

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОНАЛЬНЫХ РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЕЙ В НОРМАЛЬНОМ И ШУНТОВОМ РЕЖИМАХ

Статью представил д.ф.-м.н., проф. Гаврилюк В. И.

Введение

В настоящее время тональные рельсовые цепи (ТРЦ) находят все большее применение на ответственных участках скоростного движения поездов. От правильности фиксации ними состояния контролируемых участков зависит безопасность движения поездов (БДП). В связи с чем возникает необходимость в анализе работы ТРЦ для улучшения их обслуживания и БДП. Одним из методов анализа является математическое моделирование с помощью математического программирования.

Теоретические основы математического моделирования работы ТРЦ были рассмотрены Брылеевым А. М. в 70-х годах прошлого века в работах [1 - 6]. В большинстве работ математическое моделирование работы данных рельсовых цепей (РЦ) рассматривалось частично и объясняется выполнением трудоёмких инженерных расчётов без применения методов математического программирования, что не давало возможности быстро анализировать происходящие изменения в математической модели. Современное развитие вычислительных средств позволяет решать сложные задачи анализа с помощью методов математического программирования.

Цель работы

Исследовать работу ТРЦ в нормальном и шунтовом режимах с помощью математического программирования.

В соответствии с поставленной задачей в нормальном режиме определялось поведение характеристических сопротивлений рельсовой линии (РЛ) от частоты несущей и в шунтовом режиме – ординаты шунтирования от частоты несущей и длины контролируемого участка. Данное исследование не проводилось в работах [4, 5].

Моделирование работы тональных рельсовых цепей в нормальном режиме

Объектом моделирования являются перрегонные ТРЦ с централизованным размещением аппаратуры в которых используются несущие частоты 420, 480, 580, 720 и 780 Гц согласно [8]. Математическое моделирование работы данных рельсовых цепей основывается на применении теории четырехполюсников (далее 4-х полюсников).

Особенностью работы ТРЦ в нормальном режиме является запитка от одного генератора (источника) двух путевых приёмников контролируемых участков. Поэтому находим коэффициенты 4-х полюсника РЛ в данном режиме работы тональных рельсовых цепей по формулам согласно [6, 7]

$$A = D = sh(\gamma l) + ch(\gamma l)$$

$$B = Z_B sh(\gamma l) \quad (1)$$

$$C = 2(Z_B)^{-1} (sh(\gamma l) + ch(\gamma l))$$

где l – фактическая длина РЛ (от точки подключения генератора до точки подключения путевого приемника ТРЦ), A и D – коэффициенты передачи по напряжению и по току, C – проводимость изоляции в См/км, B – сопротивление в Ом/км, Z_B и γ – волновое сопротивление и коэффициент распространения РЛ.

Определим волновое сопротивление и коэффициент распространения РЛ по формулам:

$$Z_B = \sqrt{Z_p \cdot R_{из}}, \text{ Ом}; \quad (2)$$

$$\gamma = \sqrt{\frac{Z_p}{R_{из}}}, \text{ 1/км} \quad (3)$$

где Z_p – удельное сопротивление рельсов известно из [7, 9] для каждой частоты сигнального тока, а $R_{из}$ – удельное сопротивление изоляции балласта (СИБ).

Для определения коэффициентов 4-х полюсников питающего и релейного концов ТРЦ воспользуемся схемами их замещения составленными с учетом принципиальной схемы на рис. 1.

На рис. 2 представлена схема замещения оборудования релейного конца ТРЦ в виде 4-х полюсников: конденсатора 4 мкФ, кабельной линии (КЛ) от поста электрической централизации (ЭЦ) до точки подключения путевого приемника ($Ak1, Bk1, Ck1$ и $Dk1$), дополнительного резистора $R\delta$, трансформатора ПОбС – 2А (A_{PK}, B_{PK}, C_{PK} и D_{PK}), защитного резистора $Rз$ номиналом 0,3 Ом.

Номинал $R\delta (R_{ДРК})$ на релейном конце определяем по формуле:

$$R_{ДРК} = 400 - R \cdot L_{PK}, \quad (4)$$

где R – активное сопротивление кабеля в Ом/км, L_{PK} – длина КЛ от поста ЭЦ до точ-

ки подключения путевого приемника ТРЦ (далее ПП) в км.

$$L_{PK} = 1,03 \cdot (l + 0,006) \text{ км}, \quad (5)$$

где 1,03 – коэффициент, учитывающий скрутку кабеля;

l – ордината точки подключения ПП в км;

0,006 – запас необходимый на разделку и укладку кабеля.

