

УДК 656.25

И. О. РОМАНЦЕВ – к. т. н., доцент, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, rio_mail@i.ua
В. И. ГАВРИЛЮК – д. физ. - мат. н., проф., Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, VL.Gavrilyuk@gmail.com

КОНТРОЛЬ СХОДА ИЗОЛИРУЮЩИХ СТЫКОВ В ТОНАЛЬНЫХ РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЯХ

Статью представил д. физ. - мат. н., проф. В. И. Гаврилюк

Введение

Существующие системы управления движением используют рельсовые цепи для контроля состояния участков пути. Тональные рельсовые цепи (ТРЦ) являются предпочтительными для оборудования и переоборудования систем железнодорожной автоматики на перегонах. При этом одним из условий работы является использование схемы контроля стыков для исключения подпитки приемников одинаковых частот в обход рельсовой линии [1].

Существующий контроль схода стыков в ТРЦ и его недостатки

В связи с использованием схем контроля схода стыков применяют уравнивающие трансформаторы типа УТЗ. Принцип контроля схода стыков состоит в том, чтобы подать сигнал в противофазе в рельсовые линии (РЛ) смежных ТРЦ при защите на питающем конце (рис.1). Для этого используется один генератор и разные фильтры для смежных ТРЦ. Подача обратных фаз реализована подключением питающих трансформаторов или дроссель-трансформаторов к различным рельсам (для автономной тяги и электротяги постоянного и переменного токов).

На рис. 1 показано: ФПМ – путевой фильтр; ГП – путевой генератор; ПЯ – путевой ящик; ПТ – путевой трансформатор; П и СП – смежные рельсовые линии; FV – предохранитель; Rк – кабельное сопротив-

ление; Салс – емкость автоматической локомотивной сигнализации (АЛС); 1П и 2П – жилы кабельной линии питающего конца.

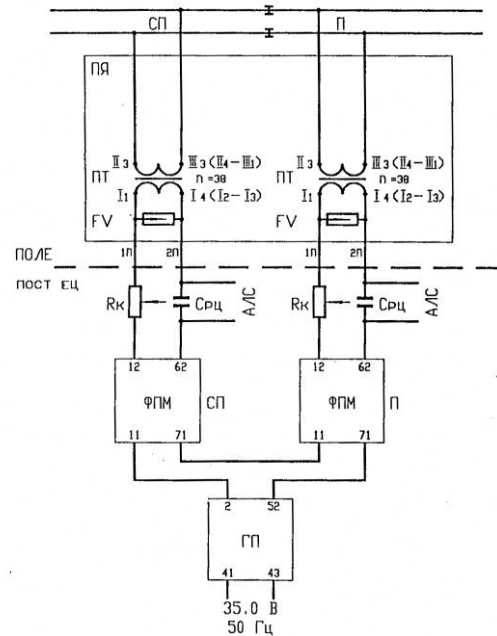


Рис. 1. Схема контроля схода стыков на питающем конце ТРЦ при автономной тяге

При сходе стыков в сигнал рельсовой линии будет взаимно вычитаться, что приведет к надежному обесточиванию путевых приемников. В случае контроля схода стыков на релейном конце ТРЦ (рис. 2) противофазный сигнал подается по аппаратуре смежной рельсовой цепи через УТЗ.

На рис. 2 показано: ПП – путевой приемник; СП – путевое реле; У – уравнивающий трансформатор; 1Р и 2Р – жилы релейного конца рельсовой цепи.

