



ПЕРВИЧНЫЕ ПАРАМЕТРЫ РЕЛЬСОВОЙ ЛИНИИ РАЗЛИЧНЫХ УЧАСТКОВ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

*Антон Антонов¹, Елена Антонова¹, Анисья Дви Чахьяни¹, Галина Чернева²,
ant-a-antonov@yandex.ru, evmelnichenko@mail.ru, anisya.cahyani@gmail.com, cherneva@vtu.bg*

¹ *Российский университет транспорта (РУТ (МИИТ))
127994, Москва, ул. Образцова, 9, РОССИЯ*

² *Высшая транспортная школа им. Т. Каблешкова
1574, София, ул. «Гео Милев», 158, БОЛГАРИЯ*

Ключевые слова: рельсовая цепь, первичные параметры рельсовой линии, электрическое сопротивление рельсовой линии, сопротивление изоляции рельсовой линии, ширина железнодорожной колеи, сигнальный ток

Резюме: в статье рассмотрено влияние типа рельса и ширины колеи на первичные параметры рельсовой линии, получены расчетные значения удельного сопротивления рельсовой линии при различных типах рельсов и ширины колеи для тональных рельсовых цепей.

1. ВВЕДЕНИЕ

Безопасная работа системы железнодорожной автоматики зависит от точной и актуальной информации о местоположении поездов, предоставляемой устройствами обнаружения поездов. Рельсовые цепи являются наиболее популярными системами, используемыми во всем мире для предоставления информации о местоположении поезда и обеспечения безопасности движения.

Рельсовая цепь, являясь датчиком обнаружения переменного препятствия, находящимся на рельсовой линии, работает в трех основных режимах работы, определяемых, как нормальный (рельсовая линия свободна от подвижного состава), шунтовой (рельсовая линия занята подвижным составом) и контрольный (рельсовая линия имеет излом рельса). [1 – 5]

Условие передачи сигнального тока в рельсовой линии определяются ее первичными параметрами, к ним относятся электрическое сопротивление рельсовой линии (рельсов), проводящими основную часть энергии сигнального тока, и сопротивление изоляции рельсовой линии, обеспечивающую утечку сигнального тока через шпалы, балласт, землю и т.д.

2. ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ РЕЛЬСОВОЙ ЛИНИИ

На железных дорогах мира используются большое количество типов рельсов [6], являющиеся проводником электрической энергии и значение электрического

сопротивления рельсов будут зависеть от множества факторов, таких как: геометрические параметры рельса как проводника электрического тока - площадь поперечного сечения, периметр поперечного сечения, приводимый к радиусу окружности поперечного сечения проводника; удельное сопротивление рельсовой стали; частоты сигнального тока.

На активное сопротивление рельсов переменному току влияют частота тока, форма сечения проводника, проводимость, магнитная проницаемость стали, зависящая от тока в рельсах.

Активное сопротивление рельсов определяется по формуле Неймана [1, 2, 7]:

$$R_a = \frac{2,8\sqrt{\mu e_r \rho f}}{u},$$

где u – периметр поперечного сечения;

μe_r – относительная магнитная проницаемость рельсовой стали;

ρ – удельное сопротивление рельсовой стали $\rho = 0,21 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$,

f – частота сигнального тока.

При слабых полях, которые создаются сигнальными токами в расчетах, принимают $\mu e_r = 100$.

В качестве примера параметры рельсов будем рассматривать для типов рельсов, нашедших наиболее широкое распространение на железных дорогах России, Европейского Союза, Азиатско-Тихоокеанского региона (на примере железных дорог Индонезии) и являющиеся наиболее типичными или имеющие усредненные значения параметров других типов рельсов, а именно Р65 (российский стандарт), применяемые в странах пространства колеи 1520 мм - Содружества независимых государств (СНГ), странах Балтии, Монголии, UIC54 (стандарт международного союза железных дорог), применяемые в странах Европейского Союза, Индонезии, других странах.

Рельсовая линия может состоять из отдельных рельсовых звеньев длиной 12,5 м, 25 м или более длинных 800 – 1000 м, которые электрически соединяются между собой в пределах одной рельсовой цепи. Для электрического соединения рельсов используются стыковые соединители, стыковые накладки, создающие параллельную цепь для пропуска тока.

Одним из основных параметров для определения электрического сопротивления рельсовой линии является ширина колеи железнодорожного пути.

В мире используются различные типы ширины колеи. Редко встречается узкая колея 600 мм. Чаще используется эксплуатируемая в Индонезии, странах Африки, Японии «капская» колея 1067 мм. Широко распространены «европейская» колея 1435 мм, эксплуатируемая в странах Европейского Союза, странах Северной и Южной Америки, странах Азии, Африки, Австралии и «русская» колея 1520 мм, эксплуатируемая в России, странах СНГ, Балтии. [8]

Для постоянного тока удельные сопротивления сплошной нити из рельсов, при температуре +20°C, показаны в таблице 1. Температурный коэффициент сопротивления рельсовой стали составляет $0,0461^\circ\text{C}^{-1}$.

