

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕЛЬСОВОЙ ЦЕПИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИЗМЕРЕНИЙ С ВАГОНА-ЛАБОРАТОРИИ

Запропоновано метод для визначення параметрів рейкових кіл під час проведенні вимірів за допомогою автоматизованої мікропроцесорної системи, розташованої у вагоні-лабораторії. Ця система дозволяє контролювати та вимірювати параметри кодового струму в рейкових колах. Величини первинних та вторинних параметрів рейкового кола визначаються за даними вимірів кодового струму в рейках.

Предложен метод для определения параметров рельсовых цепей при проведении измерений с помощью автоматизированной измерительной системы, расположенной в вагоне-лаборатории. Эта система позволяет контролировать и измерять параметры кодового тока в рельсовых цепях. Значения первичных и вторичных параметров рельсовых цепей определяются по данным измерений кодового тока в рельсах.

A method is proposed for determination of rail circuits parameters in measurements with the use of automated microprocessor system, installed in a laboratory car. The system allows to check and measure the parameters of current in the rail circuits. The value of primary and secondary parameters of the rail circuits is determined by the data of measurement of code current in rails.

Введение

Работоспособность устройств автоматики, телемеханики и связи на железнодорожном транспорте во многом определяется качеством измерений и применением прогрессивных методов обслуживания. Результаты измерений позволяют выявить отклонения параметров эксплуатируемой аппаратуры от установленных норм и, таким образом, своевременно принять меры для нормального ее функционирования.

Существуют некоторые особенности в работе рельсовых цепей, в частности – изменение положения подвижных единиц ведет к изменению положения сопротивления шунта. Таким образом, рельсовые цепи работают в нескольких режимах. Поэтому способы измерения их параметров являются специфичными.

Все методы контроля параметров рельсовых цепей, которые используются в условиях эксплуатации, можно разделить на два вида. Первый метод связан с выходом на поле и предполагает измерение сопротивления рельсовой цепи, сопротивления изоляции, напряжения и тока в начале и конце рельсовой линии. Второй метод предполагает определение тока и напряжения вначале и конце во время измерительной поездки на вагоне-лаборатории и позволяет определить параметры кодового тока, протекающего в рельсах [1]. Первичные и вторичные параметры рельсовой цепи во время измерительной поездки в условиях эксплуатации не определяются.

Существующие методы измерения базируются на физически и морально устаревших аппаратных средствах, не обеспечивающих достаточную точность измерений. К недостаткам используемых в настоящее время методов и средств контроля [2; 3] можно отнести ограниченный набор контролируемых параметров, сложность и субъективизм при оценке результатов измерения.

Постановка задачи и цель работы

Применение современных микропроцессорных систем позволяют устранить отмеченные выше недостатки, а именно, контролировать большое число необходимых параметров, с обеспечением достаточно высокой точности измерения, проводить их обработку, автоматически контролировать отклонение от допустимых норм и извещать при их выявлении обслуживающий персонал, записывать и сохранять информацию в цифровом виде на магнитных и оптических носителях.

Целью работы является разработка метода для определения первичных и вторичных параметров рельсовой цепи при проведении измерений с помощью вагона-лаборатории на базе микропроцессорной автоматизированной системы для контроля и измерения параметров кода АЛС, описанной в [4].

Построение математической модели

Для определения параметров рельсовой цепи (РЦ) воспользуемся общей схемой замещения рельсовой цепи, представленной на рис. 1.

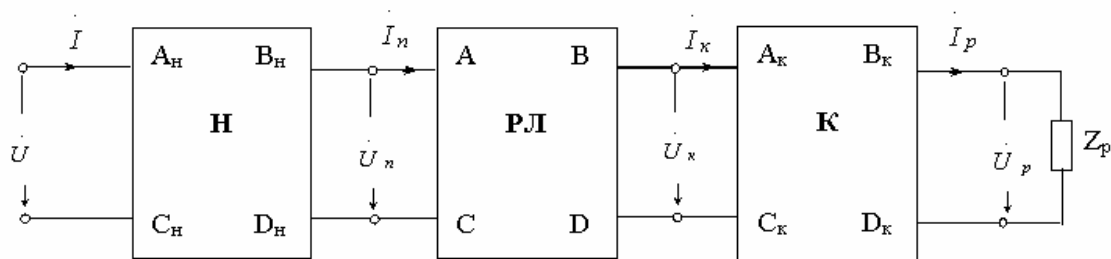


Рис. 1. Схема замещения рельсовой цепи, кодируемой с питающего конца

Четырехполосники Н и К замещают промежуточную и защитную аппаратуру передающего и приемного концов соответственно. Четырехполосник РЛ – представляет собой только рельсовую линию во всех режимах работы РЦ – нормальном, шунтовом, контрольном и АЛС.