Коэффициенты 4-х полюсника релейного конца Ak, Bk, Ck и Dk находим путем перемножения соответствующих коэффициентов 4-х полюсников матриц $[A]$, входящих в релейный конец (см. рис. 1):

$$\begin{vmatrix} Ak & Bk \\ Ck & Dk \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & 0,3 \\ 0 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} D_{PK} & B_{PK} \\ C_{PK} & A_{PK} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} Ak1 & Bk1 \\ Ck1 & Dk1 \end{vmatrix} \times \\ \times \begin{vmatrix} 1 & R_{ДРК} \\ 0 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ (-j \cdot 2\pi \cdot f_H \cdot 4 \cdot 10^{-6})^{-1} & 1 \end{vmatrix} \quad (6)$$

где f_H – частота несущей, j – мнимая единица.

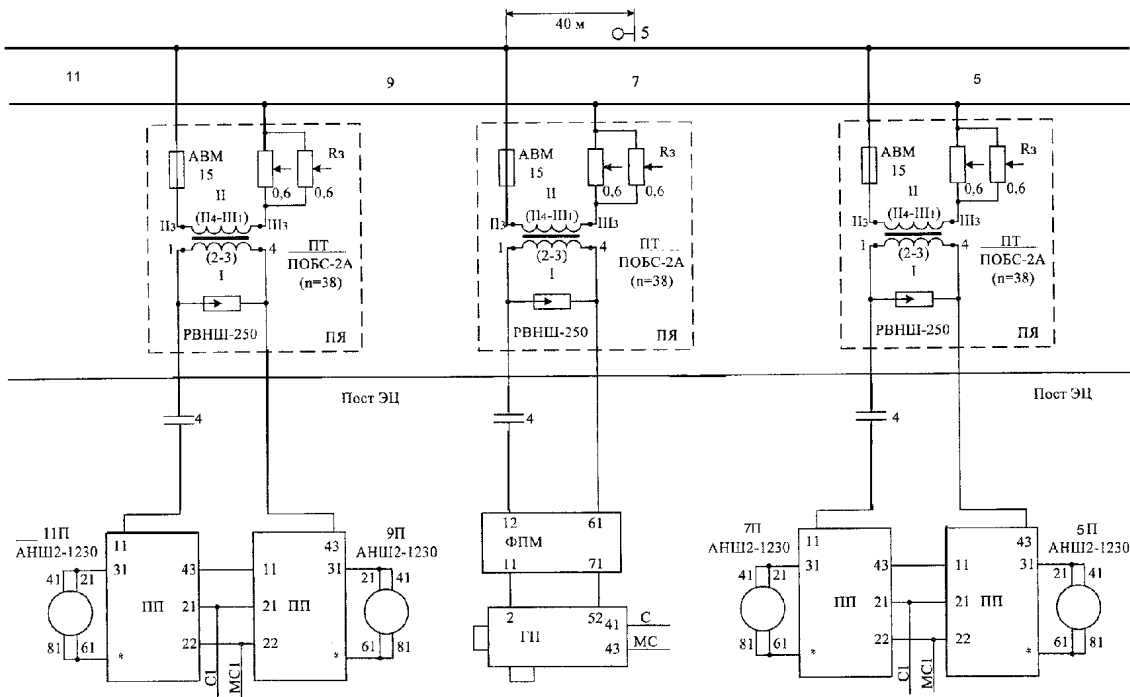


Рис. 1. Принципиальная схема ТРЦ

На рис. 3 представлена схема замещения оборудования питающего (генераторного) конца в виде 4-х полюсников: фильтра типа ФПМ (A_f, B_f, C_f и D_f), конденсатора 4 мкФ, дополнительного резистора $R\delta$, КЛ от поста ЭЦ до точки подключения путевого генератора (Al, Bl, Cl и DI), трансформатора ПОбС – 2А (A_{GK}, B_{GK}, C_{GK} и D_{GK}), защитного резистора $Rз$ номиналом 0,3 Ом.

Коэффициенты 4-х полюсника ПОбСа релейного и питающего концов ТРЦ, фильтра типа ФПМ известны для каждой частоты несущей.

