

УДК 621.391:681.518

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.154.2015.65945>

**ВРЕМЕННЫЕ ЗАВИСИМОСТИ СИГНАЛЬНОГО ТОКА ЛОКОМОТИВНОГО ПРИЕМНИКА
ЧИСЛОВЫХ КОДОВ АЛСН**

Канд. техн. наук О.М. Ананьева, канд. техн. наук М.Г. Давиденко

**ЧАСОВІ ЗАЛЕЖНОСТІ СИГНАЛЬНОГО СТРУМУ ЛОКОМОТИВНОГО ПРИЙМАЧА
ЧИСЛОВИХ КОДІВ АЛСН**

Канд. техн. наук О.М. Ананьєва, канд. техн. наук М.Г. Давиденко

**TEMPORARY DEPENDENCES OF SIGNAL CURRENT OF TRAIN ELEMENT OF THE ALSN
NUMERICAL CODES**

Cand. of tehn. sciences O.M. Anan'yeva, cand. of tehn. sciences M.G. Davidenko

У даній статті представлені результати досліджень часових залежностей сигнального струму локомотивного приймача числових кодів АЛСН при проходженні локомотивом предстрілочного й стрілочного ділянок залізниці. Отримане математичне вираження для часової залежності струму шунта при русі локомотива на підділянці прямого шляху з обліком його

електромагнітного зв'язку з підділянкою відгалуження. Визначена комплексна передатна функція по струму контрольованого ділянки з урахуванням частотної залежності опорів і діючого значення розглянутої гармоніки електрорушійної сили генератора, а також запропонована його схема заміщення. Показано, що для визначення миттєвого значення струму шунта доцільно застосувати комп'ютерне моделювання з виставою сигналу в частотній області. У результаті моделювання встановлено, що між рейковими лініями прямого шляху й відгалуження гальванічний зв'язок через баласт і ґрунт не може служити причиною викривлення вхідних сигналів локомотивного приймача системи АЛСН.

Ключові слова: сигнальний струм, локомотивний приймач, стрілочна ділянка, шунт, схема заміщення.

В данной статье представлены результаты исследований временных зависимостей сигнального тока локомотивного приемника числовых кодов АЛСН при прохождении локомотивом предстрелочного и стрелочного участков железной дороги. Получено математическое выражение для временной зависимости тока шунта при движении локомотива на подучастке прямого пути с учетом его электромагнитной связи с подучастком ответвления. Определена комплексная передаточная функция по току контролируемого участка с учетом частотной зависимости сопротивлений и действующего значения рассматриваемой гармоника электродвижущей силы генератора, а также предложена его схема замещения. Показано, что для определения мгновенного значения тока шунта целесообразно применить компьютерное моделирование с представлением сигнала в частотной области. В результате моделирования установлено, что между рельсовыми линиями прямого пути и ответвления гальваническая связь через балласт и грунт не может служить причиной искажения входных сигналов локомотивного приемника системы АЛСН.

Ключевые слова: сигнальный ток, локомотивный приемник, стрелочный участок, шунт, схема замещения.

In this article results of researches of temporary dependences of signal current of train element of the ALSN numerical codes when passing by the engine of prepointer and pointer divisions are provided. Mathematical expression for temporary dependence of current of the shunt at the movement of the locomotive on subsection of straight track taking into account its electromagnetic communication with branch subsection is received. Complex transfer function is determined by current of controlled site taking into account frequency dependence of resistance and the operating value of the considered harmonica of the electromotive force of the generator, and also its equivalent circuit is offered. It is shown that it is reasonable to apply computer modeling with representation of signal in frequency area to determination of instant value of current of the shunt. As a result of modeling it is established that between rail lines of straight track and branch galvanic communication through ballast and soil cannot serve as the reason of distortion of arrival signals of train element of system of ALSN.

Keywords: signal current, train element, switch section, shunt, equivalent circuit.

