

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

УДК 656.259.12

К. В. ГОНЧАРОВ<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Автоматика, телемеханика и связь», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, эл. почта goncharov\_k@inbox.ru

### ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ТОНАЛЬНЫХ РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЕЙ В УСЛОВИЯХ ФЛУКТУАЦИЙ СОПРОТИВЛЕНИЯ БАЛЛАСТА

**Цель.** Разработка метода повышения устойчивости тональных рельсовых цепей, учитывающего фактическое сопротивление изоляции (балласта) рельсовой линии. **Методика.** Для достижения поставленной цели предложено автоматически определять сопротивление изоляции рельсовой линии и, в зависимости от данного значения, корректировать выходное напряжение путевого генератора. Сопротивление балласта определяется по значению входного сопротивления рельсовой линии, которое на высоких частотах практически равняется волновому сопротивлению. Для реализации предложенного метода к рельсовой цепи необходимо подключить дополнительные высокочастотные генераторы, высокочастотные фильтры, блок определения сопротивления балласта и корректировки выходного напряжения путевого генератора. **Результаты.** В результате проведенных исследований было установлено, что в области низких значений (меньше 2 Ом·км) изменение сопротивления балласта приводит к значительному изменению напряжения на входе путевого приемника, что может вызвать сбой в работе рельсовой цепи. Увеличение длины рельсовой линии приводит к уменьшению ее входного сопротивления, а повышение частоты измерения вызывает увеличение входного сопротивления. В обоих случаях входное сопротивление стремится к значению волнового сопротивления. Частоту измерения следует выбирать с учетом длины рельсовой линии и верхней границы сопротивления балласта, в качестве которой можно принять значение 5 Ом·км. В области более высоких значений сопротивления балласта его изменения незначительно влияют на входное напряжение путевого приемника. При этом корректировка выходного напряжения путевого генератора может не выполняться. **Научная новизна.** Усовершенствован метод измерения сопротивления изоляции рельсовой линии, что позволяет автоматически определять сопротивление балласта. Установлена зависимость между частотой измерения, длиной рельсовой линии и сопротивлением балласта. **Практическая значимость.** Предложенный метод позволяет повысить надежность тональных рельсовых цепей, обеспечить их устойчивую работу в условиях флуктуаций сопротивления балласта, благодаря определению фактического сопротивления изоляции рельсовой линии и адаптации рельсовых цепей к реальным условиям их эксплуатации.

*Ключевые слова:* тональные рельсовые цепи; четырехполюсники; сопротивление балласта; волновое сопротивление; путевые генераторы

#### Введение

Безопасность движения поездов во многом зависит от надежности систем железнодорожной автоматики и телемеханики (СЖАТ). В настоя-

щее время базовыми элементами таких систем являются рельсовые цепи (РЦ), с помощью которых выполняется контроль свободности путевых участков и целостности рельсовых нитей.

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

В процессе развития рельсовые цепи прошли значительный эволюционный путь от цепей постоянного тока с непрерывным питанием до современных тональных рельсовых цепей (ТРЦ) [1, 12, 15, 16]. Использование сигнального тока тонального диапазона позволяет существенно повысить помехозащищенность и ослабить взаимные влияния между рельсовыми цепями, в несколько раз снизить потребляемую мощность. Кроме этого, благодаря чередованию в ТРЦ различных несущих и модулирующих частот, обеспечивается возможность исключения изолирующих стыков, которые являются одними из самых ненадежных элементов СЖАТ [12, 16].

Значительная часть сбоев рельсовых цепей вызвана их неустойчивой работой в условиях воздействия различных электромагнитных помех, а также флуктуаций сопротивления изоляции (балласта) рельсовой линии. Основными источниками помех являются тяговая сеть, смежные РЦ, сигналы автоматической локомотивной сигнализации (АЛС). Флуктуации сопротивления балласта происходят вследствие изменения температуры, влажности, а также в результате загрязнения верхнего строения пути.

В работах [11, 13, 14] приведены результаты исследования электромагнитного влияния тяговой сети на работу рельсовых цепей, получены параметры помех, создаваемых тяговым током. Одно из направлений улучшения помехоустойчивости ТРЦ связано с использованием более информативных форм сигнала контроля рельсовой линии (КРЛ), увеличением числа его селективных признаков [7]. Благодаря этому, повышается вероятность правильного обнаружения такого сигнала на фоне помех и уменьшается вероятность ошибки. Другим направлением повышения помехоустойчивости рельсовых цепей является применение более совершенных алгоритмов обработки сигналов. Алгоритм, предложенный в работе [10], базируется на сравнении временных зависимостей сигнала на входе путевого приемника при занятии и освобождении рельсовой цепи. В работах [2, 8] предлагается использовать синхронное детектирование сигналов КРЛ, а в работе [4] – корреляционный метод приема в сочетании со схемой «широкополосный фильтр–ограничитель–узкополосный фильтр».

