

$$N_{\text{норм}} = \sqrt{\frac{\beta_{50}}{\beta_{700}}}$$

Графики спектральных функций импульсов представлены на рисунке 2 (1 – импульс длительностью 700 мкс, 2 – импульс длительностью 50 мкс, 3 – нормированный импульс длительностью 50 мкс).

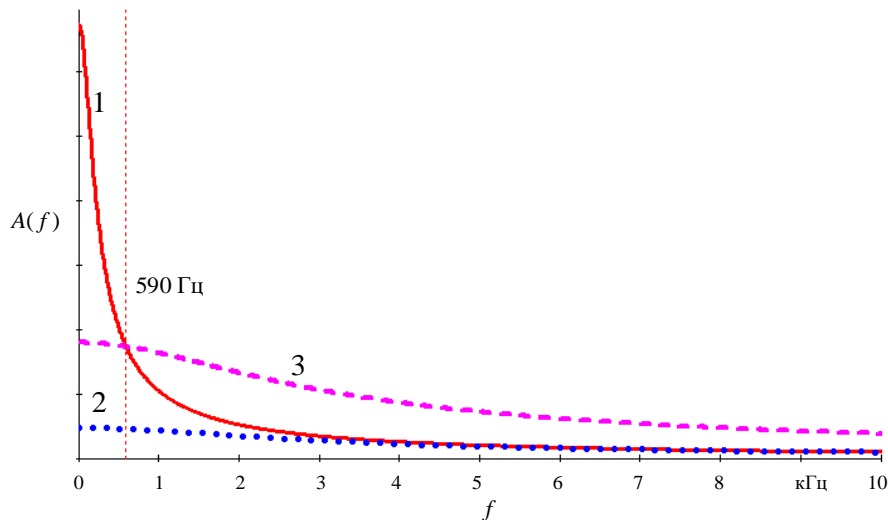


Рисунок 2

Анализ графиков показывает, что для области частот выше 590 Гц эквивалентный импульс длительностью 50 мкс имеет амплитуды гармонических составляющих большие, чем у импульса длительностью 700 мкс.

Таким образом, можно сделать вывод, что существует возможность оценки воздействия импульса 10/700 мкс (5/320 мкс) с помощью генератора выбросов 1,2/50 мкс. При этом амплитуда импульса 1,2/50 мкс (8/20 мкс) должна быть в $N_{\text{норм}}=3,74$ раз больше, чем у импульса 10/700 мкс (5/320 мкс). При этом согласно графику на рисунке 2 существуют ограничения на применения в низкочастотной области (до 590 Гц).

Список литературы

- 1 Бочков, К. А. Теория и методы контроля электромагнитной совместимости микроэлектронных систем обеспечения безопасности движения поездов : дис. ... д-ра техн. наук. 05.22.08 / Московский ин-т инженеров трансп. – М., 1993. – 379 с.
- 2 Бортновский, А. А. Теория передачи сигналов : лабораторный практикум. В 3 ч. Ч. 1 / А. А. Бортновский, И. О. Жигалин. – Гомель : БелГУТ, 2016. – 38 с.
- 3 ГОСТ ИЕС 61000-4-5-2017. Электромагнитная совместимость (ЭМС). Ч. 4-5. Методы испытаний и измерений. Испытание на устойчивость к выбросу напряжения. – М. : Стандартинформ, 2018. – 66 с.

УДК 656.25

КОСВЕННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ АСИММЕТРИИ ТЯГОВОГО ТОКА В РЕЛЬСАХ ПОД КАТУШКАМИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЛОКОМОТИВНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ

В. И. ШАМАНОВ, Д. В. ДЕНЕЖКИН

Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва

Одной из основных причин возникновения сбоев в работе автоматической локомотивной сигнализации (АЛС) является действие повышенной асимметрии тягового тока в рельсах под приемными локомотивными катушками. В результате интенсивность таких сбоев при электротяге переменного тока больше в 30–50 раз [1], а на участках с электротягой постоянного тока больше в 20–30 раз по сравнению с участками с автономной тягой [2].