Введение. Одним из основных требований, предъявляемых к системам автоматической локомотивной сигнализации (АЛСН), является обеспечение безопасности движения поездов. При увеличении скорости движения из-за влияния электромагнитных помех в работе индуктивного канала связи системы АЛСН возникают сбои, которые приводят к искажению принятой локомотивным приемником информации. Поэтому возникает необходимость решения задачи совершенствования существующих систем АЛСН.

Постановка задачи. Целью настоящей работы является исследование временных зависимостей сигнального тока локомотивного приемника числовых кодов АЛСН при прохождении локомотивом предстрелочного и стрелочного участков железной дороги.

Анализ исследований. В работах [1, 2] была разработана и обоснована схема замещения стрелочного участка рельсовой линии с учетом электромагнитных процессов, протекающих в нем, и получены временные зависимости тока шунта при прохождении последним предстрелочного подучастка АВ и

стрелочного участка BF . Настоящий подраздел посвящен выводу выражения для временной зависимости тока шунта на подучастке FC прямого пути с учетом его

электромагнитной связи с подучастком $F_{OT}C_{OT}$ ответвления (рис. 1).

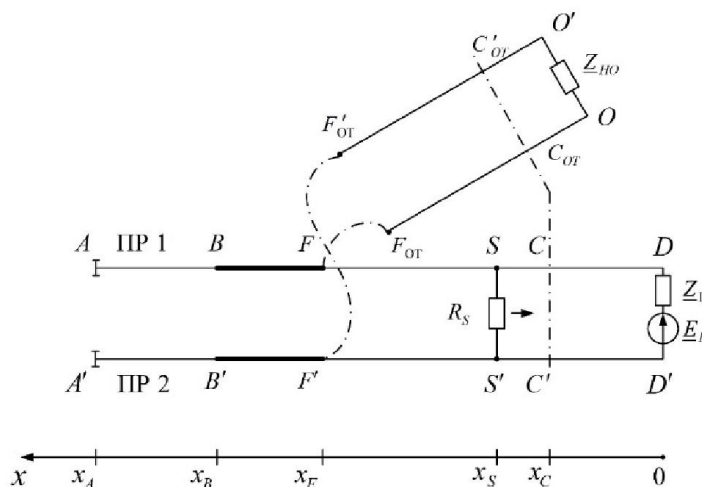


Рис. 1. Схема замещения участка цепи

Основной материал. Уточним характер указанной связи. Справа от сечения $F - F'$, в котором заканчивается непосредственная гальваническая связь рельсовых нитей, протекание тока от прямого пути в ответвление возможно, в принципе, за счет действия трех механизмов:

- 1) через емкостные связи между рельсовыми нитями;
- 2) через индуктивные связи между рельсовыми нитями;
- 3) через балласт, проводимость которого чисто активна.

Емкостные связи между рельсовыми нитями, как указано в работе [3], пренебрежимо мала. Относительно второго механизма заметим, что структура межрельсовых индуктивных связей является весьма разветвленной: помимо индуктивной связи каждого рельса со всеми остальными имеют место взаимные индуктивности рельсовых нитей и земли (балласта) [4]. Учитывая, что ферромагнитная масса рельса $OT1$ оказывает сильное экранирующее действие на магнитный поток между рельсом $PP1$ и рельсом $OT2$, и что ферромагнитные массы рельсов $PP1$ и $OT1$ оказывают еще более сильное экранирующее воздействие на магнитный поток между рельсами $PP2$ и $OT2$, имеем

основание принять к рассмотрению лишь индуктивную связь между рельсами $PP1$ и $OT1$. Даже в относительно благоприятных условиях связи с приемной локомотивной катушкой взаимная индуктивность последней и рельса составляет величину порядка 10^{-5} Гн; в условиях использования измерительного стенда при проверке катушки КПУ-2 имеем $25 \cdot 10^{-5}$ Гн на частоте 50 Гц [5]. С удалением рельсов друг от друга при проезде шунтом крестовины эта величина быстро уменьшается, так что, если пренебречь коротким (десятые доли метра) отрезком рельсовой линии в районе крестовины, взаимной индуктивностью $PP1$ и $OT1$ можно пренебречь в целом. Рассматривая третий механизм связи заметим, что рельс $OT1$ образует путь наименьшего сопротивления для тока, протекающего через грунт от рельсов $PP1$ и $PP2$ в сторону рельса $OT2$, вследствие чего имеет смысл учитывать только проводимость между рельсами $PP1$ и $OT1$. Таким образом, в рамках рассмотрения остается только связь через активную проводимость грунта между этими двумя рельсами. Используя для микроучастков FS и DS рельсовой линии, а также для ответвления Т-образную схему замещения [3], получим схему замещения участка FD , изображенную на рис. 2.