Путевой приемник рельсовой цепи выполняет сравнение амплитуды сигнала КРЛ с поро-

говым значением. В результате этого принимается решение о свободности (занятости) контролируемого участка и целостности рельсовых нитей. Флуктуации сопротивления балласта вызывают случайные изменения амплитуды сигнала КРЛ, которая может достичь порогового значения, в результате чего будет неверно определено состояние рельсовой цепи. В работе [9] для уменьшения влияния сопротивления балласта предлагается использовать два сигнала КРЛ с различными несущими частотами, а решение о состоянии РЦ принимать по величине разности амплитуд этих сигналов. В микросистемных системах автоблокировки АБ-ЧКЕ, АБ-УЕ для повышения устойчивости РЦ анализируется не амплитуда сигнала на входе путевого приемника, а ее скачкообразные изменения [5]. При этом с пороговым значением сравнивается решающая статистика, которая получается методом кумулятивных сумм. Рассмотренные методы не позволяют полностью устранить влияние флуктуаций сопротивления изоляции рельсовой линии, так как не учитывают фактическое состояние балласта.

### Цель

Целью данной работы является разработка метода повышения устойчивости тональных рельсовых цепей, учитывающего фактическое сопротивление изоляции рельсовой линии.

### Методика

Рассмотрим, как влияют флуктуации сопротивления балласта на работу тональных рельсовых цепей. Для этого воспользуемся схемой замещения РЦ в нормальном режиме (рис. 1), которая содержит три каскадно включенных четырехполюсника: РЛ – четырехполюсник рельсовой линии; Н и К – четырехполюсники передающего и приемного концов соответственно [1]. К рельсовой цепи подключается путевой генератор с выходным напряжением  $U_r$ , а также путевой приемник с входным сопротивлением  $Z_{\text{пр}}$ .



Рис. 1. Схема замещения рельсовой цепи

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

Параметры общего четырехполюсника рельсовой цепи определяются путем перемножения матриц четырехполюсников Н, РЛ и К:

$$\begin{bmatrix} A_o & B_o \\ C_o & D_o \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_n & B_n \\ C_n & D_n \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{1}{Z_{cm1}} & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \times \\ \times \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{1}{Z_{cm2}} & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} A_k & B_k \\ C_k & D_k \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где  $A_n, B_n, C_n, D_n$  – параметры четырехполюсника Н;  $A, B, C, D$  – параметры четырехполюсника рельсовой линии;  $A_k, B_k, C_k, D_k$  – параметры четырехполюсника К;  $Z_{cm1}, Z_{cm2}$  – входные сопротивления смежных рельсовых линий (учитываются при отсутствии изолирующих стыков).

Параметры четырехполюсника рельсовой линии, которая представляет собой цепь с распределенными параметрами, определяются следующим образом [1]:

$$A = D = \operatorname{ch}(\gamma l), \quad (2)$$

$$B = Z_b \operatorname{sh}(\gamma l), \quad (3)$$

$$C = \operatorname{sh}(\gamma l) / Z_b, \quad (4)$$

где  $\gamma = \sqrt{(R_p + j\omega L_p)(1/R_n + j\omega C_n)}$  – коэффициент распространения волны ( $R_p$  и  $L_p$  – километрические активное сопротивление и индуктивность рельсовой петли;  $\omega$  – циклическая частота;  $R_n$  и  $C_n$  – километрические сопротивление изоляции и емкость рельсовой линии);  $l$  – длина рельсовой линии;  $Z_b = \sqrt{(R_p + j\omega L_p)/(1/R_n + j\omega C_n)}$  – волновое сопротивление.

Четырехполюсники Н и К включают в себя питающий и приемный кабель соответственно, устройства защиты и согласования, кабельные резисторы, а также конденсаторы, предназначенные для подачи в рельсовую цепь сигналов АЛС. Кроме этого, в состав четырехполюсника Н входит путевой фильтр. Методика определения параметров четырехполюсников Н и К приведена в работах [1, 3].

Напряжение на входе путевого приемника зависит от напряжения путевого генератора и параметров общего четырехполюсника РЦ

$$\dot{U}_{\text{пн}} = \frac{\dot{U}_r Z_{\text{пн}}}{A_o Z_{\text{пн}} + B_o}. \quad (5)$$

В соответствии с выражениями (1)–(5) была получена зависимость напряжения на входе путевого приемника от сопротивления балласта (рис. 2). Для исследования была выбрана рельсовая цепь с такими параметрами: несущая частота – 480 Гц; напряжение на выходе путевого генератора – 2 В; входное сопротивление приемника – 140 Ом; длина питающего кабеля – 2,4 км; длина приемного кабеля – 1,7 км; километрическое сопротивление кабеля – 47 Ом/км; километрическая емкость кабеля – 50 нФ/км; емкость АЛС – 4 мкФ; коэффициент трансформации согласующих трансформаторов – 38; сопротивление защитных резисторов – 0,3 Ом. Расчеты проводились для трех значений длины рельсовой линии: 300, 500 и 700 м.

