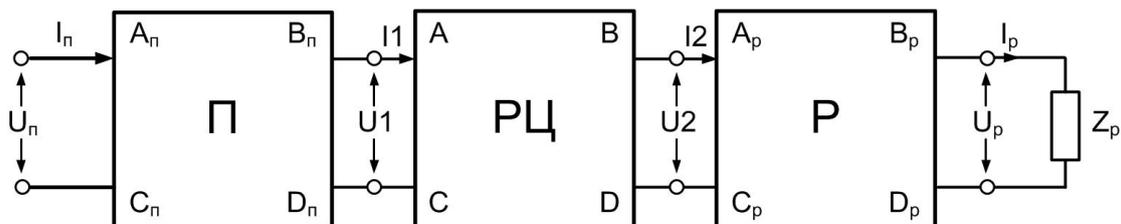


Рис. 4. Схема замещения РЦ переменного тока 25 и 50 Гц

– четырехполюсник $PЦ$ с распределенными параметрами для замещения рельсово цепи;

– четырехполюсник P для схемы замещения релейного конца РЦ.

В качестве исходных данных для расчета параметров РЦ выступают:

– параметры элементов, входящих в состав питающего и релейного концов РЦ, что позволяет определить коэффициенты соответствующих четырехполюсников: A_{π} , B_{π} , C_{π} , D_{π} и A_p , B_p , C_p , D_p [6];

– длина рельсовой цепи $L_{рц}$, которая вводится электромехаником или берется из существующей базы данных;

– напряжение U_{π} и ток I_{π} на входе питающего четырехполюсника, а также напряжение U_p и ток I_p на путевом реле Z_p , т.е. на выходе релейного четырехполюсника. Данные параметры измеряются с помощью ЛК и передаются в АРМ для проведения расчетов.

Порядок расчета параметров РЦ:

– определяем ток и напряжение в начале четырехполюсника РЦ по формулам 2 и 3:

$$I_1 = \frac{C_{\pi}U_{\pi} - A_{\pi}I_{\pi}}{C_{\pi}B_{\pi} - D_{\pi}A_{\pi}} \quad (2)$$

$$U_1 = \frac{I_{\pi} - D_{\pi}I_1}{C_{\pi}} \quad (3)$$

– определяем ток и напряжение в конце четырехполюсника РЦ по формулам 4 и 5:

$$I_2 = C_p U_p + D_p I_p \quad (4)$$

$$U_2 = A_p U_p + B_p I_p \quad (5)$$

– определяем параметры четырехполюсника РЦ с помощью формул 6, 7 и 8:

$$A = D = \frac{I_1 U_1 + U_2 I_2}{I_1 U_2 + U_1 I_2} \quad (6)$$

$$C = \frac{I_1 - A I_2}{U_2} \quad (7)$$

$$B = \frac{U_1 - A U_2}{I_2} \quad (8)$$

– определяем вторичные параметры РЦ по формулам 9 и 10:

$$\gamma = \frac{\operatorname{arcch} A}{L_{рц}} \quad (9)$$

где γ - коэффициент распространения,

$$Z_{\text{в}} = \frac{\operatorname{sh}(\gamma L_{рц})}{C} \quad (10)$$

где $Z_{\text{в}}$ – волновое сопротивление.

После расчета параметров РЦ производится расчет необходимых коэффициентов работы РЦ в нормальном, шунтовом, контрольном и АЛС режимах, а также анализ значений параметров на соответствие необходимым критериям работы РЦ.

Все полученные результаты сохраняются в базе данных компьютера АРМ-Е и могут быть выведены на экран монитора по запросу электромеханика. Программное обеспечение АРМ-Е позволяет выводить результаты расчетов параметров РЦ в виде графиков, что позволяет анализировать изменение параметров во времени для определения предотказных состояний РЦ, а также отслеживать влияние климатических и других факторов на работу РЦ. В случае выявления неисправности РЦ либо выхода какого-либо параметра или коэффициента режима работы РЦ за заданный диапазон, информация немедленно выводится на экран мониторов АРМ диспетчера и электромеханика с привлечением внимания с помощью звуковой и световой сигнализации.

Погрешность определения параметров РЦ с помощью данной системы диагностики составляет 10...15 %, чего вполне достаточно для использования ее в условиях эксплуатации на железнодорожном транспорте. Основную погрешность дают коэффициенты четырехполюсников питающего и релейного концов, так как для их расчета используются справочные данные элементов РЦ - до 10% [5, 6]. Также на погрешность определения параметров РЦ влияет погрешность измерения напряжений и то-

ков на питающем и релейном концах, а также преобразование аналогового сигнала в цифровой с помощью АЦП ЛК – до 1...2 %.

Выводы

В соответствии с поставленной целью была разработана структура системы диагностики, которая позволяет проводить дистанционную диагностику рельсовых цепей кодовой автоблокировки с частотой сигнального тока 25 и 50 Гц, а также разработан алгоритм автоматизированного определения параметров РЦ.

Внедрение системы дистанционной диагностики рельсовых цепей на железнодорожном транспорте позволит получить следующие преимущества:

– возможность дистанционной диагностики РЦ без выезда электромеханика на перегон, что повышает безопасность труда и улучшает условия работы;

– оперативное выявление отказов элементов автоблокировки, переездной сигнализации и рельсовых цепей, что сокращает время поиска и устранения неисправности;

– определение предотказного состояния РЦ, что позволит своевременно проводить профилактические мероприятия и уменьшить количество отказов РЦ;

– возможность детального анализа режимов работы РЦ и отслеживание влияния погодных и других факторов на значения параметров рельсовых цепей.

Библиографический список

1. Казаков, А. А. Системы интервального регулирования движения поездов [Текст]:

учебник для техникумов ж.-д. транспорта / А. А. Казаков, В. Д. Бубнов, Е. А. Казаков. – М.: Транспорт, 1986. – 399 с.

2. Мікропроцесорна диспетчерська централізація «КАСКАД» [Текст]: навчальний посібник / М. І. Данько, В. І. Мойсеєнко, В. З. Рахманов, В. І. Троценко, М. М. Чепцов. – Харків, 2005. – 176 с.
3. Техническая документация DS39632E компании Microchip Technology Incorporated [Электронный ресурс] / – Режим доступа: <http://www.microchip.com>.
4. Техническая документация DS21291E компании Microchip Technology Incorporated [Электронный ресурс] / – Режим доступа: <http://www.microchip.com>.
5. Рельсовые цепи магистральных железных дорог [Текст]: Справочник / В. С. Аркатов, Н. Ф. Котляренко, А. И. Баженов, Т. Л. Лебедева. – М.: Транспорт, 1982. – 360 с.
6. Аркатов, В. С. Рельсовые цепи магистральных железных дорог [Текст]: Справочник / Аркатов В. С., Баженов А. И., Котляренко Н. Ф. – М.: Транспорт, 1992. – 384 с.

Ключові слова: рейкове коло, система діагностики, автоблокування.

Ключевые слова: рельсовая цепь, система диагностики, автоблокировка.

Keywords: signal track circuit, diagnostic system, automatic block system.

Рецензенты:

проф., д.т.н., А. Б. Бойник,
проф., д.ф.-м.н., В. И. Гарилюк.

Поступила в редколлегию 23.01.2019.

Принята к печати 19.02.2019.