

**С.В. Бушуев** – кандидат технических наук (НИЛ КСА)

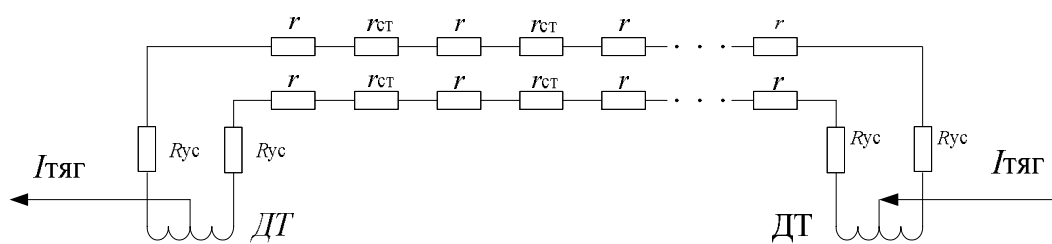
**К.В. Гундырев** – научный сотрудник (НИЛ КСА)

## МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПЕРЕХОДНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ТОКОПРОВОДНОГО СТЫКА

Проблемы контроля исправности токопроводного стыка (ТПС) уже многократно поднимались из-за неустойчивой работой рельсовых цепей (РЦ). Предложенные ранее решения не нашли широкого применения на железной дороге. Актуальность же этой проблемы для служб пути, энергоснабжения, сигнализации, централизации и блокировки возрастает в связи с попыткой применения нетрадиционных «соединителей» с использованием пружинящих элементов в стыке, необходимостью сокращения эксплуатационных расходов (за счет увеличения периода профилактического обслуживания стыков и применения все расширяющейся номенклатуры немедных электропроводных материалов в соединителях), а также организацией движения спаренных поездов.

Повышенное сопротивление ТПС может приводить к отказу РЦ в результате выполнения контрольного режима. Однако сопротивление стыка может плавно расти до 1,5 Ом, что не фиксируется путевым реле, после чего наступает обрыв рельсовой нитки, приводящий к отказу. Таким образом, для обнаружения стыка который привел к отказу РЦ по этой причине достаточно индикатора тока или обычного вольтметра.

Сегодня практически невозможно точно определить стык, в результате отказа которого увеличилась асимметрия тягового тока, что в итоге привело к насыщению дроссель-трансформаторов (ДТ) и перекрытию сигнала перед приближающимся поездом (рис.1).



$R_{ус}$  – сопротивление усовика,  $r_{ст}$  – сопротивление токопроводного стыка,  
 $r$  – сопротивление рельса

*Рисунок 1. Схема протекания тягового тока по рельсовой цепи*

По данным измерений сопротивления рельсовых соединителей (таблица 1) видно, что в РЦ короче двухсот метров (это практически все РЦ в горловине станции) при потере контакта хотя бы в одном приварном соединителе и накладке в одну из рельсовых нитей включается сопротивление, эквивалентное 12 м (24 м) рельса, т.е. асимметрия превысит допустимую норму 6 % (12 %).

Таблица 1

*Величины сопротивлений постоянному току рельсов, тяговых и рельсовых соединителей*

Наименование элемента	Сопротивление, мкОм	Эквивалентное сопротивление в метрах рельса Р65, м
Рельс Р50, мкОм/м	33	1,3
Рельс Р65, мкОм/м	25	1
Рельсовый, медный, приварной	80	3
Рельсовый, стальной, штепсельный 1400 мм * 85 мм * 2 (ф6*3)	2300	90
Медный, штепсельный 1200 мм	300	12
Алюминиевый штепсельный 1500 мм	600	24

В тех случаях, когда пружинящие элементы в ТПС применяются самостоятельно, т.е., без соединителей, вообще ликвидируется возможность повышения надежности работы РЦ за счет использования профилактического обслуживания стыков, а восстановление после отказов становится нетехнологичным и требует резкого увеличения затрат труда и времени. При этом отказавший стык можно определить только непосредственным измерением его переходного сопротивления.

