

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОМЕХ В РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЯХ

Проаналізовано найбільш ймовірні причини виникнення завад частотою 50 Гц в рейкових колах, що були зафіксовані на деяких залізничних ділянках. Середнє значення амплітуди 1,8 А в паузі коду «З». Причиною виникнення даної гармоніки є робота випрямлячів тягових підстанцій.

Проанализированы наиболее вероятные причины возникновения помехи частотой 50 Гц в рельсовых цепях, которые были зафиксированы на некоторых железнодорожных участках. Среднее значение амплитуды 1,8 А в паузе кода «З». Причиной возникновения данной гармоника является работа выпрямителей тяговых подстанций.

The occurrence reasons of 50 Hz frequency interference in rail circuits are analysed. The interference was registered on some railway sections by an experimental research. The average value of amplitude has made 1.8 A in a dividing pause of a code «Green». The occurrence reason of mentioned harmonic is the work of substation rectifiers.

Введение

Установление природы появления стационарных гармонических помех в рельсовых линиях играет важную роль для обеспечения устойчивой работы рельсовых цепей и системы автоматической локомотивной сигнализации (АЛС), широко применяемой на железных дорогах. Принцип работы АЛС основан на передаче на локомотив сигнальных показаний путем посылки в РЦ кодового тока частотой 50 Гц на участках с электротягой постоянного тока и 25 или 75 Гц на участках с электротягой переменного тока. Поскольку рельсовые линии используются не только для передачи сигнального тока, а и для пропуска обратного тягового тока, то и РЦ, и система АЛС будет находиться под непосредственным влиянием тягового тока и его гармоник. При этом наиболее опасными будут те гармоники, частоты которых лежат в области полосы пропускания частот заградительного фильтра.

Целью работы является экспериментальное определение гармонического состава обратного тягового тока, протекающего в рельсах и создание математической модели, описывающей динамические процессы в тяговой и рельсовой сети, которая позволит учитывать влияние различных факторов на распределение напряжения и токов гармоник в рельсах.

Результаты эксперимента

Было разработано устройство, которое позволяет записывать сигнал с катушек локомотивной сигнализации (до фильтра) и контроли-

ровать параметры кодового тока автоматической локомотивной сигнализации [1]. Так как ток в рельсах представляет собой сумму обратного тягового тока со всеми его гармониками и кодового, то имеется возможность определять спектральный состав тягового тока, анализирую его в паузах кода.

На основании экспериментальных данных зафиксированы такие частоты в рельсовых цепях при электротяге постоянного тока: 50, 75, 100, 150 Гц. Осциллограмма и спектральный состав обратного тягового и кодового тока, протекающего в рельсах, приведены на рис. 1.

Наиболее опасной среди них является частота 50 Гц, поскольку она совпадает с кодовой несущей частотой. Причинами возникновения помехи частотой 50 Гц может быть следующее.

Во-первых, наблюдается неодинаковость электрических силовых цепей преобразователей тяговых подстанций. Отсюда вытекает неодинаковость параметров схем замещения на интервалах работы фаз питающего напряжения, которое получило название «параметрической несимметрии силовых цепей преобразователя». Это же касается и инверторных агрегатов. Во-вторых, присутствие гармоника 50 Гц обусловлено несимметрией питающего напряжения. В-третьих, в процессе работы регуляторов пуска тяговых двигателей (более 30 с) в сигнальных каналах непрерывно протекают токи помех частотой 25...375 Гц, в состав которых также входит гармоника 50 Гц. В-четвертых, нормативное сопротивление изоляции рельсовой линии невелико (~1 Ом/км), поэтому в рельсовых цепях также протекают токи утечки из соседних рельсовых цепей на многопутных участках или на станциях.