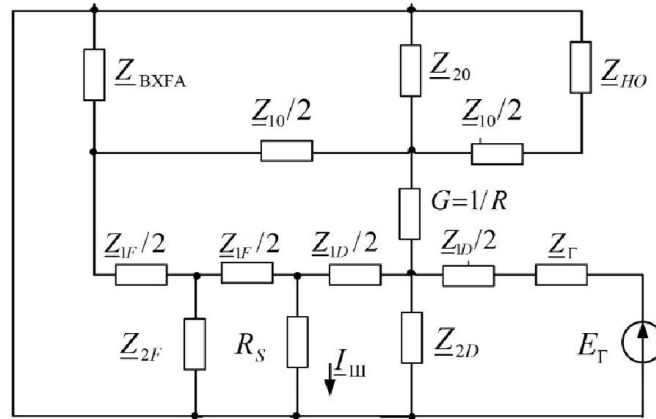


Рис. 2. Схема замещения участка FD

На ней элементы схем замещения обозначены индексом O для ответвления, индексом F для микроучастка FS и индексом D – для микроучастка DS . Величина Z_{BXFA} представляет собою входное сопротивление подучастка FA . Согласно теории четырехполюсников [6], оно может быть вычислено как

$$Z_{BXFA} = \frac{A_{FA} \cdot Z_{HA} + B_{FA}}{C_{FA} \cdot Z_{HA} + D_{FA}}$$

где Z_{HA} – сопротивление нагрузки в сечении $A - A'$. Так как там находятся изолирующий стык с отключенным кодирующим устройством (напомним, что локомотив движется слева

направо по прямому пути), то Z_{HA} весьма велико, и можно приближенно считать, что

$$Z_{HA} = A_{FA} / C_{FA}. \quad (1)$$

Коэффициенты A_{FA} и C_{FA} являются элементами матрицы A -параметров подучастка FA , образованного каскадным включением подучастков FB и BA . Ввиду симметрии рельсовой линии подучастки FB и BA являются симметричными четырехполюсниками, т. е. матрицы их A -параметров равны матрицам A -параметров подучастков BF и AB , величины элементов которых определены в работе [2]. С учетом этого имеем

$$\begin{aligned} [A]_{FA} &= [A]_{FB} \cdot [A]_{BA} = [A]_{BF} \cdot [A]_{AB} = \\ &= \begin{bmatrix} 1 & Z_{OFB}(x_B - x_F) \\ G_{OFB}(x_B - x_F) & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & Z_{OAB}(x_A - x_B) \\ G_{OAB}(x_A - x_B) & 1 \end{bmatrix} = \\ &= \begin{bmatrix} 1 + Z_{OFB}G_{OAB}(x_B - x_F)(x_A - x_B) & Z_{OAB}(x_A - x_B) + Z_{OFB}(x_B - x_F) \\ G_{OFB}(x_B - x_F) + G_{OAB}(x_A - x_B) & Z_{OAB}G_{OFB}(x_B - x_F)(x_A - x_B) + 1 \end{bmatrix}. \end{aligned} \quad (2)$$

Полагая проводимость балласта G_0 на всех подучастках одинаковой и продольное

сопротивление Z_0 рельсов – тоже, приводим (2) к виду

$$\begin{aligned} [A]_{FA} &= \\ &= \begin{bmatrix} 1 + Z_0 G_0 (x_A - x_B)(x_B - x_F) & Z_0 (x_A - x_F) \\ G_0 (x_A - x_F) & 1 + Z_0 G_0 (x_A - x_B)(x_B - x_F) \end{bmatrix}. \end{aligned} \quad (3)$$