На длинных РЦ возникновение асимметрии больше установленной нормы маловероятно, однако повышение сопротивления стыка приводит к увеличению сопротивления цепи пропуска обратного тягового тока, следовательно, растут и потери электроэнергии, что в современных условиях недопустимо.

Рассмотрим методы измерения сопротивления ТПС, которые могут быть положены в основу переносного прибора, и будут защищены от мешающих влияний нормально протекающих через стык токов. В частности, остановимся на различных вариантах реализации метода амперметра-вольтметра.

Измерение тягового тока, протекающего через стык, может быть реализовано двумя способами:

1. Магнитный способ измерения датчиком Холла;
2. Использование участка рельса в качестве шунта.

Магнитный способ измерения датчиком Холла применяется с использованием разомкнутой и замкнутой магнитной системы.

Разомкнутая магнитная система не позволяет измерить тяговый ток с достаточной точностью из-за чрезвычайно малых напряженностей магнитных полей, создаваемых тяговым током.

Использование замкнутой магнитной системы приводит к необходимости создания громоздких катушек (представляющих собой замкнутый магнитный контур из магнитопровода), которые должны надеваться на рельс. Естественно, что по массогабаритным, стоимостным и точностным характеристикам применение магнитных способов нецелесообразно.

При использовании участка рельса в качестве шунта (трехточечная схема подключения), измеряя падение напряжения на куске рельса фиксированной длины и зная расчетное сопротивление этого куска рельса, можно вычислить тяговый ток и, следовательно, вычислить сопротивление токопроводного стыка.

При этом существует две проблемы.

1. Рельс обладает чрезвычайно низким сопротивлением, примерно 25 мкОм на метр для рельса Р65, следовательно, значения измеряемых напряжений на одном метре

рельса при тяговом токе в среднем около 50 – 100 А будут составлять величину от 1 до 2,5 мВ.

2. Не все рельсовые цепи обтекаются тяговым током постоянно, поэтому измерение возможно только на главных путях и других участках пути, где постоянно протекает тяговый ток.

В условиях эксплуатации эти проблемы ограничивают применение такого метода, однако вопрос целесообразности его использования требует детальной проработки.

Метод амперметра-вольтметра по четырехточечной схеме подключения приборов (с собственным источником тока) решает проблему измерения сопротивления на участках, не обтекаемых тяговым током. В этом случае через стык пропускается заранее известный или измеренный ток. Отношение падения напряжения на стыке к заданному току дает искомое сопротивление.

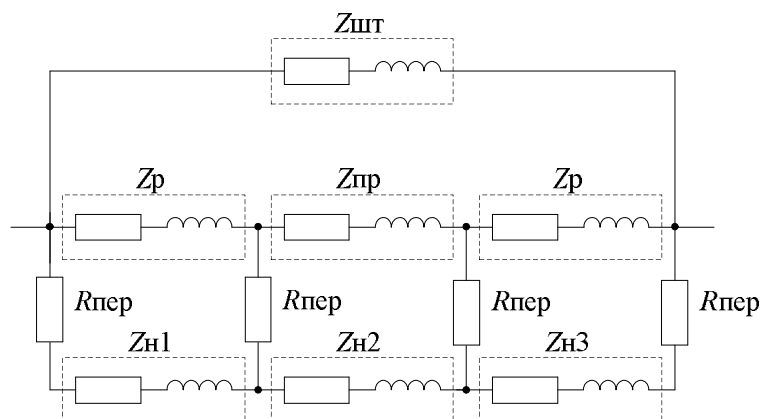
Однако основной проблемой при использовании этого метода становится наличие постоянного тягового тока в рельсах. Защитить измеритель от этого можно за счет использования переменного тока.

Очевидно, что сопротивление стыка переменному току будет больше, чем сопротивление постоянному току, что связано с наличием индуктивной составляющей сопротивления. Для определения возможности использования измерений на переменном токе оценим частотные свойства стыка.

Исследования проводились на двух установках. Для прямых измерений сопротивления постоянному и переменному (частотой 50 Гц) току рельсов, соединителей и токопроводных стыков использовалась первая установка, позволяющая задавать и измерять ток до 100 А, измерять падение напряжения на соединителе и/или стыке. Для измерения на переменном токе частотой от 50 до 3000 Гц использовалась вторая испытательная установка, формирующая ток до 2,5 А.