Номинал $R\delta (R_{ДГК})$ на питающем конце определяем

$$R_{ДГК} = 400 - R \cdot L_{GK}, \quad (7)$$

где L_{GK} – длина КЛ от поста ЭЦ до точки подключения путевого генератора.

$$L_{GK} = 1,03 \cdot (l_2 + 0,006) \text{ км}, \quad (8)$$

где l_2 – ордината точки подключения путевого генератора в км.

Для определения коэффициентов 4-х полюсников КЛ используем данные согласно [8, 9]: тип кабеля с парной скруткой СБПу или СБПАШп, диаметр жил кабеля 0,9 мм, активное сопротивление кабеля $R = 59$ Ом/км, емкость кабеля $C = 50$ нФ/км. Схему замещения КЛ представляем подобной рис. 4 в соответствии с которой участок кабельной линии dx характеризуется первичными параметрами: активным сопротивлением R в Ом/км, индуктивностью L в Гн/км, емкостью C в Ф/км, проводимостью изоляции G в См/км. В виду малого значения индуктивности и проводимости ними пренебрегаем.

Для КЛ от поста ЭЦ до точки подключения ПП находим по формулам:

$$Ak1 = Dk1 = ch\gamma_{PK} \cdot L_{PK} \\ Bk1 = Z_{BPK} sh\gamma_{PK} \cdot L_{PK}, \quad (9)$$

$$Ck1 = (Z_{BPK})^{-1} \cdot sh\gamma_{PK} \cdot L_{PK}$$

где $Ak1$ и $Dk1$ – коэффициенты передачи по напряжению и по току, $Ck1$ – проводимость изоляции в См/км, $Bk1$ – сопротивление в Ом/км, Z_{BPK} и γ_{PK} – волновое сопротивление и коэффициент распространения волны.

Определим волновое сопротивление и коэффициент распространения волны для кабеля релейного конца по формулам:

$$\gamma_{PK} = \sqrt{\frac{R}{X_C}}; \quad (10)$$

$$Z_{BPK} = \sqrt{R \cdot X_C}, \quad (11)$$

где $X_C = (2\pi \cdot f_H \cdot C)^{-1}$ – емкостное сопротивление кабеля в Ом.

Находим коэффициенты для КЛ от поста ЭЦ до точки подключения путевого генератора:

$$A1 = D1 = ch\gamma_{GK} \cdot L_{GK} \\ B1 = Z_{BGK} sh\gamma_{GK} \cdot L_{GK}, \quad (12)$$

$$C1 = (Z_{BGK})^{-1} sh\gamma_{GK} \cdot L_{GK}$$

где $A1$ и $D1$ – коэффициенты передачи по напряжению и по току, $C1$ – проводи-

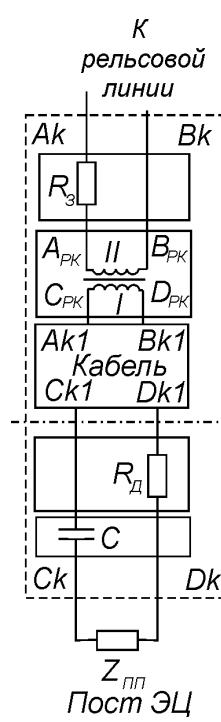


Рис. 2. Схема замещения релейного конца ТРЦ в виде четырехполюсников.

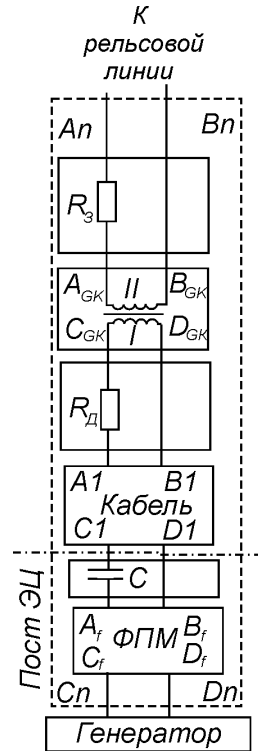


Рис. 3. Схема замещения питающего конца ТРЦ в виде четырехполюсников.

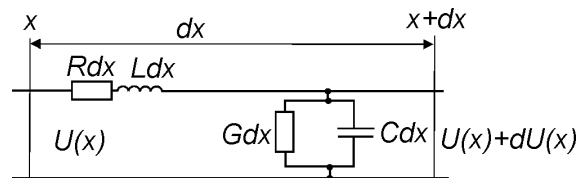


Рис. 4. Схема замещения участка dx РЛ, как цепи с распределенными параметрами.