При проведении измерений с помощью аппаратно-измерительного комплекса, который используется на базе вагона-лаборатории и предназначен для обслуживания устройств автоматики, определяется величина тока локомотивной сигнализации на протяжении всей РЦ.

Измерения проводятся в режиме АЛС. Этот режим подразумевает такое состояние исправной и занятой рельсовой цепи, при котором в рельсовой петле создается уровень кодового сигнала, достаточный для надежного срабатывания действия локомотивного приемника, расположенного на удаленном от генератора АЛС конце рельсовой линии [5].

Для режима АЛС характерны такие значения параметров рельсовой линии:

- удельное сопротивление рельсов максимальное;
- удельная проводимость изоляции рельсовой линии максимальная;
- напряжение источника минимальное;
- удельная координата рельсовой линии

$$p = x/l = 0,$$

где l – длина рельсовой линии, м; x – абсолютная координата рельсовой линии, равная расстоянию от приемного конца до координаты. В данном случае до поездного шунта, м.

Критерием надежности режима АЛС является соотношение

$$K_{л} = \frac{I_{л.ф.мин}}{I_{л.н}} \geq 1, \quad (1)$$

где $I_{л.ф.мин}$ – фактический минимальный ток в рельсовой линии при наложении нормативного поездного шунта на удаленном от генератора кодовых сигналов АЛС конце и критическом соотношении параметров рельсовой цепи, А; $I_{л.н}$ – нормативный ток АЛС, который равен при авто-

номной тяге 1,2 А, при электрической тяге постоянного тока – 2 А, при электрической тяге переменного тока – 1,4 А [5].

Исходными данными для определения первичных и вторичных параметров РЦ являются длина рельсовой цепи $l_{р.ц}$, величина тока АЛС на удаленном от генератора конце $I_{к}$, величина тока АЛС в начале рельсовой цепи $I_{н}$, нормативное сопротивление поездного шунта $R_{ш} = 0,06$ Ом и аргумент тока АЛС φ_i .

Согласно теории четырехполосников, можно записать уравнения напряжения и токов в начале РЦ в виде:

$$\begin{cases} \dot{U}_н = A_{ш} \dot{U}_к + B_{ш} \dot{I}_к, \\ \dot{I}_н = C_{ш} \dot{U}_к + D_{ш} \dot{I}_к, \end{cases} \quad (2)$$

где $\dot{U}_н$, $\dot{I}_н$ – напряжение и ток в начале РЦ; $\dot{U}_к$, $\dot{I}_к$ – напряжение и ток в точке наложения поездного шунта (в конце рельсовой цепи); $A_{ш}$, $B_{ш}$, $C_{ш}$, $D_{ш}$ – параметры рельсового четырехполосника в режиме АЛС, при наложении шунта на релейном конце рельсовой цепи.

Определение параметров рельсовых цепей рассмотрим для случая, когда кодовые сигналы посылаются с питающего конца рельсовой цепи (рис. 2).

Коэффициенты рельсового четырехполосника при наложении поездного шунта на релейном конце равны:

$$\left. \begin{aligned} A_{ш} &= 1 + \frac{\dot{Z}}{R_{ш}} & B_{ш} &= \dot{Z}, \\ C_{ш} &= \frac{1}{R_{ш}} & D_{ш} &= 1, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

где $\dot{Z} = \dot{z}l$ – полное сопротивление рельсовой линии, Ом; l – длина рельсовой цепи, км; \dot{z} – удельное сопротивление рельсовой линии, Ом/км.