Для оценки факторов, влияющих на сопротивление токопроводного стыка, была предложена эквивалентная электрическая схема замещения ТПС, изображенная на рис. 2.

Результаты измерений на переменном токе 2,5 А в различных точках контакта «накладка-рельс» приведены на рис. 3.



$Z_{шт}$  – сопротивление штепсельного соединителя;  $Z_r$  – сопротивление рельса;  $Z_n$  – сопротивление накладок;  $Z_{пр}$  – сопротивление приварного соединителя;  $R_{пер}$  – переходное сопротивление контакта «накладка – рельс».

Рисунок 2. Электрическая эквивалентная схема ТПС

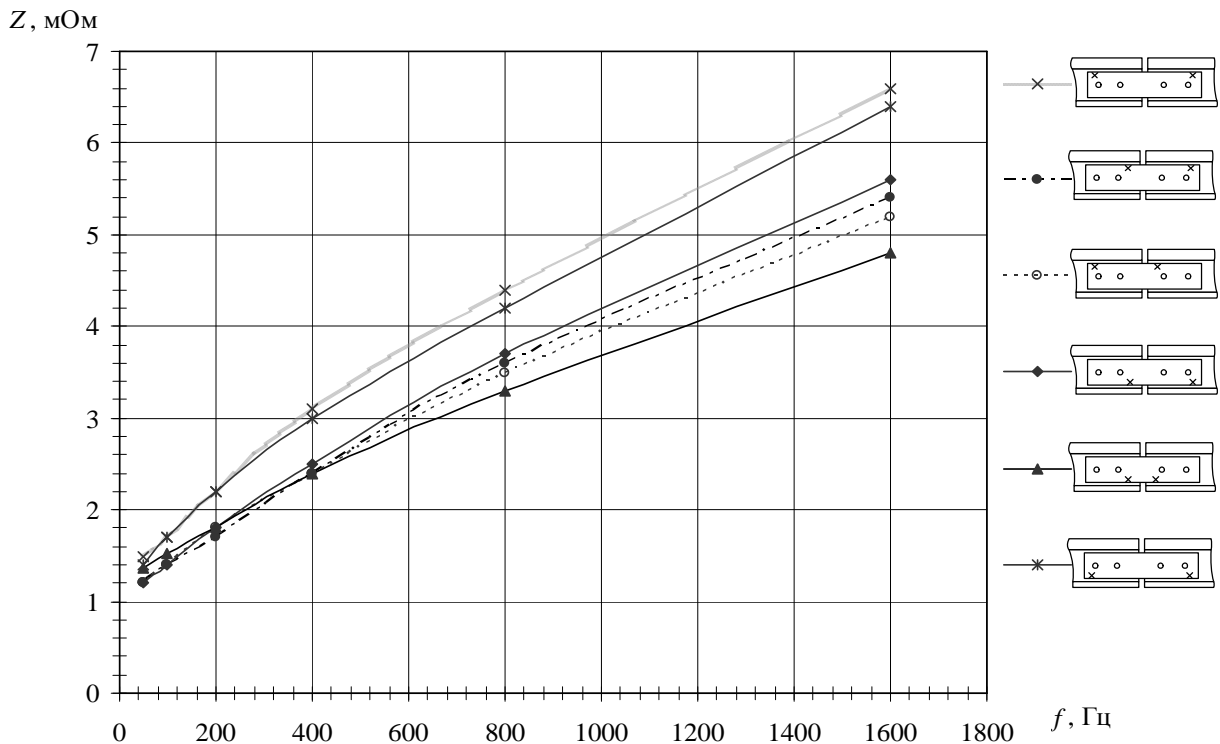
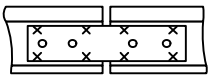


Рисунок 3. Зависимость сопротивления ТПС без соединителей от частоты и точек контакта «накладка-рельс» (x)

По результатам измерений можно отметить, что разброс сопротивлений, обусловленный нестабильностью переходного сопротивления в местах контакта «накладка-рельс», для симметричных точек контроля незначителен, и полученные результаты могут быть признаны достоверными. Графики зависимостей идут приблизительно параллельно, следовательно, индуктивная составляющая полного сопротивления ТПС слабо зависит от точек контакта «накладка-рельс». Тогда для уменьшения влияния переходного сопротивления и получения более точных соотношений между сопротивлением стыка на переменном и постоянном токе можно провести измерения при обеспечении одновременного контакта накладке с рельсом по всем предусмотренным в рамках эксперимента точкам.