мость изоляции в См/км, $B1$ – сопротивление в Ом/км, Z_{BGK} и γ_{GK} – волновое сопротивление и коэффициент распространения волны.

Определим коэффициент распространения и волновое сопротивление для кабеля питающего конца:

$$\gamma_{GK} = \sqrt{\frac{R}{X_C}}; \quad (13)$$

$$Z_{BGK} = \sqrt{R \cdot X_C}, \quad (14)$$

Коэффициенты 4-х полюсника питающего конца находим путем перемножения соответствующих коэффициентов 4-х полюсников

матриц $[A]$, входящих в питающий конец (см. рис. 1):

$$\begin{vmatrix} An & Bn \\ Cn & Dn \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} Af & Bf \\ Cf & Df \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ (-j \cdot \omega \cdot 4 \cdot 10^{-6})^{-1} & 1 \end{vmatrix} \times \\ \times \begin{vmatrix} 1 & R_{\text{ДГК}} \\ 0 & 1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} A1 & B1 \\ C1 & D1 \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} A_{PK} & B_{PK} \\ C_{PK} & D_{PK} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} 1 & 0,3 \\ 0 & 1 \end{vmatrix}, \quad (15)$$

Для достижения поставленной задачи исследований в нормальном режиме работы ТРЦ находим прямое входное сопротивление Z_{bx} и обратное входное сопротивление рельсовой цепи Z'_{bx} :

$$Z_{bx} = \frac{AZ_{bxc} + B}{CZ_{bxc} + D} \text{ Ом}; \quad (16)$$

$$Z'_{bx} = \frac{D \cdot Z'_{bxc} + B}{C \cdot Z'_{bxc} + A} \text{ Ом}, \quad (17)$$

где Z_{bxc} – сопротивление релейного конца, $Z'_{bxc} = Bn/An$ – обратное входное сопротивление 4-х полюсника питающего конца, Z_{nn} – сопротивление путевого приемника, принимается в расчетах 140 Ом [9, 10].

Сопротивление релейного конца определяем по формуле:

$$Z_{bxc} = \frac{Ak \cdot Z_{nn} + Bk}{Ck \cdot Z_{nn} + Dk} \text{ Ом}, \quad (18)$$

Для удобства рассуждений о характере поведения сопротивлений Z'_{bx} и Z_{bx} относительно любой точки рельсовой линии контролируемого участка (РЛКУ) представим, что они соединены параллельно. Таким образом, находим общее сопротивление РЛ

$$Z_o = \frac{Z'_{bx} \cdot Z_{bx}}{Z'_{bx} + Z_{bx}}. \quad (19)$$

В нормальном режиме работы ТРЦ с помощью методов математического программирования исследовалось влияние на общее сопротивление РЛ частот несущей 420, 480, 580, 720 и 780 Гц при СИБ 1, 0,75, 0,5, 0,25 Ом·км. Длина рассматриваемой ТРЦ (участок 7П на рис. 1) принималась равной 480 м, длина КЛ до генераторного конца – 4 км, до релейного следующей (участок 9П на рис. 1) – 4,5 км, до релейного рассматриваемой – 3,5 км. В точках подключения рельсовой нити (РН) релейного и питающего концов рассматриваемой ТРЦ параллельно подключались сопротивления

равные половине волнового сопротивления. Параллельное подключение сопротивлений в математической модели объясняется необходимостью учесть влияние на рассматриваемую ТРЦ предыдущей (участок 5П на рис. 1) и следующей тональной рельсовой цепи.

При исследовании поведения модуля общего сопротивления РЛ от ординаты РЛКУ было установлено, что для всех частот несущей максимум его величины с учётом влияния соседних рельсовых линий и их аппаратуры наблюдался на 0,01 – 0,02 км ранее (далее) ординаты 0,24 км. Однако значения модуля общего сопротивления РЛ и различались на тысячные от его значения на ординате 0,24 км. Поэтому для удобства дальнейшего анализа была выбрана ордината 0,24 км соответствующая середине РЛКУ ввиду практически максимального значения модуля общего сопротивления РЛ.

