

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ БЕССТЫКОВЫХ ТОНАЛЬНЫХ РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЕЙ В СИСТЕМЕ ЕКС

Мащенко Павел Евгеньевич
maschich@mail.ru

*кафедры "Автоматика и телемеханика на железнодорожном транспорте",
Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ)
РУСИЯ*

Ключевые слова: блок-участок, рельсовая цепь, локомотивный приёмник, сопротивление передачи.

Резюме: В настоящее время ряд локомотивов оборудован комплексом устройств ЕКС (единая комплексная система автоматического управления движением поездов). При использовании ЕКС обеспечивается гарантированная остановка поезда перед красным светофором, а также отпадает необходимость в использовании защитного блок-участка. При сближении двух поездов на некоторое расстояние, называемое опасной зоной сближения, шунтовой режим работы рельсовой цепи с локомотивным приемником может не обеспечиваться. В докладе рассмотрена наиболее неблагоприятная ситуация и показано, что в результате вычисления сопротивления передачи можно оценить критическое расстояния между движущимися поездами, при котором информация от рельсовой цепи может недостоверно восприниматься поездными устройствами.

В настоящее время ряд локомотивов оборудован комплексом устройств для автоматического регулирования скорости. Он включает в себя многозначную АЛС-ЕН и систему САУТ, все вместе называется КЛУБ-У (или ЕКС – единая комплексная система автоматического управления движением поездов). При использовании КЛУБ-У обеспечивается гарантированная остановка поезда перед красным светофором, а также отпадает необходимость в использовании защитного блок-участка. Эта система позволяет проследовать защитный участок поезду со скоростью, приближенной к V_3 . Такая возможность достигается путем посылки в рельсовую цепь (РЦ) вместе с кодами (З, Ж и КЖ) также дополнительных кодов. На локомотиве предполагается установка дополнительных сигналов ЗУ, руководствуясь которыми ЕКС прогнозирует кривую скорости и проследование поездом по ней защитного блок-участка. Дополнительные сигналы подаются на частоте 175 Гц. При подходе второго поезда к красному светофору, за которым непосредственно находится первый поезд, зона дополнительного шунтирования составляет около 200 м. Это создает ситуацию, при которой рельсовая цепь будет занята, и кодирования не будет, то есть будет неточное восприятие дополнительных сигналов на локомотиве. Для того, чтобы показать свободу РЦ, зона дополнительного шунтирования не должна превышать 40 м, в связи с этим на локомотиве второго поезда необходима установка дополнительного

приемника, реагирующего на частоту путевого генератора, составляющую 720 или 780 Гц. При обнаружении на локомотиве машинистом такого сигнала он будет осведомлен о приближении к занятому блок-участку, огражденному красным показанием светофора.

При применении системы ЕКС повышение пропускной способности регулирования движения поезда в пределах защитного участка осуществляется по сигналам АЛС, в этом случае возникает задача обеспечения шунтового и контрольного режимов работы РЦ с локомотивным приемником.

При сближении двух поездов на некоторое расстояние, называемое опасной зоной сближения, шунтовой режим работы рельсовой цепи с локомотивным приемником может не обеспечиваться, наиболее неблагоприятной является ситуация, когда первый поезд имеет нормативное сопротивление поездного шунта $R_{шн}=0,06$ Ом, а второй поезд имеет сопротивление поездного шунта, которое практически равно 0. Длина опасной зоны определяется на основании решения уравнения:

$$K_{вн} \cdot |Z_{полш}| = |Z_{пол}|,$$

где $|Z_{пол}|$ – приведенное сопротивление передачи РЦ с локомотивным приемником в нормальном режиме;

$|Z_{полш}|$ – приведенное сопротивление передачи РЦ с локомотивным приемником в шунтовом режиме;

$K_{вн}$ – коэффициент надежного возврата локомотивного приемника.

Рассмотрим ситуации указанного выше уравнения для различных случаев взаимного расположения поездов. Расчет в нормальном режиме необходимо производить с помощью схемы замещения для тональной рельсовой цепи без изолирующих стыков с локомотивным приемником, которая представлена на рисунке 1.