Таблица 1 – Параметры рельсов

| Тип рельса | Площадь поперечного сечения $S, м^2$ | Удельное сопротивление одной рельсовой нити постоянному току $r_0, Ом/км$ | Периметр поперечного сечения рельса $u, м$ | Радиус окружности длиной, равной периметру сечения $b, м$ |
|------------|--------------------------------------|---|--|---|
| P65 | 0,00829 | 0,0254 | 0,70 | 0,111 |
| UIC54 | 0,006977 | 0,02706 | 0,65 | 0,103 |

Рельсовая линия должна рассматриваться как две цепи (рельс – земля), которые связаны взаимной индуктивностью M_{12} и удельным сопротивлением взаимной индуктивности $z_m = j2\pi f M_{12} \cdot [1, 2]$

При протекании переменного тока по рельсовой линии действует магнитный поток. Часть этого магнитного потока находится в пределах каждого рельса, а часть – между рельсами. Удельная индуктивность двухпроводной линии L_n определяется по следующей формуле:

$$L_n = L_e + 2(L_i + L_{cm}),$$

где L_e – внешняя индуктивность двухпроводной линии;

L_i – внутренняя индуктивность целой рельсовой нити;

L_{cm} – индуктивность стыковых соединителей, приходящих на 1 км рельсовой нити.

Удельная внешняя индуктивность двухпроводной линии зависит только от геометрических размеров:

$$L_e = 0,4 \cdot 10^{-3} \ln \frac{a - b}{b},$$

где a – расстояние между осями рельсов, м;

$b = u/2\pi$ – радиус эквивалентного проводника, имеющего длину окружности, равную периметру поперечного сечения рельса, м (таблица 1).

Внутренняя индуктивность определяется по формуле:

$$L_i = 0,0955 R_a / f.$$

Индуктивность для стыкового приварного соединителя принимается равной $1,27 \cdot 10^{-6} Гн$. Количество стыковых соединителей принимаем 1 на 1 км рельсовой линии.

Взаимная индуктивность определяется по формуле:

$$M_{12} = 10^{-4} \left(12,982 - 2 \ln \left((a - b) \sqrt{\sigma f} \right) - j \frac{\pi}{2} \right),$$

где σ – удельная проводимость земли, $См/м$, принимаем среднее значение

$\sigma \approx 2,5 \cdot 10^{-3} См/м$.

Внешней индуктивностью рельсовой нити L'_e называется коэффициент самоиндукции или э.д.с. самоиндукции, которая возникает при протекании тока по цепи рельс – земля переменного тока.

$$L'_e = 10^{-4} \left(12,982 - 2 \ln(\sqrt{\sigma f}) - j \frac{\pi}{2} \right).$$

Полное удельное сопротивление рельсовой петли переменному току определяют по формуле:

$$z = 2(R_a + r_{cm} + j\pi f L_n) \text{ Ом/км.}$$

3. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА СОПРОТИВЛЕНИЯ РЕЛЬСОВОЙ ЛИНИИ ДЛЯ ТОНАЛЬНЫХ РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЕЙ

С помощью приведенных выше формул определены параметры рельсовых линий для частот тональных рельсовых цепей в диапазоне 420 – 780 Гц на примере тональных рельсовых цепей ТРЦЗ и других типов, широко используемых на сети железных дорог. [9, 10]

Результаты расчета первичных параметров рельсовой линии для типа рельса Р65 и ширина колеи 1520 мм указаны в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры рельсовой линии для типа рельса Р65 и ширина колеи 1520 мм

| Частота, Гц | Активное сопротивление рельса $R_a, Ом$ | Взаимная индуктивность двух цепей "рельс-земля" $M_{12}, Гн/км$ | Удельное сопротивление рельсовой линии $z, Ом/км$ |
|-------------|---|---|---|
| 420 | 0,376 | $1,224 \cdot 10^{-3} \cdot e^{-j7,37}$ | $3,28 \cdot e^{j76,75}$ |
| 480 | 0,402 | $1,21 \cdot 10^{-3} \cdot e^{-j7,45}$ | $3,71 \cdot e^{j77,47}$ |
| 580 | 0,441 | $1,19 \cdot 10^{-3} \cdot e^{-j5,28}$ | $4,41 \cdot e^{j78,44}$ |
| 720 | 0,492 | $1,17 \cdot 10^{-3} \cdot e^{-j7,71}$ | $5,38 \cdot e^{j79,46}$ |
| 780 | 0,512 | $1,16 \cdot 10^{-3} \cdot e^{-j7,76}$ | $5,8 \cdot e^{j79,83}$ |