Результаты математического моделирования модуля Z_o для ординаты 0,24 км приведены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что модуль Z_o с увеличением частоты несущей линейно уменьшается, а с уменьшением величины СИБ линейно увеличивается. Для составления зависимостей модуля Z_o от частоты несущей используем уравнения прямой, проходящей через две заданные точки [10]:

$$\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}, \quad (20)$$

где x_1 и y_1 – частота несущей и искомая величина первой точки (допустим 420 Гц и $|Z_o|=1,01$ Ом, при $R_{\text{ПЗ}} = 1$ Ом·км), а x_2 и y_2 – частота несущей и искомая величина второй точки (допустим 780 Гц и $|Z_o|=0,732$ Ом, при $R_{\text{ПЗ}} = 1$ Ом·км).

Для оценки расхождений между значениями модуля Z_o в табл. 1 и 2 был выбран пятипроцентный коридор отношения разницы значений модуля к максимальному его значению в обеих таблицах при одинаковых частотах несущей и величине СИБ.

Как видно из таблиц наибольшее расхождение наблюдается на частоте несущей 580 Гц для всех значений СИБ и не превы-

шает 2,7 %, что удовлетворяет принятому коридору изменений величин.

Таблица 1

f_H , Гц	$R_{из} =$ 1 Ом·км	$R_{из} =$ 0,75 Ом·км	$R_{из} =$ 0,5 Ом·км	$R_{из} =$ 0,25 Ом·км
	$ Z_0 $, Ом	$ Z_0 $, Ом	$ Z_0 $, Ом	$ Z_0 $, Ом
420	1,01	1,088	1,247	1,724
480	0,957	1,032	1,187	1,653
580	0,862	0,937	1,092	1,549
720	0,772	0,848	0,996	1,433
780	0,732	0,803	0,953	1,378

Зависимость $|Z_0|$ от частоты несущей и СИБ

Таблица 2

Значения модуля Z_0 , рассчитанных по линейным зависимостям от f_H

f_H , Гц	$R_{из} =$ 1 Ом·км	$R_{из} =$ 0,75 Ом·км	$R_{из} =$ 0,5 Ом·км	$R_{из} =$ 0,25 Ом·км
	$ Z_0 $, Ом	$ Z_0 $, Ом	$ Z_0 $, Ом	$ Z_0 $, Ом
420	1,01	1,088	1,247	1,724
480	0,964	1,041	1,198	1,666
580	0,886	0,961	1,092	1,57
720	0,778	0,851	0,996	1,436
780	0,732	0,803	0,953	1,378

Моделирование работы тональных рельсовых цепей в шунтовом режиме

Особенностью работы ТРЦ в шунтовом режиме является её шунтирование ранее физического занятия контролируемого участка поездом (зона дополнительного шунтирования). С учётом этого находим коэффициенты 4-х полюсников РЛ в шунтовом режиме [6]:

а) шунтирование с релейного конца

$$\begin{aligned}
 A_{shp} &= ch(\gamma 50 \cdot l) + \frac{sh(\gamma 50 \cdot l)}{th(\gamma 50 \cdot y)} \\
 D_{shp} &= ch(\gamma 50 \cdot l) + \frac{sh(\gamma 50 \cdot l)}{th(\gamma 50 \cdot x)} \\
 B_{shp} &= Z_B 50 \cdot sh(\gamma 50 \cdot lsv) \\
 C_{shp} &= (Z_B 50)^{-1} \left(\frac{ch(\gamma 50 \cdot l)}{th(\gamma 50 \cdot x)} + \frac{ch(\gamma 50 \cdot l)}{th(\gamma 50 \cdot y)} \right) + \\
 &+ (Z_B 50)^{-1} sh(\gamma 50 \cdot l) \times \\
 &\times \left[1 + (th(\gamma 50 \cdot y) \cdot th(\gamma 50 \cdot x))^{-1} \right]
 \end{aligned} \quad (21)$$

б) шунтирование с питающего конца

$$A_{shn} = D_{shp}; \quad D_{shn} = A_{shp};$$

$$B_{shn} = Z_B 50 \cdot sh(\gamma 50 \cdot l); \quad C_{shn} = C_{shp}, \quad (22)$$

где в случае движения шунта с релейного конца $lsv = l + ldz + y$ – длина рельсовой линии в шунтовом режиме, ldz – длина зоны дополнительного шунтирования (120 м) [8, 9], $y = ldz - lshp$ – расстояние от точки подключения реле до поездного шунта, $lshp$ – расстояние пройденное поездом (шунтом) от начала зоны дополнительного шунтирования, $x = l + lshp$ – расстояние от точки подключения генератора до поездного шунта; в случае движения с питающего конца $y = l + ldz + lsh$ – расстояние от точки подключения реле до поездного шунта, lsh – расстояние пройденное поездом (шунтом) от начала зоны дополнительного шунтирования, $x = lshg$ – расстояние от точки подключения генератора до поездного шунта; $Z_B 50$ и $\gamma 50$ – волновое сопротивление и коэффициент распространения РЛ, при сопротивлении изоляции балласта $R_{измакс} 50$ Ом·км.