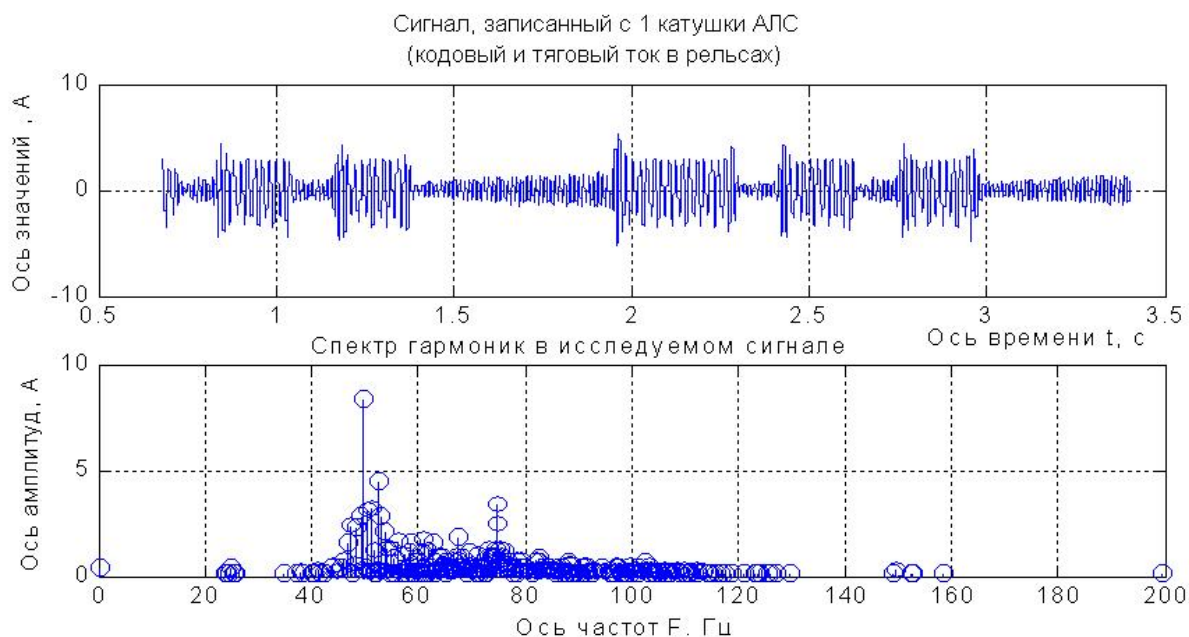


Рис. 1. Осциллограмма и спектр тягового и кодированного тока, протекающего в рельсах

Поскольку гармоника 50 Гц наблюдалась в пределах не одной РЦ, то можно сделать вывод, что данная помеха содержится в тяговом токе. Среднее значение ее амплитуды составило 1,8 А в разделительной паузе кода «3». Такое значение помехи является весьма критичным, поскольку амплитуда кодированного сигнала должна быть не менее 2 А для рельсовых цепей перегонов с электротягой постоянного тока. Далее необходимо определить характер распределения гармоники частотой 50 Гц по длине фидерной зоны, в предположении, что она содержится в обратном тяговом токе.

Моделирование

Оценивать уровни помех от тягового тока в рельсовых цепях необходимо для определения степени их влияния на работу рельсовых цепей и при разработке защитных средств. В настоящий момент интерес представляет влияние сопротивления балласта на величину токов утечки тягового тока.

При определении влияния гармоник тягового тока на работу рельсовых цепей воспользуемся схемой замещения тяговой сети (рис. 2). Здесь тяговая сеть представлена контуром контактная сеть – рельсы.

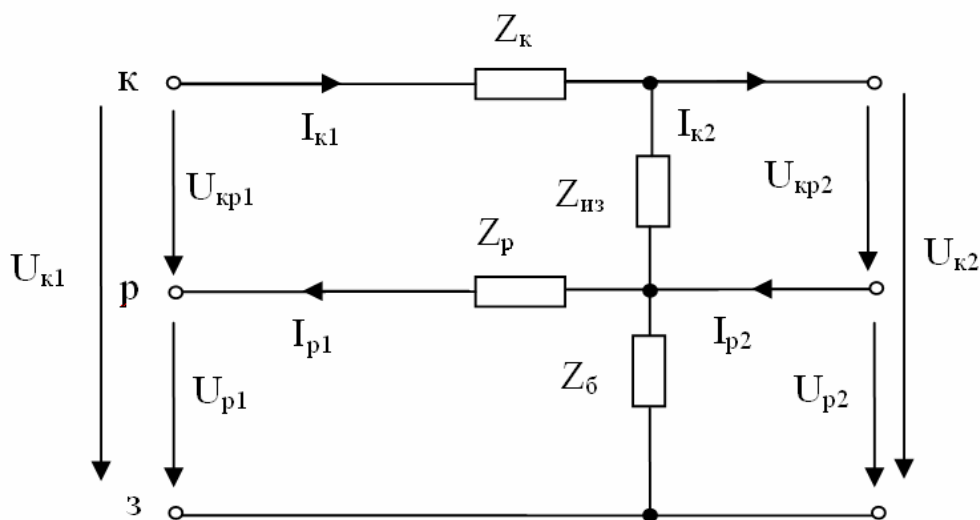


Рис. 2. Схема замещения тяговой сети

Пропуск обратного тягового тока на подстанцию осуществляется по рельсовым линиям или специальным проводам. В данном случае обратный тяговый ток возвращается на подстанцию по рельсовым нитям. Заменяем рельсовые нити одной линией и представим контуром рельс – земля. Тяговый ток к электровозу передается по контактной сети, которая включает в себя контактный провод и несущий трос, соединенные между собой струнами по всей длине анкерного участка. Контактная сеть в схеме замещения также представлена одним проводом.