Подставляя элементы \underline{A}_{FA} и \underline{C}_{FA} этой матрицы в выражение (1) получаем, что

$$\underline{Z}_{BXFA} = \frac{1 + \underline{Z}_0 G_0 (x_A - x_B)(x_B - x_F)}{G_0 (x_A - x_F)}. \quad (4)$$

Сопротивления \underline{Z}_{10} , \underline{Z}_{20} , \underline{Z}_{1F} , \underline{Z}_{2F} , \underline{Z}_{1D} и \underline{Z}_{2D} схем замещения коротких подучастков в в соответствии с работой [3] поределены приближенными равенствами

$$\underline{Z}_1 \approx \underline{Z}_0 \cdot l \cdot \left(1 - \frac{\underline{Z}_0 G_0 l^2}{12}\right), \quad (5)$$

$$\underline{Z}_0 \approx \frac{1}{G_0 l \left(1 + \frac{\underline{Z}_0 G_0 l^2}{6}\right)}, \quad (6)$$

где l – длина соответствующего подучастка.

На частотах работы АЛСН имеем $\underline{Z}_0 \approx 1$ Ом/км, а величина G_0 в наиболее неблагоприятных естественных условиях не превышает 10 См/км; в то же время $l \lesssim 0,1$ км. Поэтому $\underline{Z}_0 G_0 l^2 / 6 \lesssim 0,016$ и можно считать, что

$$\underline{Z}_1 \approx \underline{Z}_0 \cdot l, \quad (7)$$

$$\underline{Z}_2 \approx \frac{1}{G_0 l}. \quad (8)$$

Для расчета межрельсовой проводимости G воспользуемся известной аналогией между проводимостью и емкостью C системы проводящих тел [7]

$$G = \frac{\sigma}{\varepsilon_0 \varepsilon} C, \quad (9)$$

где σ – удельная электрическая проводимость среды;

ε – относительная диэлектрическая проницаемость этой среды;

ε_0 – электрическая постоянная, $\varepsilon_0 \approx 8,86 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.

Такая аналогия дает возможность использовать для расчета величины G математический аппарат, разработанный для расчета емкости между проводниками и, в частности, соотношения для расчета величины C емкости между двумя скрещивающимися (без гальванического контакта) прямолинейными проводами конечной длины [8]. Введем следующие обозначения:

φ – угол крестовины, образованной рельсами $ПП1$ и $ОТ1$;

x_0 – расстояние от математического центра перевода до генератора;

y_1 – расстояние от математического центра перевода до начального участка рельса $ОТ1$, связанного с $ПП1$ через грунт;

y_2 – расстояние вдоль $ОТ1$ от математического центра перевода до точки, в которой величина связи через грунт становится намного меньше ее максимального значения;

x_2 – аналогичное y_2 по смыслу расстояние вдоль $ПП1$;

$x_1 = x_0 - x_s$ – величина, аналогичная y_1 по смыслу вдоль $ПП1$;

$l_a = x_2 - x_1 = x_2 - x_0 + x_s$ – длина гальванически связанного через грунт с ответвлением участка прямого пути;

$l_b = y_2 - y_1$ – аналогичная по смыслу величина для ответвления;

a – радиус проводника;

d – наикратчайшее расстояние между плоскостями расположения проводников.

В нашем случае можно положить $y_1 = 0$. Учтем также, что проводящая среда (балласт, грунт) занимает только нижнюю полуплоскость (над рельсам находится непроводящий воздух). Поэтому перед результирующей формулой для G , получаемой на основе работы [8] следует поставить множитель $1/2$. Имеем

$$G = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0 \varepsilon} \cdot \frac{\alpha_{11} + \alpha_{22} - 2\alpha_{12}}{\alpha_{11} \cdot \alpha_{22} - \alpha_{12}^2}, \quad (10)$$