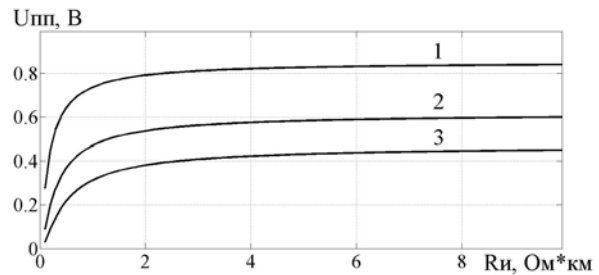


Рис. 2. Зависимость напряжения на входе путевого приемника от сопротивления балласта:  
1 – длина рельсовой линии 300 м; 2 – 500 м; 3 – 700 м

Как показывают полученные зависимости (см. рис. 2), в области низких значений (меньше 2 Ом·км) изменение сопротивления балласта приводит к значительному изменению напряжения на входе приемника. Для тональных рельсовых цепей третьего типа (ТРЦЗ) напряжение срабатывания путевого приемника составляет 0,32 В [6]. С учетом этого, рельсовая цепь длиной 300 м в нормальном режиме работы может зафиксировать ложную занятость участка при уменьшении сопротивления балласта до 0,15 Ом·км. В ТРЦ длиной 500 и 700 м могут произойти сбои при понижении сопротивления изоляции до 0,4 и 1,2 Ом·км соответственно. Повышая выходное напряжение путевого генератора, можно уменьшить нижнюю границу допустимого сопротивления балласта. Однако это приводит к ухудшению шунтовой чувствительности и чувствительности к повреждению рельсовых нитей при высоких значениях сопротивления балласта.

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

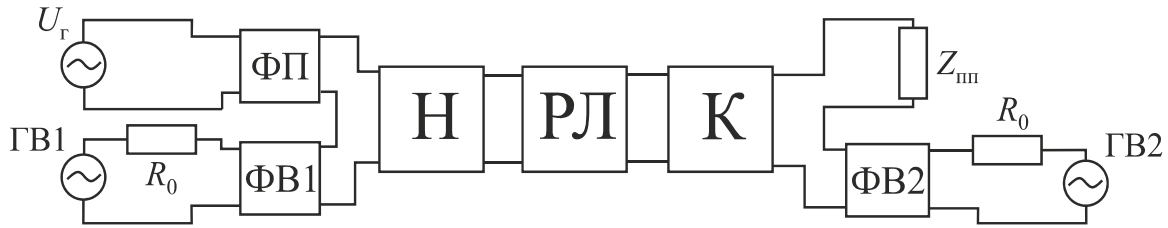


Рис. 3. Схема подключения к рельсовой цепи дополнительных высокочастотных генераторов

Запишем систему уравнений четырехполюсника рельсовой линии:

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = A\dot{U}_2 + B\dot{I}_2 = \operatorname{ch}(\gamma l)\dot{U}_2 + Z_B \operatorname{sh}(\gamma l)\dot{I}_2, \\ \dot{I}_1 = C\dot{U}_2 + D\dot{I}_2 = (\operatorname{sh}(\gamma l)/Z_B)\dot{U}_2 + \operatorname{ch}(\gamma l)\dot{I}_2, \end{cases} \quad (6)$$

где  $\dot{U}_1, \dot{I}_1$  – напряжение и ток на входе РЛ;  $\dot{U}_2, \dot{I}_2$  – напряжение и ток на выходе РЛ.

Используя систему (6) и учитывая то, что  $\dot{U}_2 = \dot{I}_2 Z_H$ , определим входное сопротивление рельсовой линии

$$Z_{\text{вх}} = Z_B \frac{Z_H \operatorname{ch}(\gamma l) + Z_B \operatorname{sh}(\gamma l)}{Z_B \operatorname{ch}(\gamma l) + Z_H \operatorname{sh}(\gamma l)}. \quad (7)$$

где  $Z_H = (A_K Z_{\text{пп}} + B_K) / (C_K Z_{\text{пп}} + D_K)$  – сопротивление нагрузки четырехполюсника РЛ.

Преобразуем выражение (7):

$$Z_{\text{вх}} = Z_B \frac{(Z_H + Z_B)e^{\gamma l} + (Z_H - Z_B)e^{-\gamma l}}{(Z_H + Z_B)e^{\gamma l} + (Z_B - Z_H)e^{-\gamma l}}. \quad (8)$$

Если  $\gamma l \gg 1$ , то вторыми слагаемыми в числителе и знаменателе выражения (8) можно пренебречь. При этом входное сопротивление рельсовой линии практически равняется ее волновому сопротивлению и не зависит от сопротивления нагрузки.