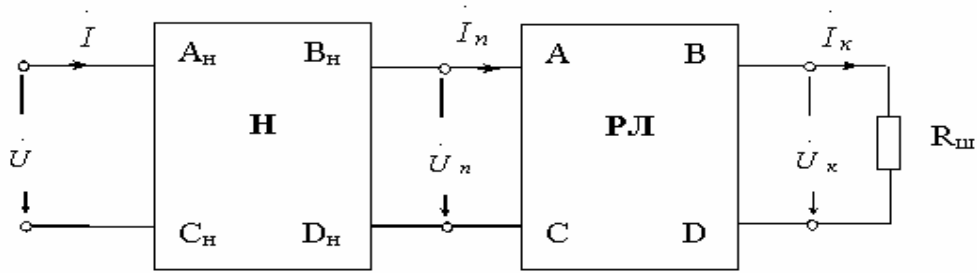


Рис. 2. Схема замещения рельсовой цепи при вступлении поезда на релейный конец

Подставим значения рельсового четырехплюсника в систему уравнений (3)

$$\begin{cases} \dot{U}_H = \left(1 + \frac{\dot{Z}}{R_{ш}}\right) \dot{U}_K + \dot{Z} \dot{I}_K, \\ \dot{I}_H = \frac{1}{R_{ш}} \dot{U}_K + \dot{I}_K. \end{cases} \quad (4)$$

Выполнив некоторые математические преобразования для получения значения первичных параметров рельсовой линии, учитывая что

$$\dot{U}_K = \dot{I}_K R_{ш},$$

получим

$$\begin{cases} \dot{U}_H = \left(1 + \frac{\dot{Z}}{R_{ш}}\right) \dot{I}_K R_{ш} + \dot{Z} \dot{I}_K, \\ \dot{I}_H = \frac{1}{R_{ш}} \dot{I}_K R_{ш} + \dot{I}_K, \\ \dot{U}_H = \left(R_{ш} + \dot{Z}\right) \dot{I}_K + \dot{Z} \dot{I}_K, \\ \dot{I}_H = 2 \dot{I}_K. \end{cases} \quad (5)$$

По определению условий работы рельсовой линии в режиме АЛС напряжение в начале линии равно минимальному напряжению путевого трансформатора и

$$\dot{U}_H = \dot{U}_{\min}.$$

Величина минимального напряжения путевого трансформатора определяется из регулировочных таблиц [5].

Тогда получим, что полное сопротивление рельсовой линии равно

$$\dot{Z} = \frac{\dot{U}_{\min} - \dot{I}_K R_{ш}}{2 \dot{I}_K}. \quad (6)$$

Аргумент тока автоматической локомотивной сигнализации

В настоящее время существуют два способа для контроля параметров рельсовых цепей: амплитудно-ординатный и фазово-ординатный. Для реализации первого способа достаточно знать координату и величину тока АЛС. Второй способ предполагает, что известны три параметра: ток АЛС, аргумент тока, координата, и является более точным.

В составе аппаратуры «Контроль», которая используется на действующих железных дорогах для контроля параметров тока локомотивной сигнализации, отсутствуют технические средства для измерения аргумента тока автоматической локомотивной сигнализации. Таким образом, любые методы, реализованные на базе действующей аппаратуры, не позволят определить параметры рельсовых цепей наиболее точно. Ранее было предложено для измерения фазы тока АЛС применять цифровые фазометры [6]. Недостатком реализации фазово-ординатного способа являлась низкая помехозащищенность датчиков тока АЛС, что не позволяло определять фазовые соотношения с требуемой точностью.

Разработанная на базе микропроцессорной техники автоматизированная системы для контроля и измерения параметров тока АЛС [4] предполагает определение и амплитуды, и фазы тока автоматической локомотивной сигнализации, поскольку в ней используются преобразования Фурье. Для определения фазы тока АЛС предлагается использовать синхронизирующий сигнал, вырабатываемый измерительной аппаратурой. Таким образом, точность при определении аргумента тока АЛС повышается.

На рис. 3 представлена зависимость значения аргумента тока локомотивной сигнализации от координаты пути. Сплошной линией обозначена теоретическая кривая аргумента тока АЛС, протекающего в рельсовой цепи длиной 2 600 м. В данном случае было принято предположение, что сопротивление рельсовой

цепи одинаково распределено по всей своей длине и находится в установленных пределах. Кривая взята из [6]. Звездочками и квадратиками показаны значения фазы тока АЛС для двух реальных рельсовых цепей длиной 2 600 м. Измерения были проведены на участке Днепро-

петровск – Чаплино. Значения аргументов несколько отличаются от идеальных, т. к. состояние пути оказывается различным на отдельных участках (из-за вариации сопротивления электрических соединителей, балласта и т. д.). Но характер кривой остается подобным.