где

$$\alpha_{11} = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon(x_2 - x_1)} \left\{ \ln \left[\frac{x_2 - x_1}{a} + \sqrt{1 + \left(\frac{x_2 - x_1}{a} \right)^2} \right] + \frac{a}{x_2 - x_1} - \sqrt{1 + \left(\frac{a}{x_2 - x_1} \right)^2} \right\}; \quad (11)$$

$$\alpha_{22} = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon(y_2 - y_1)} \left\{ \ln \left[\frac{y_2 - y_1}{a} + \sqrt{1 + \left(\frac{y_2 - y_1}{a} \right)^2} \right] + \frac{a}{y_2 - y_1} - \sqrt{1 + \left(\frac{a}{y_2 - y_1} \right)^2} \right\}; \quad (12)$$

$$\alpha_{12} = \frac{F_{11} + F_{22} + F_{12} - F_{21}}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon(x_2 - x_1)(y_2 - y_1)}, \quad (13)$$

$$F_{pq} = x_p \cdot \ln[y_q - x_p \cos\varphi + D_{pq}] + y_q \cdot \ln[x_p - y_q \cos\varphi + D_{pq}] + \frac{2d}{\sin\varphi} \cdot \arctg \left(\frac{x_p + y_q + D_{pq}}{d} \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} \right); \quad p, q = 1, 2; \quad (14)$$

$$D_{pq} = \sqrt{x_p^2 + y_q^2 - 2x_p y_q \cos\varphi + d^2}. \quad (15)$$

Все длины, входящие в формулы (11)-(15), выражены в метрах. Отметим также, что в

нашем случае $d = 0$ и поэтому формула (14) приобретает вид

$$F_{pq} = x_p \cdot \ln[y_q - x_p \cos\varphi + D_{pq}] + y_q \cdot \ln[x_p - y_q \cos\varphi + D_{pq}], \quad (16)$$

а формула (15) приобретает вид

$$D_{pq} = \sqrt{x_p^2 + y_q^2 + 2x_p y_q \cos\varphi}. \quad (17)$$

Для выполнения практических расчетов радиус a проводника, фигурирующий в (11) и (12), заменим на радиус окружности, длина которой равна периметру сечения рельса. В частности, для рельса Р65 имеем $a = 0,111$ м [4].

Величины y_1 и y_2 – фиксированные. Величина x_1 изменяется во времени как

$$x_1(t) = x_0 - x_s(t), \quad (18)$$

поэтому

$$l_a = l_a(t) = x_2 - x_0 + x_s(t). \quad (19)$$

Теперь можно перейти к выводу выражения для тока шунта I_{III} при гармонической ЭДС генератора E_{Γ} в

статическом случае, т. е. при фиксированном t .
Применив к схеме, изображенной на рис. 2, ряд преобразований треугольника в звезду и используя условные обозначения

$$\underline{Z}_{H1} = \frac{\underline{Z}_{20}(0,5\underline{Z}_{10} + \underline{Z}_{H0})}{\underline{Z}_{20} + 0,5\underline{Z}_{10} + \underline{Z}_{H0}},$$

$$\underline{Z}(t) = \left\{ \underline{Z}_{2D}^{-1}(t) + [0,5\underline{Z}_{1D}(t) + \underline{Z}_\Gamma]^{-1} \right\}^{-1}, \quad (20)$$

$$\underline{E} = \underline{E}_\Gamma \cdot \frac{\underline{Z}(t)}{0,5\underline{Z}_{1D}(t) + \underline{Z}_\Gamma}; \quad (21)$$

$$\underline{Z}_\Delta = 0,5\underline{Z}_{10} + \underline{Z}_{H1} + \underline{Z}_{BXFA};$$

$$\underline{Z}_A = \frac{0,5\underline{Z}_{10} \cdot \underline{Z}_{H1}}{\underline{Z}_\Delta}; \quad (22)$$

$$\underline{Z}_B = \underline{Z}_{BXFA} \cdot \frac{0,5\underline{Z}_{10}}{\underline{Z}_\Delta}; \quad (23)$$

$$\underline{Z}_C = \underline{Z}_{BXFA} \cdot \frac{0,5\underline{Z}_{H1}}{\underline{Z}_\Delta}; \quad (24)$$