Предложенный метод повышения устойчивости тональных рельсовых цепей базируется на автоматическом определении сопротивления изоляции рельсовой линии и корректировке выходного напряжения путевого генератора в зависимости от фактического состояния балласта. Для этого к передающему и приемному концу ТРЦ подключаются дополнительные высокочастотные генераторы ГВ1, ГВ2 и высокочастотные фильтры ФВ1, ФВ2 (рис. 3). Благодаря использованию высокочастотных фильтров устраняется влияние сигнального тока, токов АЛС, а также гармоник тягового тока на

работу высокочастотных генераторов. В свою очередь, путевого фильтра ФП и входного фильтра путевого приемника (на схеме не показан) защищают аппаратуру ТРЦ от сигналов высокочастотных генераторов. На рис. 3 путевого фильтра вынесен за пределы четырехполюсника Н. Взаимное влияние генераторов ГВ1 и ГВ2 исключается, благодаря затуханию высокочастотных сигналов в рельсовой линии.

При условии свободы данной ТРЦ, а также смежных рельсовых цепей включаются высокочастотные генераторы. С помощью блока определения сопротивления балласта (на рис. 3 не показан) измеряются выходные напряжения и токи генераторов ГВ1, ГВ2. Для определения токов измеряется падение напряжения на эталонных резисторах  $R_0$ . После этого рассчитывается входное сопротивление рельсовой линии на передающем и приемном концах

$$Z_{\text{вх1}} = \frac{D'_H (\dot{U}_{r1} / \dot{I}_{r1}) - B'_H}{A'_H - C'_H (\dot{U}_{r1} / \dot{I}_{r1})}, \quad (9)$$

$$Z_{\text{вх2}} = \frac{D'_K (\dot{U}_{r2} / \dot{I}_{r2}) - B'_K}{A'_K - C'_K (\dot{U}_{r2} / \dot{I}_{r2})}, \quad (10)$$

где  $\dot{U}_{r1}, \dot{I}_{r1}$  – напряжение и ток на выходе генератора ГВ1;  $\dot{U}_{r2}, \dot{I}_{r2}$  – напряжение и ток на выходе ГВ2;  $A'_H, B'_H, C'_H, D'_H$  – параметры четырехполюсника Н с учетом фильтров ФВ1 и ФП;  $A'_K, B'_K, C'_K, D'_K$  – параметры обратного четырехполюсника К с учетом фильтра ФВ2 и входного фильтра путевого приемника.

Рабочие частоты генераторов ГВ1, ГВ2 выбираются таким образом, чтобы выполнялось условие  $\gamma l \gg 1$ . Благодаря этому, полученные величины  $Z_{\text{вх1}}$  и  $Z_{\text{вх2}}$  представляют собой волновые сопротивления РЛ на передающем и приемном концах соответственно. Данные

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

значения применяются для определения полной километровой проводимости изоляции РЛ:

$$Y_{и1} = \frac{1}{R_{и1}} + j\omega C_{и1} = \frac{Z_p}{4Z_{вх1}^2}, \quad (11)$$

$$Y_{и2} = \frac{1}{R_{и2}} + j\omega C_{и2} = \frac{Z_p}{4Z_{вх2}^2}, \quad (12)$$

где  $Z_p = R_p + j\omega L_p$  – полное километровое сопротивление рельсовой петли на частоте измерения. Выделив вещественную часть у  $Y_{и1}$  и  $Y_{и2}$ , можно найти сопротивление балласта на передающем и приемном концах РЛ.

В ТРЦ путевого генератора подключается к двум смежным рельсовым линиям. При этом на границах рельсовых цепей, как правило, отсутствуют изолирующие стыки. Этим объясняется введение коэффициента «4» в выражения (11) и (12).

В справочной литературе приводятся нормативные значения полного километрового сопротивления рельсовой петли для нескольких фиксированных частот [1, 5]. Для определения сопротивления рельсовой петли на частоте измерения можно выполнить интерполяцию нормативных значений.

Значение выходного напряжения путевого генератора выбирается таким образом, чтобы выполнялись нормальный, шунтовой и контрольный режимы в двух смежных РЦ. Для оценки состояния балласта предлагается определять среднее сопротивление изоляции РЛ на передающем конце и приемных концах двух совмещенных рельсовых цепей. Данное значение можно использовать для корректировки выходного напряжения путевого генератора. Благодаря этому будет выполняться автоматическая регулировка рельсовых цепей в зависимости от фактического сопротивления балласта. Такая регулировка может проводиться только в нормальном режиме работы ТРЦ. После занятия соседней рельсовой цепи, а также во время нахождения поезда на участке данной ТРЦ выходное напряжение путевого генератора должно быть постоянным.