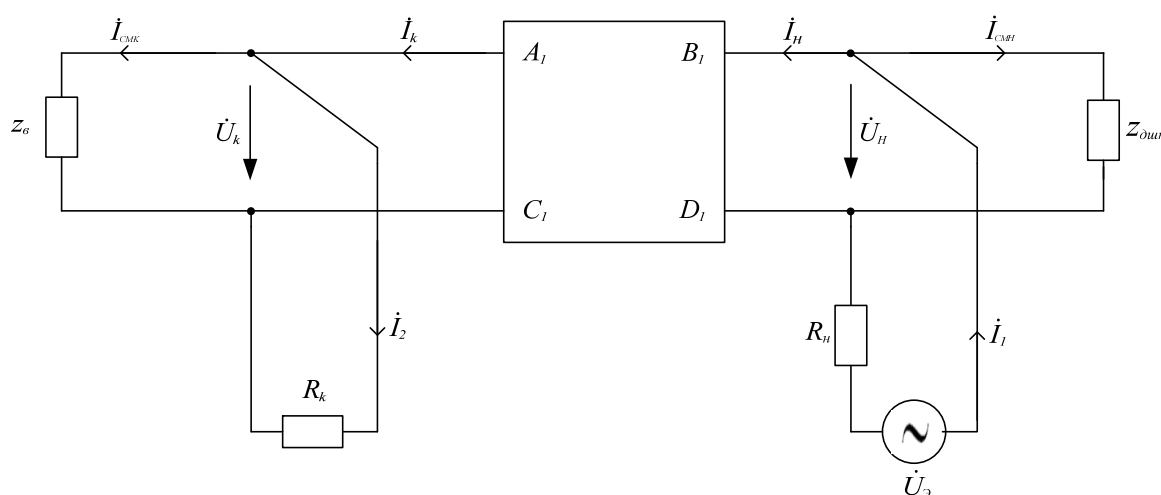


Рис. 1. Схема замещения БТРЦ в нормальном режиме.

На рисунке 1 приняты следующие обозначения:

$Z_в$ – волновое сопротивление;

$Z_{шн}$ – сопротивление зоны дополнительного шунтирования, которое необходимо при расчете, так как отсутствие изолирующих стыков подразумевает наличие некоторой зоны, оказывающей влияние на источник питания;

U_3 – напряжение источника питания;

R_n – сопротивление в начале рельсовой цепи;
 R_k – сопротивление в конце рельсовой цепи;
 U_n – напряжение в начале рельсовой цепи;
 U_k – напряжение в конце рельсовой цепи;
 A_1, B_1, C_1, D_1 – коэффициенты четырехполюсника.

Четырехполюсник в данной схеме замещения представляет собой упрощенное изображение элементов рельсовой цепи, таких как сопротивление изоляции и сопротивление рельсовых нитей.

Напряжение на релейном конце: $U_k = I_2 \cdot R_k$.

Ток, ответвляющийся в линию со стороны релейного конца: $I_{cmk} = U_k / Z_B$.

Общий ток на релейном конце определяется как сумма входящих в узел токов:
 $I_k = I_2 \cdot (R_k / Z_B + 1)$.

Запишем уравнения четырехполюсника:

$$\begin{cases} U_n = A_1 U_k + B_1 I_k \\ I_n = C_1 U_k + D_1 I_k \end{cases}$$

Общий ток на путевом генераторе складывается из тока в начале рельсовой цепи и тока, ответвляющегося в зону дополнительного шунтирования: $I_1 = I_n + U_n / Z_{дин}$.

Сопротивление обратной передачи по определению находится как отношение напряжения питающей аппаратуры рельсовой цепи к току на ее релейном конце. В свою очередь, отличие сопротивления передачи от приведенного сопротивления передачи выражается в отношении напряжения в цепи путевого генератора к току на релейном конце: $z_{non} = U_9 / I_2 = U_9 (I_2 = 1)$.

Приняв условно ток на релейном конце за единицу, получим следующее упрощенное выражение приведенного сопротивления передачи, которое соответствует напряжению на путевом генераторе:

$$z_{non} = (1 + R_n / Z_{дин}) (A_1 R_k + B_1 R_k / Z_0 + B_1) + R_n (D_1 + D_1 R_k / Z_0 + C_1 R_k)$$

Подставляя в конечную формулу коэффициенты четырехполюсника для БТРЦ, можно вычислить значение приведенного сопротивления передачи при условии, что ток на релейном конце принят за единицу:

$$A_1 = D_1 = ch(\gamma l), \quad B_1 = Z_B sh(\gamma l), \quad C_1 = (1 / Z_B) sh(\gamma l),$$

где $\gamma = \sqrt{z / r_u}$ – затухание рельсовой цепи, z – сопротивление рельсовых нитей, r_u – сопротивление балласта данной рельсовой цепи; l – длина данной рельсовой цепи; $z_0 = \sqrt{z \cdot r_u}$ – волновое сопротивление.

Для вычисления $Z_{дин}$ представим электрическую цепь зоны дополнительного шунтирования в виде схемы замещения (рисунок 2).