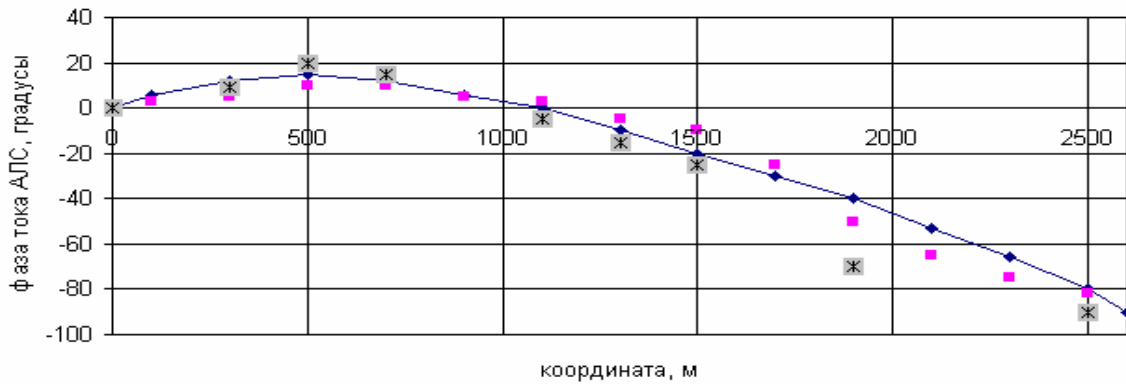


Рис. 3. Зависимость аргумента тока локомотивной сигнализации от координаты пути в пределах одной рельсовой цепи

Определение вторичных параметров рельсовой цепи

Известно, что коэффициенты рельсового четырехполюсника определяются через вторичные параметры рельсовой цепи следующим образом:

$$A = D = ch(\gamma l), \quad B = \dot{Z}_B sh(\gamma l),$$

$$C = \frac{sh(\gamma l)}{\dot{Z}_B}, \quad (7)$$

где \dot{Z}_B – волновое сопротивление рельсовой линии, Ом; γ – коэффициент распространения волны, 1/км.

При наложении поездного шунта на релейном конце получается, что

$$A_{III} = A, \quad B_{III} = B, \quad C_{III} = C, \quad D_{III} = D,$$

тогда

$$\dot{Z} = \dot{Z}_B sh(\gamma l), \quad \frac{1}{R_{III}} = \frac{sh(\gamma l)}{\dot{Z}_B},$$

$$\dot{Z}_B = \frac{\dot{Z}}{sh(\gamma l)}, \quad sh(\gamma l) = \frac{\dot{Z}_B}{R_{III}},$$

$$\dot{Z}_B = \frac{\dot{Z}}{\dot{Z}_B} R_{III}, \quad (8)$$

отсюда можно определить волновое сопротивление рельсовой линии

$$\dot{Z}_B = \sqrt{\dot{Z} R_{III}}. \quad (9)$$

Также можно получить, что

$$sh(\gamma l) = \frac{\dot{Z}_B R_{III}}{\dot{Z}}, \quad sh(\gamma \cdot l) = \sqrt{\dot{Z}_B \cdot R_{III}}.$$

Тогда коэффициент распространения волны равен

$$\gamma = \frac{\operatorname{arcsch}\left(\sqrt{\dot{Z}_B R_{III}}\right)}{l}. \quad (10)$$

Волновое сопротивление линии зависит от ее первичных параметров следующим образом:

$$\dot{Z}_B = \sqrt{\dot{z} R_{II}}, \quad (11)$$

где R_{II} – эквивалентное сопротивление изоляции рельсовой линии и заземлений контактных опор, Ом·км; \dot{z} – удельное сопротивление рельсовой линии, Ом/км.