$$\underline{Z}_{DD}(t) = \underline{Z}(t) \cdot 0,5\underline{Z}_{1D}(t);$$

$$\underline{Z}_{\Delta 2}(t) = \underline{Z}_{2F}(t) + \underline{Z}_B + 0,5\underline{Z}_{1F}(t);$$

$$\underline{Z}_X(t) = \frac{\underline{Z}_{2F}(t)[\underline{Z}_B + 0,5\underline{Z}_{1F}(t)]}{\underline{Z}_{\Delta 2}(t)}; \quad (25)$$

$$\underline{Z}_Y(t) = \frac{\underline{Z}_C[\underline{Z}_B + 0,5\underline{Z}_{1F}(t)]}{\underline{Z}_{\Delta 2}(t)}; \quad (26)$$

$$\underline{Z}_Z(t) = \frac{\underline{Z}_C \underline{Z}_{2F}(t)}{\underline{Z}_{\Delta 2}(t)}; \quad (27)$$

$$\underline{Z}_{YY}(t) = \underline{Z}_A + \underline{Z}_Y(t) + \frac{1}{G(t)}; \quad (28)$$

$$\underline{Z}_{XX}(t) = \underline{Z}_X(t) + 0,5\underline{Z}_{1F}(t); \quad (29)$$

$$\underline{Z}_{XYZ}(t) = \underline{Z}_Z(t) + \frac{\underline{Z}_{XX}(t) \cdot \underline{Z}_{YY}(t)}{\underline{Z}_{XX}(t) + \underline{Z}_{YY}(t)} \quad (30)$$

получаем, что действующее значение тока шунта зависит от времени как

$$\underline{I}_{\text{ш}}(t) = \underline{E}_\Gamma \cdot \frac{\underline{Z}(t)}{0,5\underline{Z}_{1D}(t) + \underline{Z}_\Gamma} \cdot \frac{\underline{Z}_{XYZ}(t)}{\underline{Z}_{DD}(t)[R_s + \underline{Z}_{XYZ}(t)] + R_s \underline{Z}_{XYZ}(t)}. \quad (31)$$

Отсюда комплексная передаточная функция по току подучастка OS с учетом частотной зависимости сопротивлений и

действующего значения рассматриваемой гармоник ЭДС генератора есть (в соответствии с [2])

$$\underline{K}_\Gamma(\omega, t) = \frac{\underline{Z}(t) \cdot \underline{Z}_{XYZ}(t)}{[\underline{Z}_\Gamma + 0,5\underline{Z}_{1D}(t)] \cdot [\underline{Z}_{DD}(t) \cdot R_s + \underline{Z}_{DD}(t) \cdot \underline{Z}_{XYZ}(t) + R_s \cdot \underline{Z}_{XYZ}(t)]}. \quad (32)$$

Последнее выражение открывает принципиальную возможность получения аналитического выражения для мгновенного значения $\underline{i}_{\text{ш}}(t)$ тока шунта по той же методике, которая использована в [1]. Однако сложные зависимости от времени сопротивлений, входящих в (32), препятствуют получению точной аналитической зависимости $\underline{i}_{\text{ш}}(t)$ ввиду невозможности в данном случае точного

аналитического интегрирования в ходе расчета обратного преобразования Фурье. Аппроксимации, обеспечивающие сведение подынтегрального выражения к аналитически интегрируемому, настолько грубы, что инженерная ценность получаемого результата весьма сомнительна. Наиболее плодотворным путем в данной ситуации видится компьютерное моделирование с представлением сигнала в частотной области. В качестве

модели входного сигнала рассматриваемой цепи выбираем типичный для АЛСН прямоугольный радиоимпульс с амплитудой

$E_{\Gamma m}$, центральной частотой f_0 , длительностью τ_H , повторяющейся с периодом T :

$$e_{\Gamma}(t) = \begin{cases} E_{\Gamma m} \cdot \sin 2\pi f_0(t), & t \in [0; \tau_H) \\ 0, & t \in [\tau_H; T). \end{cases} \quad (33)$$

Тригонометрический ряд Фурье для такого сигнала имеет общий вид [6]

$$e_{\Gamma}(t) = \sum_{k=0}^{\infty} E_{mk} \cdot \cos(k\Omega t + \beta_k), \quad (34)$$

где $\Omega = 2\pi/T$.