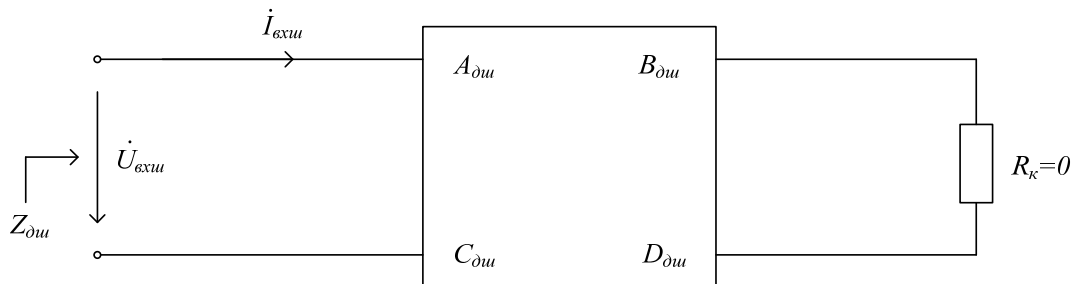


Рис. 2. Схема замещения электрической цепи зоны дополнительного шунтирования.
 Первичная система уравнений для четырехполюсников:

$$\begin{cases} U_{\text{вхш}} = A_1 U_k + B_1 I_k \\ I_{\text{вхш}} = C_1 U_k + D_1 I_k \end{cases}$$

Так как сопротивление в зоне дополнительного шунтирования равно нулю, то для данного случая система примет вид:

$$\begin{cases} U_{\text{вхш}} = B I_k \\ I_{\text{вхш}} = D I_k \end{cases}$$

Тогда сопротивление входа зоны дополнительного шунтирования: $Z_{\text{ду}} = B / D$.

В итоге вычисление полного сопротивления зоны дополнительного шунтирования сводится к следующей формуле: $Z_{\text{ду}} = Z_{Bth}(\gamma'_{\text{ду}})$.

На частоте 720 Гц при длине БТРЦ 150 метров и зоне дополнительного шунтирования 30 метров приведенное сопротивление передачи составило: $|Z_{\text{non}}| = 5.248 \cdot e^{j17.9^\circ}$.

Сопротивления релейного и питающего концов для данного случая и в дальнейшем условно равно и принято 0,4 Ом, как сопротивление, при котором будут выполняться все режимы работы БТРЦ.

Интерес также представляет расчет нормального режима работы БТРЦ с локомотивным приемником в случае с приближающимся к релейному концу поездом. Особенностью такого режима для схемы замещения БТРЦ будет наличие в ней второго четырехполюсника. Схема замещения БТРЦ в нормальном режиме (в случае с приближающимся поездом) представлена на рисунке 3.

Все обозначения подобны схеме замещения на рисунке 1, кроме промежуточных значений токов и напряжений, которые для удобства приняты с индексами, соответствующими определенному расположению аппаратуры и поездной ситуации.

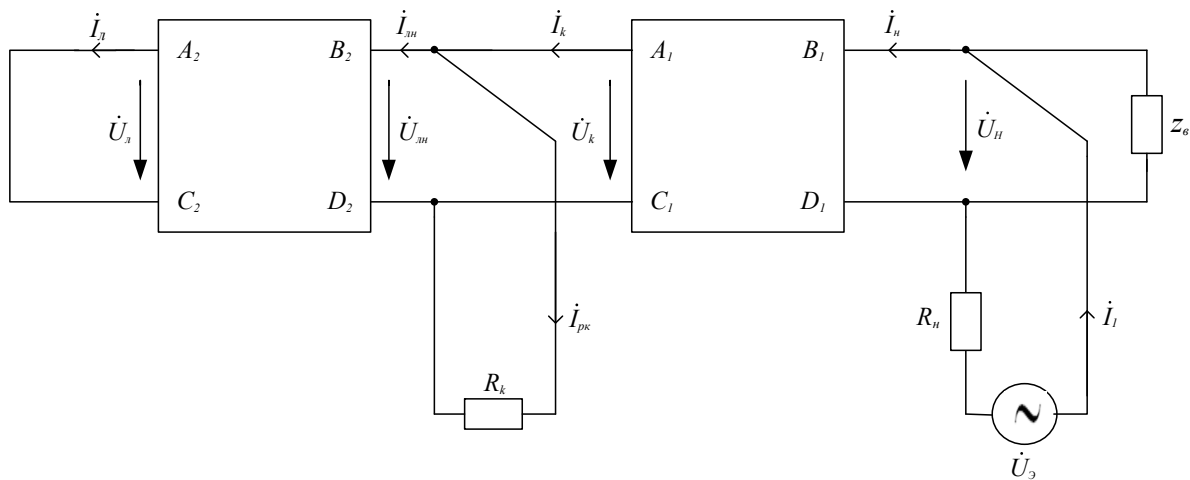


Рис. 3. Схема замещения БТРЦ с локомотивным приемником в нормальном режиме работы в случае с приближающимся к релейному концу поездом.