Находим волновое сопротивление и коэффициент распространения РЛ

$$Z_B 50 = \sqrt{R_{измакс} \cdot Z_p}, \quad \text{Ом}; \quad (23)$$

$$\gamma 50 = \sqrt{\frac{Z_p}{R_{измакс}}}, \quad 1/\text{км}, \quad (24)$$

где $R_{измакс}$ – максимальное СИБ принимаем равным 50 Ом·км.

В шунтовом режиме работы ТРЦ с помощью математической модели исследовалось на каком расстоянии от питающего конца рассматриваемой ТРЦ произойдёт шунтирование для участка 9П на рис. 1.

Для шунтового режима в ТРЦ, которые не ограничены изолирующими стыками, рассматриваем случай шунтирования с обеих сторон (питающего и релейного). Так как физическая граница отсутствует, то длина рельсовой линии $L_{рл}$ увеличивается из-за явления зоны дополнительного шунтирования. Увеличение длины рельсовой линии $L_{рл}$, определяемой между точками подключения путевого приёмника и генератора, происходит на величины L_x и $L_{доп}$ (рис. 5, а). Расстояние L_x определяем от точки подключения генератора до расстояния, на котором произойдёт обес-

точивание путевого приёмника. Расстояние $L_{доп}$ определяем от точки подключения путевого приёмника до расстояния, на котором произойдёт срабатывание путевого приёмника. Очевидно, что необходимо вводить величины характеризующие приближение (удаление) шунта от генератора и путевого приёмника и приближение к генератору и путевому приёмнику. Для упрощения определения длин L_x и $L_{доп}$ руководствуемся следующими положениями, при движении поездного шунта к генератору (рис. 5, а):

1) длина зоны дополнительного шунтирования со стороны питающего и релейного концов не может превышать 120 м [9];

2) ординату шунтирования L_x находим постепенно приближая шунт к точке подключения генератора и соответствует длине РЛ, которую остаётся поехать поезду для фактического вступления на контролируемый участок;

3) так как шунтовая чувствительность относительно питающего конца ТРЦ хуже, чем относительно релейного конца, то принимаем $L_{доп}$ равной 120 м. На расстоянии $L_{доп}$ считаем, что ПП гарантировано сработает.

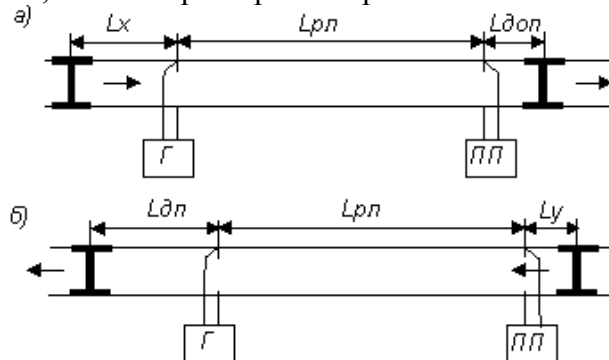


Рис. 5. Упрощенная схема образования в шунтовом режиме зон дополнительного шунтирования, при движении поезда: а) от генератора Г к путевому приёмнику ПП, б) от путевого приёмника ПП к генератору Г

В случае движения поездного шунта к ПП нет таких жёстких ограничений по длине зоны дополнительного шунтирования (рис. 5, б). Расстояние L_y определяем от точки подключения путевого приёмника ТРЦ до расстояния, на котором произойдёт обесточивание ПП. Расстояние $L_{дп}$ определяем от точки подключения генератора до расстояния, на котором произойдёт срабатывание путевого приёмника ТРЦ.

Как видно из рис. 5 в шунтовом режиме нет необходимости учитывать влияние соседних с рассматриваемой ТРЦ.