Выражение для комплексной амплитуды k -ой гармоники ЭДС генератора находим по формуле [6]

$$\underline{E}_{mk} = \frac{2}{T} \int_0^T e_{\Gamma}(t) \cdot e^{-jk\Omega t} dt. \quad (35)$$

Подставив (33) в (34) в конечном итоге получим, что

$$\begin{aligned} \underline{E}_{mk} = & \frac{2E_{\Gamma m} \cdot e^{j[(\omega_0 - k\Omega)\tau_H - \pi]/2}}{(\omega_0 - k\Omega)T} \cdot \sin \frac{(\omega_0 - k\Omega)\tau_H}{2} + \\ & + \frac{2E_{\Gamma m} \cdot e^{-j[(\omega_0 + k\Omega)\tau_H - \pi]/2}}{(\omega_0 + k\Omega)T} \cdot \sin \frac{(\omega_0 + k\Omega)\tau_H}{2}, \end{aligned} \quad (36)$$

где $\omega_0 = 2\pi f_0$.

В соответствии с (32) комплексной амплитудой k -ой гармоники тока шунта будет

$$\underline{I}_{\text{ш } mk}(t) = \underline{E}_{mk} \cdot \underline{K}_r(k\Omega, t), \quad (37)$$

а сам этот ток как функция времени определяется выражением

$$i_{\text{ш}}(t) = \sum_{k=0}^{\infty} |\underline{I}_{\text{ш } mk}(t)| \cdot \cos[k\Omega t + \psi_k(t)], \quad (38)$$

где

$$\psi_k(t) = \arg\{\underline{I}_{\text{ш } mk}(t)\}. \quad (39)$$

На базе полученных выражений было приведено компьютерное моделирование кривой $i_{\text{ш}}(t)$ (рис. 3) при следующих исходных данных:

- параметры импульса

$$E_{\Gamma m} = 10 \text{ В}, \quad f_0 = 25 \text{ Гц}, \quad \tau_H = 0,23 \text{ с}, \quad k = 0, \dots, 36;$$

- параметри цепи

\underline{Z}_0 – согласно табличным данным для рельса Р65 [4].

$\underline{Z}_T = 0,25e^{j20^\circ}$ Ом согласно [9];

$x_A = 0,2$ км, $x_B = 0,1$ км, $x_F = 0,09$ км,
 $R_s = 0,06$ Ом, $\sigma = 2 \cdot 10^{-2}$ См/м, $\varepsilon = 5$,
 $\varphi = 15^\circ$, $x_2 = 11$ м, $y_2 = 12$ м.

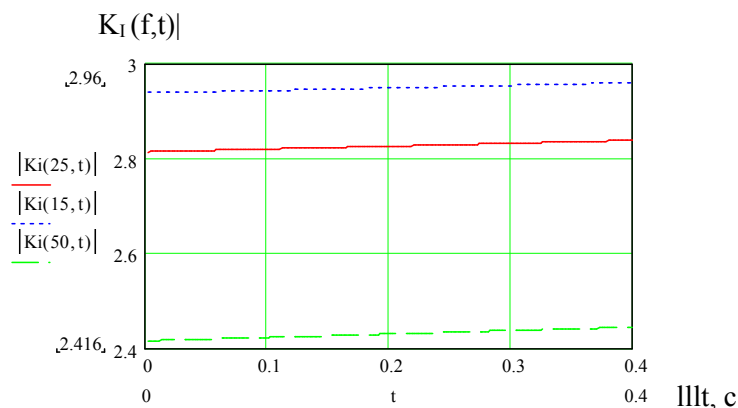


Рис. 3. Зависимость комплексной передаточной функции по току $\underline{K}_I(\omega, t)$

Результаты моделирования показали, что в широком диапазоне практически возможных значений \underline{Z}_{H0} , а также отклонений G_0 и σ от принятых за исходные значений зависимость $i_{ш}(t)$ визуально слабо отличается от синусоидального импульса, по форме близкого ко входному импульсу $e_T(t)$. Причиной видится слабая зависимость комплексной передаточной функции по току $\underline{K}_I(\omega, t)$ от обоих своих аргументов в рабочем диапазоне частот и на временном отрезке длительностью t_H .