Найти величину асимметрии тягового тока можно расчетным путём [3]. Такие расчёты относительно сложны, однако использование для их проведения ЭЦИМ снимает эти затруднения [4]. Но проведение расчётов эксплуатационным штатом не всегда возможно.

Асимметрии тягового тока под приёмными локомотивными катушками АЛС зависит от многих факторов и может значительно изменяться при движении поезда [1]. Наиболее точными являются измерения рассматриваемой асимметрии на локомотиве. Однако они относительно сложны, прежде всего, организационно. Поэтому для выяснения причин интенсивности сбоев на конкретном участке пути важна разработка более простых наземных измерений, обеспечивающих получение информации об асимметрии тягового тока под катушками АЛС в конкретной точке пути с достаточной для практических целей точностью.

Решение этой задачи даёт возможность разработать косвенный способ измерения [5]. При проведении измерений на рельсовые нити РН1 и РН2 накладывают нормативный шунт с величиной сопротивления $R_{ш} = 0,06 \text{ Ом}$ (рисунок 1, а). Тяговые токи i'_{T1} и i'_{T2} в рельсах, текущие к месту установки шунта, выравниваются за счет протекания тока $i_{ш}$ через данный шунт, имитирующий колёсные пары поезда.

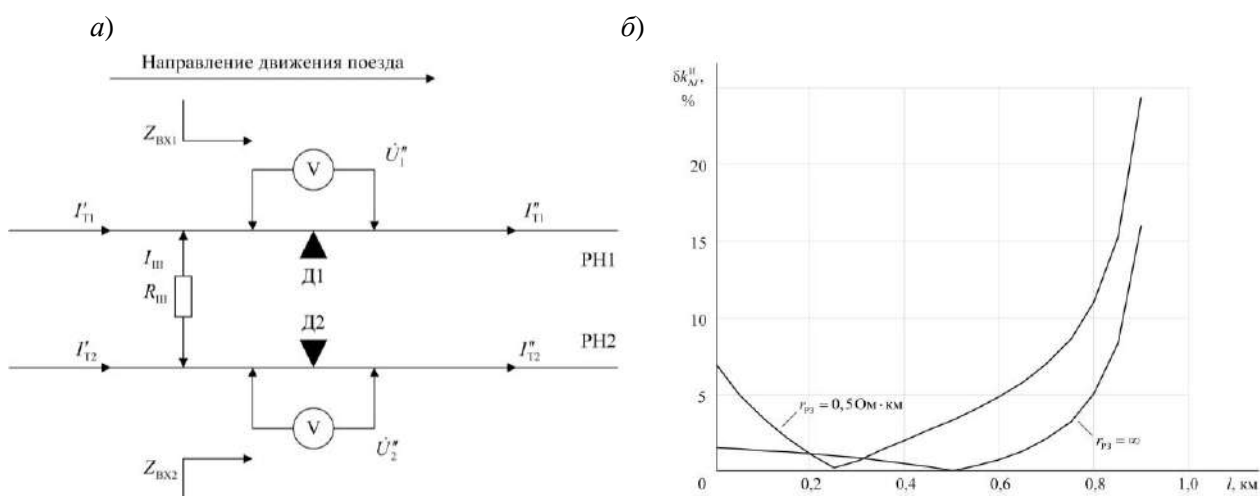


Рисунок 1 – Схема установки нормативного шунта и измерительных приборах (а), а также погрешности измерений косвенным способом асимметрии тягового тока под катушками АЛС (б)

За местом наложения шунта по ходу поезда устанавливают бесконтактные измерительные датчики Д1 и Д2, напряжения на выходе которых U'_1 и U'_2 пропорциональны соответственно тяговым токам i'_{T1} и i'_{T2} , растекающимся по рельсовым нитям от точки измерения обратно пропорционально их входным сопротивлениям $Z_{ВХ1}$ и $Z_{ВХ2}$. Следовательно, наложение нормативного шунта имитирует распределение тягового тока в рельсах, аналогичное такому распределению под приемными локомотивными катушками АЛС на движущемся поезде.