### Результаты

В соответствии с выражениями (1)–(7) были выполнены расчеты входного сопротивления рельсовой линии при различных значениях ее

длины, сопротивления изоляции и частоты измерения. Параметры элементов четырехполюсников Н и К были выбраны такими же, как и при определении напряжения на входе путевого приемника (см. выше).

На первом этапе исследовалось влияние длины рельсовой линии на ее входное сопротивление. Расчеты проводились для частоты измерения 5 кГц и нормативного значения полного километрового сопротивления рельсовых нитей [5]. Результаты представлены на рис. 4, где сплошной линией показан модуль входного сопротивления РЛ, а пунктирной – модуль ее волнового сопротивления. Анализ полученных зависимостей свидетельствует о том, что при увеличении длины рельсовой линии  $Z_{вх}$  уменьшается и стремится к значению  $Z_{в}$ . Причем, чем меньше сопротивление балласта, тем при меньшей длине РЛ достигается значение волнового сопротивления.

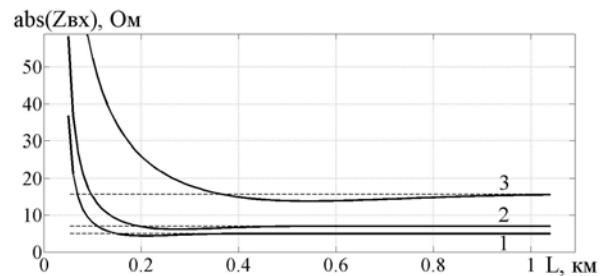


Рис. 4. Зависимость модуля входного сопротивления рельсовой линии от ее длины:

1 – сопротивление изоляции 0,5 Ом·км;  
2 – 1 Ом·км; 3 – 5 Ом·км

На следующем этапе исследовалась зависимость модуля входного сопротивления РЛ от частоты измерения. Для получения частотных характеристик километровых активного сопротивления и индуктивности рельсов была выполнена интерполяция и экстраполяция нормативных значений, приведенных в [5]. Расчеты проводились при сопротивлении балласта 5 Ом·км. Результаты представлены на рис. 5, где сплошной линией показаны частотные характеристики модуля входного сопротивления РЛ, а пунктирной – модуля волнового сопротивления. Как видно из полученных зависимостей, при повышении частоты измерения  $Z_{вх}$  увеличивается и стремится к значению  $Z_{в}$ . Так, для рельсовой линии длиной 700 м входное сопротивление практически равняется волновому

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

на частоті 9 кГц і вище (см. рис. 5, а), а для рельсової лінії довжиною 900 м – на частоті 5 кГц і вище (см. рис. 5, б).

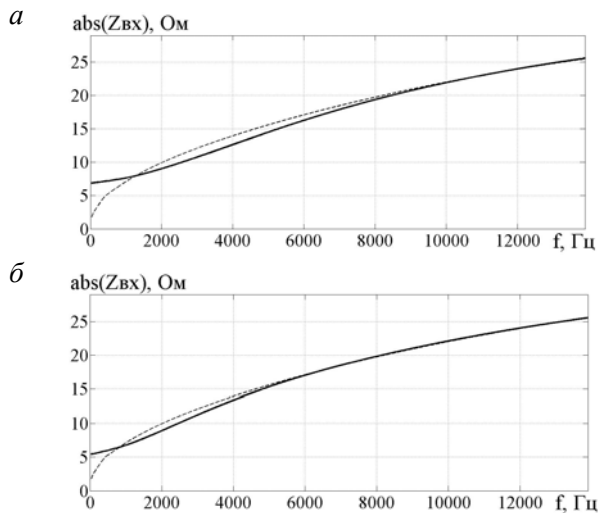


Рис. 5. Влияние частоты измерения на входное сопротивление рельсовой линии длиной 700 м (а) и 900 м (б)

Таким образом, частоту измерительных генераторов ГВ1 и ГВ2 следует выбирать с учетом длины рельсовой линии и верхней границы сопротивления балласта. Так как в области высоких значений изменения сопротивления балласта незначительно влияют на входное напряжение путевого приемника (см. рис. 2), то при выборе частоты измерения в качестве верхней границы  $R_{и}$  можно принять сопротивление 5 Ом·км. При этом если будет зафиксировано большее значение сопротивления балласта, то не будет выполняться корректировка выходного напряжения путевого генератора.

### Научная новизна и практическая значимость

Усовершенствован метод измерения сопротивления изоляции рельсовой линии, что позволяет автоматически определять сопротивление балласта. Установлена зависимость между частотой измерения, длиной рельсовой линии и сопротивлением балласта.