Таблица 2

Результаты измерений

$f$ , Гц	0*	50*	50	100	200	400	800	1600	Точки контакта - x
$I$ , А	100	100	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	
$U$ , мВ	34	60	1,3	1,6	2,15	2,95	4,1	5,7	
$Z$ , мОм	0,295	0,6	0,52	0,64	0,86	1,1	1,64	2,2	

Результаты получены на различных установках, звездочкой отмечены результаты первой установки, остальные данные получены на второй.

Полученные результаты лабораторных исследований (таблица 2) подтверждаются данными о том, что среднее сопротивление ТПС (расположенного на главном пути) через год после капитального ремонта на частоте 300 Гц составляет  $0,8 \div 1$  мОм [1].

Анализ результатов исследований приводит к выводу, что сопротивление ТПС на  $f=50$  Гц примерно в два раза больше сопротивления постоянному току; с ростом частоты увеличивается не только индуктивное сопротивление стыка, но и активная составляющая этого сопротивления. Уже при 50 Гц угол полного сопротивления стыка приближается к  $45^\circ$  и далее с ростом частоты стабилизируется. Оценить сопротивление стыка постоянному току по результатам измерений на переменном токе можно только при низких частотах (менее 50 Гц). Поэтому для повышения точности измерений нужно использовать частоты менее 25 Гц.

Однако использование частот ниже 25 Гц наталкивает на проблему борьбы с помехами, создаваемыми тяговым током, т.к. мощность помех от постоянного тягового тока наибольшая в спектре частот до 25 Гц. Единственная возможность уменьшить влияние таких помех – это применение высокодобротных фильтров, что приводит к существенному увеличению времени измерения и, следовательно, энергетических затрат на одно измерение. Для обеспечения измерения реального диапазона сопротивлений токопроводных стыков от 50 мОм и более необходимо создавать измерительный ток порядка 50 А. С применением высокодобротных фильтров время измерения составит около 1 с, т.е., аккумулятора с емкостью 0,5 А·ч хватит примерно на 35 измерений.

Тем не менее, измерение сопротивления на постоянном токе предпочтительнее, так как для эксплуатации разным службам нужно именно сопротивление стыка постоянному току. На РЦ, где протекает тяговый ток величиной 50 А и выше, он может быть использован в качестве измерительного тока, если величина тягового тока недостаточна, то измеритель должен использовать встроенный собственный источник тока, который обеспечивает величину измерительного тока до 100 А.

Анализируя данные таблиц 1 и 2 и обращаясь к рис. 2, можно сказать, что динамический диапазон измеряемых величин сопротивлений токопроводного стыка при исправных стыковых соединителях будет составлять  $25 \div 2300$  мкОм. Точность измерительного прибора в указанном диапазоне должна быть не хуже 5 %.

## Литература

1. В.И. Бушуев, Л.В. Оводков. Повышение надежности токопроводных стыков // Автоматика, телемеханика и связь. – М.: Транспорт, №8, 1978. С. 25-27.
2. Разработка методов и периодичности контроля состояния рельсовых соединителей: Отчет о НИР / Уральское отделение Всесоюзного научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (УО ВНИИЖТ); Руководитель М.М. Кирилов; №553-У-78.р.1б; Инв. №1152. – Свердловск, 1978. С.72: Ил. 21, Отв. исполн. В.И. Бушуев, В.И. Чернов, Л.В. Оводков; – Библиогр.: С. 72.

## Статья опубликована

Бушуев С.В., Гундырев К.В. Методы измерения переходного сопротивления токопроводного стыка // Молодые ученые – транспорту: Труды IV научно-технической конференции. – Екатеринбург: УрГУПС, 2003. С. 121 – 126.