При математическом моделировании ТРЦ в шунтовом режиме в качестве критериев его выполнения используем коэффициенты шунтовой чувствительности относительно питающего ($K_{шп}$) и релейного ($K_{шр}$) концов ТРЦ, которые определяем по известным из [6] формулам. Для выполнения шунтового режима оба коэффициента должны быть больше 1 с учётом для путевого приёмника ТРЦ с коэффициентом запаса на срабатывание 1,15 и приведённого коэффициента возврата 0,58 согласно [9].

Так как обычно светофор устанавливают на расстоянии 40 м от точки подключения генератора согласно [8], то в соответствии с положением 2) убеждаемся в том, что шунтирование происходит на расстоянии до точки подключения генератора меньшем 40 м.

Ввиду того, что длина контролируемой рельсовой линии влияет на ординату шунтирования, то длины контролируемого участка выбирались согласно [8] с учетом частот несущей. Длина РЛКУ для частот несущей 420 и 480 Гц была выбрана 1 км, для частот несущей 720 и 780 Гц — 0,35 км, для частоты несущей 580 Гц — 0,3 км. Для всех частот несущей длины РЛКУ были выбраны ввиду того, что они являются максимально допустимыми проектными длинами для каждой из них.

На рис. 6 представлены зависимости коэффициентов $K_{шп}$ (кривая 2) и $K_{шр}$ (кривая 1) от расстояния шунтирования для частоты несущей 780 Гц и расстояний до генераторного конца 4 км, до релейного — 4,3 км.

Как видно из рис. 6 коэффициент $K_{шп}$ практически не изменяется при изменении ординаты шунта (его приближении к питающему концу) в то же время коэффициент $K_{шр}$ изменяется существенно. Поэтому была выдвинута гипотеза определения расстояния шунтирования по наименьшему значению коэффициента шунтовой чувствительности относительно релейного конца. Согласно с принятой гипотезой для рис. 6 получаем расстояние шунтирования 90 м,

которое соответствует пройденному поездом. Тогда ординату шунтирования определяем разницей длины зоны дополнительного шунтирования равной 120 м и расстояния шунтирования l_{sh} . Таким образом, ординату шунтирования получим равной 30 м - менее 40 м, что удовлетворяет [8]. Аналогичным образом получаем ординаты шунтирования для остальных частот несущей

26 м - для 720 и 780 Гц, 30 м - для 580 Гц, 50 м - для 420 и 480 Гц. Полученные результаты математического моделирования в шунтовом режиме ТРЦ соответствуют проектным решениям в [8], и значит определение расстояния шунтирования по минимальному значению коэффициента шунтовой чувствительности относительно релейного конца является обоснованным.

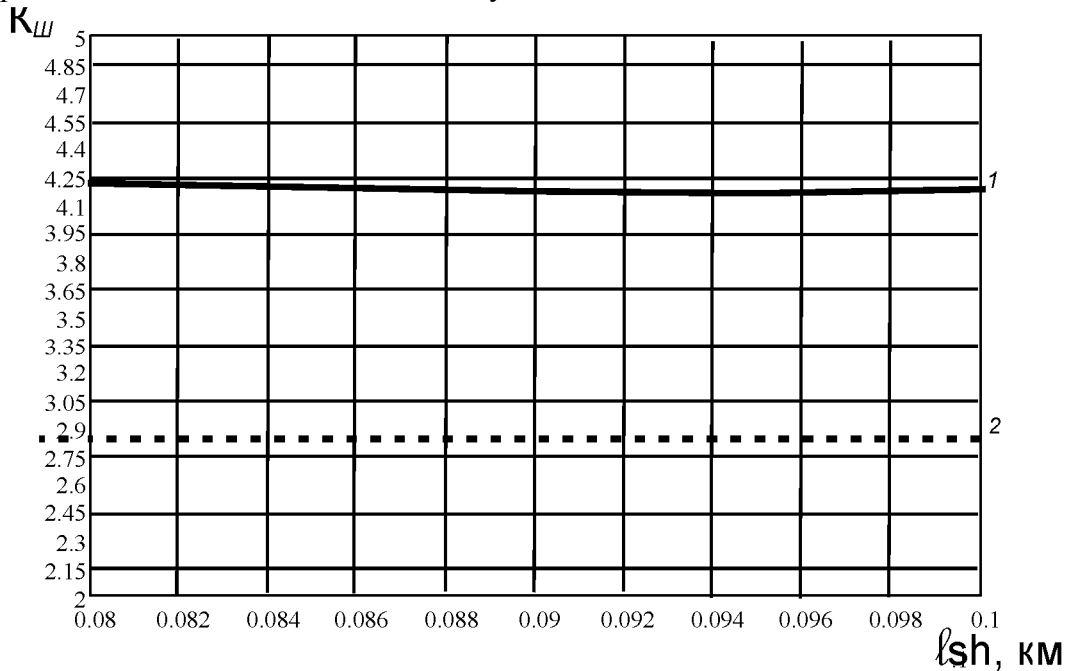


Рис. 6. Зависимости коэффициентов шунтовой чувствительности относительно питающего (кривая 2) и релейного (кривая 1) концов ТРЦ от расстояния шунтирования