Таким образом, сопротивление изоляции рельсовой линии может быть определено следующим образом:

$$R_{II} = \frac{\dot{Z}_B^2}{\dot{z}}, \quad (12)$$

Результаты моделирования

Для моделирования возьмем рельсовую цепь длиной 2 600 м, расположенную на участ-

ке с электротягой постоянного тока. Сопротивление поездного шунта примем $R_{ш} = 0,06$ Ом. Ток в рельсовой цепи на релейном конце равным $I_k = 2$ А, на питающем – максимум $I_n = 25$ А. В соответствии с [5] для рельсовой цепи длиной 2 600 м частотой 50 Гц с двумя дроссель-

трансформаторами, реле типа ИМВШ-110 и напряжением $U_n = U_{min} = 152$ В. Используя выражения (10) и (11), выполнен расчет волнового сопротивления и коэффициента затухания для данной рельсовой цепи. Результаты моделирования представлены на рис. 4.

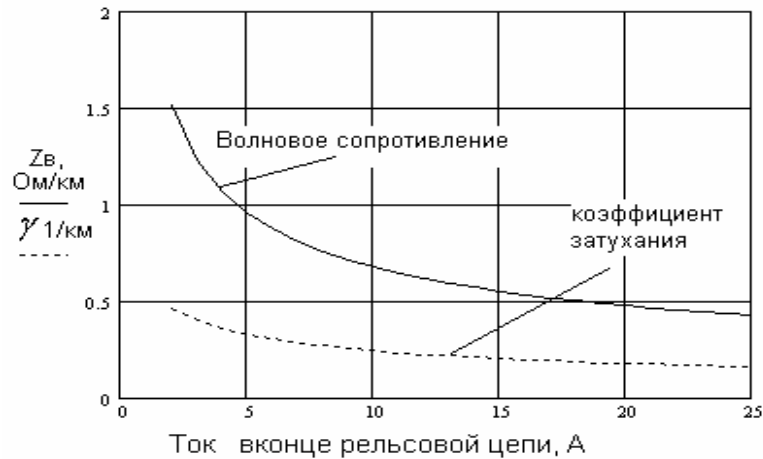


Рис. 4. Зависимость волнового сопротивления и коэффициента затухания от величины тока в конце рельсовой цепи

Поскольку величина минимального напряжения является фиксированной и выставляется по регулировочным таблицам во время проверки рельсовых цепей, то при моделировании принимаем

$$U_n = U_{min} = const.$$

По графикам определяется величина волнового сопротивления и коэффициента затухания линии для данной рельсовой цепи в зависимости от величины тока, измеренного на релейном конце. Данный метод является косвенным и обладает достаточной степенью точности измерений. Погрешность измерений составляет не более 5 %.

Выводы

Предложен метод для определения первичных и вторичных параметров рельсовых цепей при проведении измерений с помощью автоматизированной микропроцессорной системы, расположенной в вагоне-лаборатории. Преимуществом данного метода является то, что во время измерительной поездки вагона-лаборатории производится контроль параметров не только кодового тока, но и самих рельсовых цепей. Он исключает большое количество трудоемких операций, связанных с выходом на поле, и субъективизм при выполнении работ. Обладает достаточной степенью точности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Інструкція з технічного обслуговування пристроїв сигналізації, централізації та блокування (СЦБ): ЦШЕОТ/0012: Затв. Гол. упр. зв'язку, енергетики та обчислювальної техніки М-ва транспорту України 05.10.1998. – К., 1998. – 72 с.
2. Воронин В. А. Об измерениях в рельсовых цепях тональной частоты / В. А. Воронин, В. С. Широков // Автоматика, телемеханика, информатика. 1999. – № 8. – С. 26–28.
3. Дмитренко И. Е. Измерение и диагностирование в системах железнодорожной автоматики, телемеханики и связи / И. Е. Дмитренко, В. В. Сапожников, Д. В. Дьяков. – М.: Транспорт, 1994. – 263 с.
4. Сердюк Т. Н. Автоматизированная система для контроля параметров кодового тока в рельсах / Т. Н. Сердюк, В. И. Гаврилюк // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. 2004. – Вип. 3. – С. 15–20.
5. Аркатов В. С. Рельсовые цепи магистральных железных дорог: Справочник / В. С. Аркатов, Н. Ф. Коляренко, А. И. Баженов, Т. Л. Лебедева. – М.: Транспорт, 1982. – 360 с.
6. Удовиков А. А. Определение первичных параметров рельсовой линии из движущегося вагона-лаборатории // Межвуз. сб. науч. тр. / ХИИТ. – Вып. 23. – Харьков, 1993. – С. 62–64.

Поступила в редколлегию 22.03.2005.