Тяговую сеть будем рассматривать как шестиполусник, в котором Z_k – сопротивление контактной сети с учетом сопротивления взаимной индукции; Z_p – сопротивление рельсовой сети с учетом сопротивления взаимной индукции в контуре рельсовые нити – контактная сеть; $Z_{из}$ – сопротивление изоляции контактной сети, учитывающее заземление на рельсы различных железнодорожных конструкций (главным образом опор контактной сети, постов секционирования, разъединителей, разрядников и т. д.), Z_6 – сопротивление балласта, которое представляет собой сопротивление, оказываемое току утечки от рельсовых нитей через шпалы, балласт и земляное полотно.

Данная схема замещения (см. рис. 2) характерна для каждой гармоники тягового тока. Рассмотрим вопрос распределения напряжения и токов по длине тяговой сети для случая, когда линии являются однородными, т.е. сопротивления по длине участка распределены равномерно.

Составим систему уравнений для токов и напряжений в тяговой сети по законам Кирхгофа:

- для тяговой сети

$$\begin{cases} \dot{U}_{кр1} = \dot{I}_{к1} Z_k + \dot{U}_{кр2}, \\ \dot{I}_{к1} = \dot{I}_{к2} + \frac{\dot{U}_{кр2}}{Z_{из}}; \end{cases} \quad (1)$$

- для контура контактная сеть - земля

$$\begin{cases} \dot{U}_{к1} = \dot{I}_{к1} Z_k + \dot{U}_{к2}, \\ \dot{I}_{к1} = \dot{I}_{к2} + \frac{\dot{U}_{кр2}}{Z_{из}}; \end{cases} \quad (2)$$

- для контура рельсовая сеть – земля

$$\begin{cases} \dot{U}_{р1} = -\dot{I}_{р1} Z_p + \dot{U}_{р2}, \\ \dot{I}_{р1} = \dot{U}_{р2} \frac{1}{Z_6} + \dot{I}_{р2}, \end{cases} \quad (3)$$

где $\dot{U}_{кр1}$, $\dot{U}_{кр2}$ – напряжение контактная сеть – рельсы, $\dot{U}_{р1}$, $\dot{U}_{р2}$ – напряжение между рельсами и землей; $\dot{U}_{к1}$, $\dot{U}_{к2}$ – напряжение в контуре контактная сеть – земля; $\dot{I}_{к1}$, $\dot{I}_{к2}$ – ток в контактной сети; $\dot{I}_{р1}$, $\dot{I}_{р2}$ – ток в рельсовой сети (обратный тяговый ток) в начале и в конце линии соответственно.

Определим A -параметры для системы уравнений (1), схема которой представляет собой четырехполусник.

$$\begin{cases} \dot{U}_{кр1} = \dot{U}_{кр2} \left(1 + \frac{Z_k}{Z_{из}} \right) + \dot{I}_{к2} Z_k, \\ \dot{I}_{к1} = \frac{\dot{U}_{кр2}}{Z_{из}} + \dot{I}_{к2}, \end{cases} \quad (4)$$

тогда

$$A_k = 1 + \frac{Z_k}{Z_3}, \quad B_k = Z_k,$$

$$C_k = \frac{1}{Z_{из}}, \quad D_k = 1.$$

Система уравнений (4) примет вид

$$\begin{cases} \dot{U}_{кр1} = A_k \dot{U}_{кр2} + B_k \dot{I}_{к2}, \\ \dot{I}_{к1} = C_k \dot{U}_{кр2} + D_k \dot{I}_{к2}. \end{cases} \quad (5)$$

Величина токов утечки обратного тягового тока зависит от состояния балласта. Поэтому, если рассмотреть отдельно четырехполусник рельсовой цепи, которая работает в нормальном режиме, и определить величину токов утечки в процентах от сигнального тока в конце рельсовой цепи (РЦ), можно вычислить величину токов утечки обратного тягового тока через балласт.

$$\begin{cases} \dot{U}_{рц1} = \dot{I}_{рц1} Z_p + \dot{U}_{рц2}, \\ \dot{I}_{рц1} = \dot{U}_{рц2} \frac{1}{Z_6} + \dot{I}_{рц2}. \end{cases} \quad (6)$$

На рис. 3 представлена схема замещения, рельсовой линии, для которой можно записать следующие уравнения [2].