Выводы

По результатам исследований в нормальном режиме работы ТРЦ получены зависимости модуля общего сопротивления РЛ от частоты несущей, которые могут быть использованы при обслуживании ТРЦ.

В шунтовом режиме работы ТРЦ при исследованиях предложено определять расстояние шунтирования по наименьшему значению коэффициента шунтовой чувствительности относительно релейного конца.

Математическая модель работы ТРЦ не полностью описывает работу объекта исследования, так как не учитывает контрольный режим и режим автоматической локомотивной сигнализации. Поэтому представленная в статье математическая модель будет дополнена, а результаты исследований математи-

ческой модели ТРЦ, учитывающей все режимы работы данных рельсовых цепей опубликованы в следующей статье автора.

Библиографический список

1. Брылеев, А. М. Устройство и работа рельсовых цепей [Текст] / А. М. Брылеев, Ю. А. Кравцов, А. В. Шишляков. – М.: Транспорт, 1966. – 264 с.
2. Брылеев, А. М., Электрические рельсовые цепи [Текст] / А. М. Брылеев, Н. Ф. Котляренко. Изд. 2-е. – М.: Транспорт, 1970. – 256 с.
3. Брылеев, А. М. Элементы теории рельсовых цепей [Текст] / А. М. Брылеев, Ю. А. Кравцов, Б. М. Степенский, Ю. В. Карасев, М. С. Резников, А. Г. Кириленко, А. А. Акопов. // Тр. МИИТа. Вопросы интервального регулирования движения

поездов на железнодорожном транспорте / под ред. А. М. Брылеева. – Вып. 431. – 1973. – 264 с.

4. Брылеев, А. М. Методика расчета шунтового режима неограниченных рельсовых цепей по локомотивному приемнику [Текст] / А. М. Брылеев, Ю. И. Полевой // Тр. МИИТа. Вопросы автоматики на железнодорожном транспорте / под ред. А. М. Брылеева. – Вып. 584. – 1978. – 175 с.

5. Брылеев, А. М. Обобщенная методика расчета неограниченных рельсовых цепей [Текст] / А. М. Брылеев, Ю. И. Полевой // Тр. МИИТа. Вопросы автоматики на железнодорожном транспорте. / под ред. А. М. Брылеева. – Вып. 584. – 1978. – 175 с.

6. Брылеев, А. М. Теория, устройство и работа рельсовых цепей [Текст]: Изд. 2-е, перераб. и доп. / А. М. Брылеев, Ю. А. Кравцов, А. В. Шишляков. – М.: Транспорт, 1978. – 344 с.

7. Аркатов, В. С. Рельсовые цепи. Анализ работы и техническое обслуживание [Текст] / В. С. Аркатов, Ю. А. Кравцов, Б. М. Степенский. – М.: Транспорт, 1990. – 295 с.

8. Автоблокировка с тональными рельсовыми цепями с централизованным раз-

мещением оборудования для однопутных и двухпутных участков [Текст]. 410003 АБТЦ-2000 – СПб: ГТСС, 2000.

9. Кулик, П. Д. Тональные рельсовые цепи в системах ЖАТ [Текст] / П. Д. Кулик, Н. С. Иванкин, А. А. Удовиков. – К.: Изд. дом «Мануфактура», 2004. – 285 с.

10. Бронштейн, И. Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов [Текст]. / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев – 13-е изд., испр. – М.: Наука, 1986. – 544 с.

Ключові слова: рейкове коло, частота несучої, нормальний режим, ордината шунтування, відстань шунтування.

Ключевые слова: рельсовая цепь, частота несущей, нормальный режим, ордината шунтирования, расстояние шунтирования.

Key words: track circuit, the carrier frequency, normal, shuntirova-ordinate of the distance bypass surgery.

Поступила в печать 4.04.2011.

Принята к печати 6.04.2011.