Предложенный метод позволяет повысить надежность тональных рельсовых цепей, обеспечить их устойчивую работу в условиях флуктуаций сопротивления балласта, благодаря определению фактического сопротивления изоляции рельсовой линии и адаптации рельсовых цепей к реальным условиям их эксплуатации.

### Выводы

1. Значительная часть сбоев рельсовых цепей вызвана их неустойчивой работой при флуктуациях сопротивления балласта, которые происходят вследствие изменения температуры, влажности, а также в результате загрязнения верхнего строения пути.

2. Для повышения устойчивости тональных рельсовых цепей предлагается автоматически определять сопротивление изоляции рельсовой линии и в зависимости от данного значения корректировать выходное напряжение путевого генератора. Сопротивление балласта можно определить по значению входного сопротивления рельсовой линии, которое на высоких частотах практически равняется волновому сопротивлению.

3. Для реализации предложенного метода к рельсовой цепи необходимо подключить дополнительные высокочастотные генераторы, высокочастотные фильтры, блок определения сопротивления балласта и корректировки выходного напряжения путевого генератора.

4. Частоту высокочастотных генераторов следует выбирать с учетом максимального значения сопротивления изоляции и длины рельсовой линии. В качестве верхней границы сопротивления балласта можно принять значение 5 Ом·км. При этом если будет зафиксировано большее сопротивление балласта, то не будет выполняться корректировка выходного напряжения путевого генератора.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Аркатов, В. С. Рельсовые цепи магистральных железных дорог / В. С. Аркатов, А. И. Баженов, Н. Ф. Котляренко. – М. : Транспорт, 1992. – 384 с.
2. Бабаев, М. М. Повышение помехозащищенности тональных рельсовых цепей / М. М. Бабаев, И. А. Саяпина // Зб. наук. пр. Донецького ін-ту заліз. трансп. – Донецьк, 2012. – Вип. 32. – С. 100–105.
3. Гончаров, К. В. Исследование переходных процессов в тональных рельсовых цепях / К. В. Гончаров // Наука та прогрес трансп. Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2013. – № 4 (46). – С. 7–17.

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

4. Гончаров, К. В. Методы защиты тональных рельсовых цепей от влияния импульсных помех / К. В. Гончаров // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2012. – Вип. 41. – С. 191–196.
5. Кравцов, Ю. А. Системы железнодорожной автоматики и телемеханики / Ю. А. Кравцов, В. Л. Нестеров, Г. Ф. Лекута. – М. : Транспорт, 1996. – 400 с.
6. Кулик, П. Д. Практичний посібник з технічного утримання апаратури тональних рейкових кіл : керівний нормативний документ «Укрзалізниці» / П. Д. Кулик, О. О. Удовіков, В. І. Басов. – К. : Мінтрансзв'язку України, 2006. – 236 с.
7. Лисенков, В. М. Методы повышения безопасности функционирования рельсовых цепей / В. М. Лисенков, А. Е. Ваньшин, М. В. Катков // Автоматика, связь, информатика. – 2010. – № 4. – С. 8–10.
8. Пат. 101093 Україна, МПК В 61 L 23/00. Рельсове коло / Бабаєв М. М., Кошевий С. В., Сотник В. О., Романчук В. Б., Ананьєва О. М., Саяпіна І. О. (Україна) ; заявник та патентовласник Українська держ. акад. залізн. трансп. – № а201110949 ; заявл. 13.09.2011 ; опубл. 25.01.2012, Бюл. № 2. – 3 с.
9. Пат. 2278046 Российская Федерация, МПК В 61 L 23/16. Рельсовая цепь / Тарасов Е. М., Левченко А. С., Куров М. Б., Митрохин Ю. В., Тарасова Е. В., Волик В. Г. (Российская Федерация) ; заявитель и патентообладатель Самарская гос. акад. путей сообщ. – № 2005100125/11 ; заявл. 11.01.2005 ; опубл. 20.06.2006, Бюл. № 17. – 7 с.
10. Пат. 75693 Україна, МПК В 61 L 25/06. Спосіб підвищення завадостійкості рейкового кола / Романцев І. О. (Україна) ; заявник та патентовласник Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – № u201206516 ; заявл. 29.05.2012 ; опубл. 10.12.2012, Бюл. № 23. – 1 с.
11. Сердюк, Т. Н. Измерение электромагнитных помех в обратной тяговой сети / Т. Н. Сердюк, А. В. Завгородний, В. И. Гаврилюк // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2009. – Вип. 29. – С. 134–139.
12. Федоров, Н. Е. Современные системы автоблокировки с тональными рельсовыми цепями / Н. Е. Федоров. – Самара : СамГАПС, 2004. – 132 с.
13. Gavrilyuk, V. Computer simulation of electromagnetic interference from railway electric power system harmonic / V. Gavrilyuk, A. Zavgorodnij, A. Myrgorodska // Arch. of Transport System Telematics. – 2009. – Vol. 2, iss. 1. – P. 33–37.
14. Gavrilyuk, V. Statistical analysis of electromagnetic interference between AC traction current and track circuits / V. Gavrilyuk, A. Zavgorodnij // Arch. of Transport System Telematics. – 2010. – Vol. 3, iss. 4. – P. 14–18.
15. Nock, O. S. Railway Signalling: a treatise on the recent practice of British Railways / O. S. Nock. – London : A&C Black Publishers Ltd, 1982. – 312 p.
16. Theeg, G. Railway Signalling and Interlocking. International Compendium / G. Theeg, S. Vlasenko. – Hamburg : Eurailpress, 2009. – 448 p.