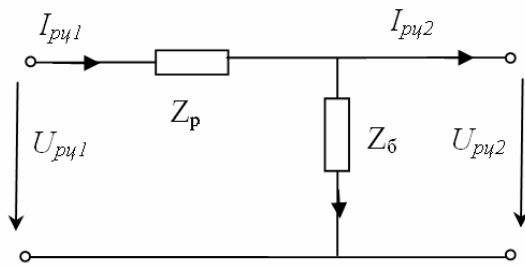


Рис. 3. Четырехполюсник рельсовой линии:
 $I_{рц1}, I_{рц2}$ – сигнальный ток в начале и конце рельсовой цепи; $U_{рц1}, U_{рц2}$ – напряжение в начале и в конце рельсовой цепи; Z_p – сопротивление рельсовой линии; Z_6 – сопротивление балласта

Проведя некоторые математические преобразования, получим

$$\begin{cases} \dot{U}_{рц1} = \dot{U}_{рц2} \left(\frac{Z_p}{Z_6} + 1 \right) + \dot{I}_{рц2} Z_6, \\ \dot{I}_{рц1} = \dot{U}_{рц2} \frac{1}{Z_6} + \dot{I}_{рц2}. \end{cases} \quad (7)$$

Тогда коэффициенты рельсового четырехполюсника равны:

$$\begin{aligned} A_p &= 1 + \frac{Z_p}{Z_6}, & B_p &= Z_p, \\ C_p &= \frac{1}{Z_6}, & D_p &= 1, \end{aligned}$$

а система уравнений примет вид

$$\begin{cases} \dot{U}_{рц1} = \dot{U}_{рц2} A_p + \dot{I}_{рц2} B_p, \\ \dot{I}_{рц1} = \dot{U}_{рц2} C_p + \dot{I}_{рц2} D_p. \end{cases} \quad (8)$$

Напряжение и ток вначале рельсовой цепи можно определить путем экспериментальных исследований. Тогда можно получить, что

$$\dot{U}_{рц2} = \left(\frac{\dot{U}_{рц1}}{B_p} - \frac{\dot{I}_{рц1}}{D_p} \right) \frac{1}{\frac{A_p}{B_p} - \frac{C_p}{D_p}}, \quad (9)$$

$$\dot{I}_{рц2} = \left(\dot{U}_{рц2} C_p + \dot{I}_{рц1} \right) \frac{1}{D_p}. \quad (10)$$

Величина токов утечки сигнального тока для каждого участка РЦ, представленного четырехполюсником (см. рис. 3), и коэффициент утечки тока через балласт равны:

$$I_y = \frac{U_{рц2}}{Z_6}, \quad K_y = \frac{I_y}{I_{рц2}}. \quad (11)$$

Теперь, если вернуться к шестиполуснику (см. рис. 2), который описывает распределение токов и напряжений в тяговой сети, можно определить величину токов утечки в обратном тяговом токе, используя коэффициент утечки K_y . А, зная величину тока утечки обратного тягового тока, можно определить напряжение (потенциал) рельса в конце линии от протекающего по нему обратного тягового тока

$$\begin{cases} I_{y.обр.т.} = I_{к2} K_y, \\ U_{p2} = I_{y.обр.т.} Z_6. \end{cases} \quad (12)$$

В соответствии с законом Кирхгофа запишем

$$I_{p1} = \frac{U_{кр2}}{Z_{из}} + I_{p2} - I_{y.обр.т.},$$

где напряжение рельса от протекающего по нему тягового тока равно

$$U_{p1} = -I_{p1} Z_p.$$

Таким образом, с помощью предложенной математической модели может быть определено распределение напряжения и токов вдоль рельсовой и контактной сети для всех гармоник при различных значениях сопротивления изоляции.

Выводы

Было выполнено математическое моделирование распределения гармоники 50 Гц амплитудой 1,8 А по длине фидерной зоны. Таким образом, при равномерно распределенной нагрузке по длине фидерной зоны точка токораздела питания участка тяговыми подстанциями находится в середине фидерной зоны. Наибольшее значение амплитуды помехи наблюдается в рельсовых цепях, примыкающих к тяговым подстанциям. Токи утечки являются максимальными в середине участка «тяговая подстанция – точка токораздела».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. 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.
2. Котляренко. Путевая автоблокировка и авторегулировка. Котляренко и др. – М.: Транспорт, 1983. – 408 с.

Поступила в редколлегию 12.06.2005.