Погрешность таких измерений соотношения тяговых токов в рельсах под катушками АЛС можно найти сравнением найденных предложенным способом величин коэффициентов асимметрии тягового тока в рельсах с реальными их величинами в таких же условиях эксплуатации.

На рисунке 1, б приведены результаты расчётов распределения по длине рельсовой цепи (РЦ) относительной погрешности измерений косвенным способом коэффициентов асимметрии тягового тока под катушками АЛС. Погрешность вычислялась в процентах с использованием [3, 4] по формуле $\delta k_{AI}^I = (k_{AI}^I - k_{AI}) / k_{AI}$, где k_{AI} – коэффициент асимметрии переменного тягового тока под катушками АЛС для реального процесса его растекания перед электровозом и k_{AI}^I – этот коэффициент, найденный по результатам косвенных измерений.

При расчетах значения параметров РЦ были взяты следующими: величина переменного тягового тока в рельсах 300 А, длина РЦ 1,0 км, удельные продольные сопротивления первой и второй рельсовых нитей соответственно $0,4e^{j70^\circ}$ и $0,5e^{j70^\circ}$ Ом/км. Анализ проводился при максимальном

удельном сопротивлении рельсов по отношению к земле r_{p3} , близким к бесконечности, и при минимальном удельном сопротивлении величиной 0,5 Ом·км.

Анализ погрешностей измерения асимметрии переменного тягового тока под приемными локомотивными катушками АЛС предложенным способом показал следующее. Если утечка тягового тока из рельсов в землю мала, то при движении головного электровоза по первой половине РЦ погрешность измерения находится в пределах 1–2 %, уменьшаясь практически до нуля в её середине. По мере дальнейшего движения электровоза на расстояние больше 200 м от середины РЦ погрешность начинает превышать 5 %, а в конце РЦ погрешность может достигать 15 %.

С увеличением утечки тягового тока из рельсов землю погрешность измерения растёт. В начале РЦ она не превышает 5–7 %, уменьшаясь до нуля на расстоянии четверти длины от начала РЦ. Затем погрешность измерения начинает увеличиваться и на выходном конце РЦ может достигать 25 % при минимальном сопротивлении рельсов по отношению к земле. Однако этот недостаток предложенного способа измерений не перечёркивает его достоинства. При невысоком значении сопротивления изоляции рельсовых нитей по отношению к земле существенно растут уровень сигнального тока АЛС под локомотивными приемными катушками и соотношение «сигнал/помеха» по мере приближения головного электровоза к выходному концу РЦ. Поэтому такое ухудшение точности предложенного способа измерений для практики не критично.

Следовательно, предложенный косвенный способ обеспечивает вполне удовлетворительную для практических целей точность измерения тяговых токов под приемными локомотивными катушками АЛС, обеспечивая возможность эксплуатационному штату оперативно оценивать электромагнитную обстановку для РЦ и АЛС на участке, где фиксируется рост интенсивности сбоев в работе этой аппаратуры.

Список литературы

- 1 **Shamanov, V.** Formation of Interference from Power Circuits to Apparatus of Automation and Remote Control / V. Shamanov // Proceedings of 16th IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2018), Kazan, Russia, September 14–17, 2018. – P. 140–146.
- 2 Непрерывная оценка состояния обратной тяговой сети в условиях организации тяжеловесного движения / С. А. Лунев [и др.] // Известия ТрансСиб. – 2017. – № 1. – С. 2–9.
- 3 **Шаманов, В. И.** Расчеты помех от тягового тока в неоднородных рельсовых линиях / В. И. Шаманов // Автоматика на транспорте. – 2020. – Т. 6, № 3. – С. 241–267.
- 4 **Денежкин, Д. В.** Программа для расчета помех от тягового тока в неоднородных рельсовых линиях: свидетельство РФ 2021661104 о государственной регистрации программы для ЭВМ; заявитель и правообладатель РУТ (МИИТ); заявл. 25.06.21; опубл. 06.07.21.
- 5 **Шаманов, В. И.** Способ измерения асимметрии переменного тягового тока в рельсовых линиях под катушками АЛС: патент РФ 2529566; заявл. 01.02.2013; опубл. 27.09.2014, Бюл. № 27.