К. В. ГОНЧАРОВ<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Автоматика, телемеханіка та зв'язок», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 04, ел. пошта goncharov\_k@inbox.ru

## ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ТОНАЛЬНИХ РЕЙКОВИХ КІЛ В УМОВАХ ФЛУКТУАЦІЙ ОПОРУ БАЛАСТУ

**Мета.** Розробка методу підвищення стійкості тональних рейкових кіл, що враховує фактичний опір ізоляції (баласту) рейкової лінії. **Методика.** Для досягнення поставленої мети запропоновано автоматично визначати опір ізоляції рейкової лінії й, у залежності від даного значення, коригувати вихідну напругу колійного генератора. Опір баласту визначається за значенням вхідного опору рейкової лінії, який на високих частотах практично дорівнює хвильовому опору. Для реалізації запропонованого методу до рейкового кола необхідно підключити додаткові високочастотні генератори, високочастотні фільтри, блок визначення опору баласту та коригування вихідної напруги колійного генератора. **Результати.** У результаті проведених досліджень було встановлено, що в області низьких значень (менше 2 Ом·км) зміна опору баласту призводить до значної зміни напруги на вході колійного приймача, що може викликати збій у роботі рейкового кола. Збільшення довжини рейкової лінії призводить до зменшення її вхідного опору,

## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

а підвищення частоти вимірювання викликає збільшення вхідного опору. В обох випадках вхідний опір наближається до значення хвильового опору. Частоту вимірювання слід обирати з урахуванням довжини рейкової лінії та верхньої границі опору баласту, в якості якої можна прийняти значення 5 Ом·км. В області більш високих значень опору баласту його зміни незначно впливають на вхідну напругу колійного приймача. При цьому коригування вихідної напруги колійного генератора може не виконуватись. **Наукова новизна.** Удосконалено метод вимірювання опору ізоляції рейкової лінії, що дозволяє автоматично визначати опір баласту. Встановлена залежність між частотою вимірювання, довжиною рейкової лінії та опором баласту. **Практична значимість.** Запропонований метод дозволяє підвищити надійність тональних рейкових кіл, забезпечити їх стійку роботу в умовах флуктуацій опору баласту, завдяки визначенню фактичного опору ізоляції рейкової лінії та адаптації рейкових кіл до реальних умов їх експлуатації.

*Ключові слова:* тональні рейкові кола; чотириполюсники; опір баласту; хвильовий опір; колійні генератори

K. V. HONCHAROV<sup>1\*</sup>

<sup>1\*</sup>Dep. «Automation, Telemechanics and Communications», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 04, e-mail goncharov\_k@inbox.ru

## IMPROVING THE STABILITY OF TONAL TRACK CIRCUITS UNDER FLUCTUATIONS OF BALLAST RESISTANCE

**Purpose.** The purpose of investigation is the development of method for improving the stability of tonal track circuits that takes into account the actual insulation resistance (ballast resistance) of rail line. **Methodology.** To achieve the research purpose it was proposed to automatically determine the insulation resistance of rail line, and depending on this value to adjust the output voltage of track generator. Ballast resistance is determined by the value of input resistance the rail line, which at high frequencies practically is equal to the wave impedance. To implement the proposed method it is necessary to connect to the track circuit additional high-frequency generators, high-frequency filters, unit for finding the ballast resistance and adjusting the output voltage of track generator. **Findings.** As a result of research it was found that at low values (less than 2 Ohms·km) the change of ballast resistance causes significant change of voltage at the track receiver input, which may cause malfunction of the track circuit. Increasing the length of rail line leads to the reducing of its input resistance, raising the measuring frequency causes increasing the input resistance. In both cases, the input resistance tends to the value of the wave impedance. The measuring frequency should be chosen taking into account the length of rail line and the upper limit of ballast resistance, the value 5 Ohms·km can be taken as that limit. At higher values of ballast resistance its changes insignificantly influence the input voltage of track receiver. In this case, the adaptive adjustment of voltage at the track generator output is not performed. **Originality.** The method for measuring the insulation resistance of rail line has been improved that allows one to determine the ballast resistance automatically. The dependence between measuring frequency, length of rail line and ballast resistance have been determined. **Practical value.** The proposed method allows one to improve the reliability of tonal track circuits, to provide their stable operation under fluctuations of ballast resistance due to determination of the actual insulation resistance of rail line and the adaptation of track circuits to the actual conditions of their operation.