[Вывод. ЭДС, развиваемая приемными локомотивными катушками на участке FC не претерпевает существенных искажений по сравнению с $e_T(t)$. Можно заключить, что среди прочих рассмотренных в начале этого подраздела механизмов связи между рельсовыми линиями прямого пути и ответвления гальваническая связь через балласт и грунт не может служить причиной искажения входных сигналов локомотивного приемника системы АЛСН.

Список использованных источников

1. Часові характеристики струму шунта та електрорушійні сили локомотивних котушок системи АЛСН [Текст] / О.М. Ананьєва, М.Г. Давиденко, В.О. Сотник, М.М. Бабаєв // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – Вип. 127. – С. 56-78.
2. Ананьєва, О.М. Математична модель вхідного сигнального струму локомотивного приймача числових кодів АЛСН [Текст] / О.М. Ананьєва, В.О. Сотник, Ю.В. Соболев // Зб. наук. праць. – Донецьк: ДонІЗТ, 2011. – Вип. 26. – С. 67-70.
3. Каллер, М.Я. Теория линейных электрических цепей железнодорожной автоматики, телемеханики и связи [Текст] / М.Я. Каллер, Ю.В. Соболев, А.Г. Богданов. – М.: Транспорт, 1987. – 335 с.
4. Кулик, П.Д. Тональные рельсовые цепи в системах ЖАТ: построение, регулировка, обслуживание, поиск и устранение неисправностей, повышение эксплуатационной надежности [Текст] / П.Д. Кулик, Н.С. Ивакин, А.А. Удовиков. – К.: Издательский дом «Мануфактура», 2004. – 288 с.
5. Сороко, В.И. Аппаратура железнодорожной автоматики и телемеханики: в 2 т. Т. 2 [Текст] / В.И. Сороко, Е.Н. Розенберг. – М.: НПФ «Планета», 2000. – 1008 с.

6. Електротехніка та електромеханіка систем залізничної автоматики [Текст] / М.М. Бабаєв, М.Г. Давиденко, Г.І. Загарій [та ін.]. – Харків: УкрДАЗТ, 2011. – 608 с.
7. Бессонов, Л.А. Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле [Текст] / Л.А. Бессонов. – М.: Высш. шк., 1978. – 231 с.
8. Иоссель, Ю.Я. Расчет электрической емкости [Текст] / Ю.Я. Иоссель, Э.С. Кочанов, М.Г. Струнский. – Л.: Энергоиздат, Ленингр. отд-ние, 1981. – 288 с.
9. Аркатов, В.С. Рельсовые цепи. Анализ работы и техническое обслуживание [Текст] / В.С. Аркатов, Ю.А. Кравцов, Б.М. Степенский. – М.: Транспорт, 1990. – 296 с.

Рецензент д-р техн. наук, профессор М.М. Бабаєв

Ананьєва Ольга Михайлівна, канд. техн. наук, доцент кафедри електротехніки та електричних машин, Український державний університет залізничного транспорту. Харків, Україна. Тел.: (057) 730-19-96.

Давиденко Михайло Георгійович, канд. техн. наук, доцент кафедри електротехніки та електричних машин, Український державний університет залізничного транспорту. Харків, Україна. Тел.: (057) 730-19-96.

Anan'yeva O.M., cand. of tehn. sciences of Engineering, professor department of electrical engineering and electrical machines Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. Тел.: (057) 730-19-96.

Davidenko M.G., Cand. of tehn. sciences of Engineering, professor department of electrical engineering and electrical machines Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. Тел.: (057) 730-19-96.

Наукова праця здана до друку 22.06.2015 року