Система уравнений для второго четырехполюсника:

$$\begin{cases} U_{\text{ду}} = A_2 U_{\text{л}} + B_2 I_{\text{л}} \\ I_{\text{ду}} = C_2 U_{\text{л}} + D_2 I_{\text{л}} \end{cases}$$

Так как сопротивление шунта очень мало, то напряжение на поездном шунте принимается за ноль ($U_{\text{л}}=0$). Получим:

$$\begin{cases} U_{\text{ду}} = B_2 I_{\text{л}} \\ I_{\text{ду}} = D_2 I_{\text{л}} \end{cases}$$

Ток на релейном конце выражается: $I_{pk} = U_{лн} / R_k$.

Ток на конце рельсовой цепи выражается как сумма токов, входящих в узел:

$$I_k = I_{лн} + I_{pk} = D_2 I_l + (B_2 I_l) / R_k.$$

При этом напряжение на конце рельсовой цепи: $U_k = U_{лн} = B_2 I_l$.

Система для второго четырехполюсника аналогично:

$$\begin{cases} U_n = A_1 U_k + B_1 I_k \\ I_n = C_1 U_k + D_1 I_k \end{cases}$$

Ток, протекающий в цепи путевого генератора: $I_l = I_n + U_n / Z_g$.

Напряжение на путевом генераторе: $U_g = U_n + I_l R_n$.

Приведенное сопротивление обратной передачи: $Z_{пол} = U_g / I_l$.

Подставляя вышеперечисленные выражения I_k и U_k в систему уравнений для первого четырехполюсника, получим:

$$\begin{cases} U_n = A_1 B_2 I_l + B_1 (D_2 I_l + (B_2 I_l) / R_k) \\ I_n = C_1 B_2 I_l + D_1 (D_2 I_l + (B_2 I_l) / R_k) \end{cases}$$

В итоге после всех преобразований и упрощений формула приведенного сопротивления передачи при условии, что ток в локомотивных катушках $I_l=1$, имеет вид:

$$z_{пол} = R_n ((B_2 A_1 + (B_2 / R_k + D_2) B_1) / Z_g + (B_2 / R_k + D_2) D_1 + C_1 B_2) + (B_2 / R_k + D_2) B_1 + A_1 B_2.$$

Приведём пример расчета для рельсовой цепи длиной 150 метров на частоте 720 Гц. При условии, что расстояние от приближающегося поезда к релейному концу принято равным 100 метрам, приведенное сопротивление передачи составляет величину: $Z_{пол} = 6,974 \cdot e^{j130^\circ}$.

Таким образом, в результате вычисления сопротивления передачи можно оценить критическое расстояния между движущимися поездами, при котором информация от рельсовой цепи может недостоверно восприниматься поездными устройствами. Следующим этапом расчета следует вывод формул для вычисления коэффициента $|Z_{пол}|$. Также следует отметить, что при проектировании систем автоблокировки необходимо, кроме обычных факторов, оказывающих влияние на работу рельсовой цепи, обращать внимание и на рисунок поездного положения, то есть внедрять устройства, предотвращающие возникновение той или иной нежелательной ситуации, когда работа устройств наиболее нестабильна и возможно получение недостоверной информации от рельсовой цепи поездными устройствами.

ЛИТЕРАТУРА:

[1] Брылеев А.М. и др. "Автоматическая локомотивная сигнализация и авторегулировка". М. "Транспорт", 1981, 320 стр).

[2] Кравцов Ю.А., Нестеров В.Л., Лекута Г.Ф. и др. "Системы железнодорожной автоматики и телемеханики". М. "Транспорт", 1996, 400 стр..

STUDY OF OPERATION MODES OF CONTINUOUS WELDED RAIL TONAL TRACK CIRCUITS IN THE SYSTEM EKS

Mashchenko Pavel

maschich@mail.ru

*Department of Automation and telemechanics on the railway transport
Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow,
RUSSIA*

Key words: *block-section, track circuit, locomotive receiver, resistance transmission*

Abstract: *At present a number of locomotives equipped with complex devices EKS (unified system of automatic train control). When using EKS is ensured guaranteed trains stop at a red traffic light, and also eliminates the need to use protective block section. When the rapprochement of the two trains at some distance, called the dangerous zone of convergence, shunt mode track circuit with locomotive receiver can not be ensured. The report considered the most unfavourable situation and it is shown that in the result of the calculation of transmission resistance can estimate the critical distance between the moving trains, where the information from the track circuit may inaccurately perceived train devices.*