Результаты расчета первичных параметров рельсовой линии для типа рельса UIC54 и ширина колеи 1067 мм приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Параметры рельсовой линии для типа рельса UIC54 и ширина колеи 1067 мм

| Частота, Гц | Активное сопротивление рельса $R_a, Ом$ | Взаимная индуктивность двух цепей "рельс-земля" $M_{12}, Гн/км$ | Удельное сопротивление рельсовой линии $z, Ом/км$ |
|-------------|---|---|---|
| 420 | 0,405 | $1,32 \cdot 10^{-3} \cdot e^{-j6,81}$ | $2,88 \cdot e^{j73,7}$ |
| 480 | 0,432 | $1,31 \cdot 10^{-3} \cdot e^{-j6,88}$ | $3,25 \cdot e^{j74,5}$ |
| 580 | 0,475 | $1,29 \cdot 10^{-3} \cdot e^{-j6,98}$ | $3,85 \cdot e^{j75,7}$ |
| 720 | 0,530 | $1,27 \cdot 10^{-3} \cdot e^{-j7,01}$ | $4,67 \cdot e^{j76,9}$ |
| 780 | 0,551 | $1,26 \cdot 10^{-3} \cdot e^{-j7,11}$ | $5,03 \cdot e^{j77,3}$ |

4. СОПРОТИВЛЕНИЕ ИЗОЛЯЦИИ РЕЛЬСОВОЙ ЛИНИИ

Сопротивление изоляции рельсовой линии в зависимости от климатических условий (влажности, температуры окружающей среды) может изменяться в достаточно широком диапазоне и является важнейшим параметром. От этого параметра зависит ток утечки из одного рельса в другой через шпалы, балласт, почву. Расчетное сопротивление изоляции рельсовой линии для различных климатических условий целесообразно принимать с учетом этих факторов.

5. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассчитанные значения параметров удельного сопротивления рельсовой линии в зависимости от типа рельсов и ширины колеи позволяет проводить расчет рельсовых

цепей в нормальном, шунтовом и контрольном режимах работы при анализе и синтезе, в том числе проводить выбор оптимальной длины рельсовой цепи, оптимальной длины зоны дополнительного шунтирования бесстыковых тональных рельсовых цепей. По необходимости результаты могут быть аппроксимированы для других параметров рельсов и ширины колеи.

ЛИТЕРАТУРА:

- [1] Аркатов, В.С., Кравцов, Ю.А., Степенский, Б.М. *Рельсовые цепи. Анализ работы и техническое обслуживание*. М.: Транспорт. – 1990. - 295 с.
- [2] Брылеев, А.М., Кравцов, Ю.А., Шишляков А.В. Теория, устройство и работа рельсовых цепей. М.: Транспорт. – 1978. - 344 с
- [3] Лисенков, В.М., *Методы анализа и синтеза рельсовых цепей (статистический подход)*. М.: ВИНТИ. – 2014. - 221 с.
- [4] Theeg, G., Vlasenko, S. *Railway signaling and interlocking*. Hamburg: PMC Media House. – 2020. – 552 p.
- [5] Schön, W. *Signalisation et automatismes ferroviaires – Tome 3*. Paris: La Vie du rail. – 2013. – 399 p.
- [6] https://en.wikipedia.org/wiki/Rail_profile [электронное издание] (дата обращения 15.07.2022)
- [7] Теоретические основы электротехники: В 3-х т. Учебник для вузов. Том 1. — 4-е изд. / К. С. Демирчян, Л. Р. Нейман, Н. В. Коровкин, В. Л. Чечурин. — СПб.: Питер, 2003.— 463 с.
- [8] Железнодорожный транспорт: Энциклопедия / Гл. ред. Н.С. Конарев. – М.: Большая Российская энциклопедия, 1994. – 559 с..
- [9] Системы железнодорожной автоматики и телемеханики / под ред. Ю.А. Кравцова. М.:Транспорт. – 1996. – 400с.
- [10] Кравцов, Ю.А., Антонов, А.А., Бакин, М.Е. Рельсовая цепь тональной частоты с автоматическим регулированием уровня сигнала. / *Механика, Транспорт, коммуникации.*- 2013. том 11, №3, ст.№0875 с. DS-30 – DS-35.

RAIL LINE PRIMARY PARAMETERS OF DIFFERENT RAILWAYS SECTIONS

Anton Antonov¹, Elena Antonova¹, Anisya Dwi Cahyani¹, Galina Cherneva²,

¹ Russian University of Transport (RUT (MIIT))

127994, Moscow, 9 Obrazcov str. RUSSIA

²Todor Kableshkov University of Transport

1574, Sofia, 158 Geo Milev str. BULGARIA

Key words: *track circuit, primary parameters of rail line, electrical resistance of rail line, insulation resistance of rail line, railway gauge, signal current*

Abstract: *the article considers the influence of the type of rail and the gauge on the primary parameters of the rail line, the calculated values of the specific resistance of the rail line for various types of rails and the gauge for audio frequency track circuits are obtained.*