*Keywords:* tonal track circuits; quadripole; ballast resistance; wave impedance; track generator

### REFERENCES

1. Arkatov V.S., Bazhenov A.I., Kotlyarenko N.F. *Relsovyye tsepi magistralnykh zheleznichnykh dorog* [Track circuits of mainline railways]. Moscow, Transport Publ., 1992. 384 p.
2. Babayev M.M., Sayapina I.A. Povysheniye pomekhozashchishchennosti tonalnykh relsovykh tsepoy [Improving the interference immunity of tonal track circuits]. *Zbirnyk naukovykh prats Donetskoho instytutu zaliznychnoho transportu* [Bulletin of Donetsk Institute of Railway Transport], 2012, issue 32, pp. 100-105.
3. Honcharov K.V. Issledovaniye perekhodnykh protsessov v tonalnykh relsovykh tsepnyakh [Investigation of transient processes in tonal track circuits]. *Nauka ta progres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana – Science and Transport Progress.*



## АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ НА ТРАНСПОРТІ

- Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan*, 2013, no. 4 (46), pp. 7-17.
4. Honcharov K.V. Metody zashchity tonalnykh relsovykh tsepey ot vliyaniya impulsnykh pomekh [Methods of protection of tonal track circuits from influence of pulse interferences]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2011, issue 38, pp. 188-193.
  5. Kravtsov Yu. A., Nesterov V.L., Lekuta G.F. *Sistemy zheleznodorozhnoy avtomatiki i telemekhaniki* [Systems of railway automation and telemechanics]. Moscow, Transport Publ., 1992. 400 p.
  6. Kulik P.D., Udovikov O.O., Basov V.I. *Praktychnyi posibnyk z tekhnichnoho utrymanna apparatury tonalnykh reykovykh kil* [Practical guide to technical facility retention of tonal track circuits]. Kyiv, Mintransviazku Ukrainy Publ., 2006. 236 p.
  7. Lisenkov V.M., Vanshin A.Ye., Katkov M.V. Metody povysheniya bezopasnosti funktsionirovaniya relsovykh tsepey [Methods to improve the functional safety of track circuits]. *Avtomatika, svyaz, informatika – Automation, communication, informatics*, 2010, no. 4, pp. 8-10.
  8. Babaiev M.M., Koshevyi S.V., Sotnyk V.O., Romanchuk V.B., Ananieva O.M., Saiapina I.O. *Relsove kolo* [Track circuit]. Patent UA, no. a2011 10949, 2011.
  9. Tarasov Ye.M., Levchenko A.S., Kurov M.B., Mitrokhin Yu.V., Tarasova Ye.V., Volik V.G. *Relsovaya tsep* [Track circuit]. Patent RU, no. 2005 100125/11, 2005.
  10. Romantsev I.O. *Sposib pidvyshhennia zavodstiykosti reykovooho kola* [Method to improve the interference immunity of track circuit]. Patent UA, no. u2012 06516, 2012.
  11. Serdyuk T.N., Zavgorodniy A.V., Gavrilyuk V.I. Izmereniye elektromagnitnykh pomekh v obratnoy tyagovoy seti [Measurement of electromagnetic interference in the return traction network]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu imeni akademika V. Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan], 2009, issue 29, pp. 134-139.
  12. Fedorov N.Ye. *Sovremennyye sistemy avtoblokirovki s tonalnymi relsovyimi tsepyami* [Modern automatic block systems with tonal track circuits]. Samara, SamGAPS, 2004. 132 p.
  13. Gavrilyuk V., Zavgorodnij A., Myrgorodska A. Computer simulation of electromagnetic interference from railway electric power system harmonic. *Archives of Transport System Telematics*, 2009, vol. 2, issue 1, pp. 33-37.
  14. Gavrilyuk V., Zavgorodnij A. Statistical analysis of electromagnetic interference between AC traction current and track circuits. *Archives of Transport System Telematics*, 2010, vol. 3, issue 4, pp. 14-18.
  15. Nock O.S. *Railway Signalling: a treatise on the recent practice of British Railways*. London, A&C Black Publishers Ltd Publ., 1982. 312 p.
  16. Theeg G., Vlasenko S. *Railway Signalling and Interlocking. International Compendium*. Hamburg, Eurailpress Publ., 2009. 448 p.

*Статья рекомендована к публикации д.физ.-мат.н., проф. В. И. Гаврилюком (Украина); д.физ.-мат.н., проф. А. В. Коваленко (Украина)*

Поступила в редколлегию 08.11.2013

Принята к печати 15.11.2013