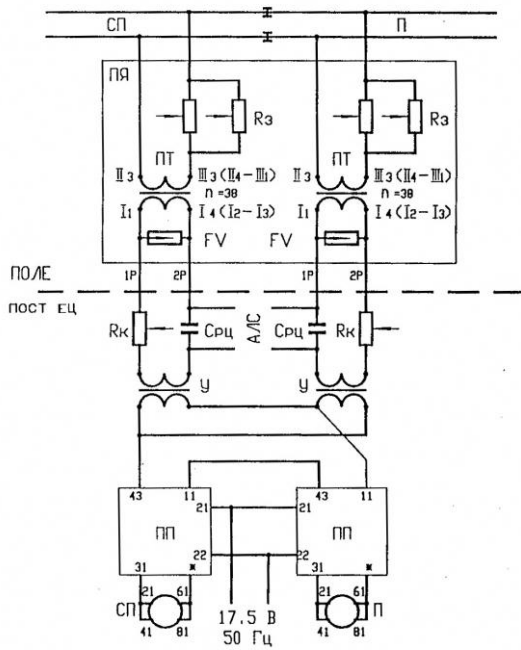


Рис. 2. Схема контроля схода стыков на релейном конце ТРЦ при автономной тяге.

В том случае, если короткое замыкание (КЗ) стыков не произошло, сигнальный ток ТРЦ протекает через два приемника. При этом приемник смежной рельсовой цепи не сработает за счет различных несущих и модулирующих частот [1].

Недостатком такого вида включения аппаратуры контроля является физическое соединение двух смежных рельсовых цепей, и, как следствие, увеличение числа путей протекания сигнального тока. Это может привести к ложной работе ТРЦ в целом [2]

Цель работы

Для упрощения схемы защиты, повышения ее эффективности работы и облегчения технологии обслуживания необходимо: проанализировать изменение схемы тональной рельсовой цепи (ТРЦ) при сходе изолирующего стыка, разработать схему защиты ТРЦ с минимальным увеличением количества ее элементов, произвести расчет защитных схем и определить ее влияние на работу рельсовой цепи при сходе изолирующих стыков.

Реструктуризация схемы рельсовой цепи при сходе стыков

Для анализа поведения рельсовой цепи при замыкании стыков необходимо рассмотреть изменения, которые вносятся в эквивалентную схему замещения РЦ при данной неисправности. Схема замещения рельсовой цепи для расчетов всех режимов работы приведена на рис. 3.

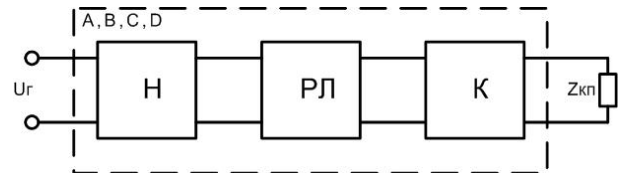


Рис 3. Схема замещения рельсовой цепи.

На рис. 3 показано: Н, РЛ и К – 4-полюсники аппаратуры начала, рельсовой линии и конца рельсовой цепи соответственно; U_g – напряжение генератора (источника питания); A, B, C, D – коэффициенты для расчета режимов РЦ; $Z_{кп}$ – сопротивление приемника сигналов РЦ.

В указанной схеме (см. рис.3) не учитывается сопротивление, эквивалентное включению изолирующих стыков, которое не должно быть ниже допустимого значения, что может привести к несрабатыванию путевого реле и появлению ложного сигнала. При сходе стыков на питающем либо релейном конце ТРЦ схема замещения указана на рис 4.

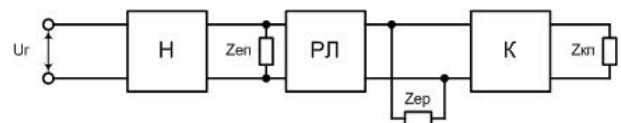


Рис. 4. Схема замещения ТРЦ при сходе изолирующих стыков

На рис 4 показаны: $Z_{еп}$ и $Z_{ер}$ – эквивалентные сопротивления, замещающие изолирующие стыки (ИС) при их сходе на питающем и релейном концах соответственно.

В расчетах принимают, что при сходе ИС сопротивление замыкания стыков отсутствует [3]. Таким образом, значения $Z_{еп}$ и $Z_{ер}$ определяются величинами сопротив-

лений смежной рельсовой линии и входных сопротивлений включенной аппаратуры ТРЦ за стыком (при ее наличии). Суть контроля схода стыков состоит в обесточивании приемника сигналов ТРЦ при их сходе. Аналогичной должна быть реакция при появлении шунта либо подвижной единицы, и целесообразно принудительно шунтировать ТРЦ при сходе стыка. Этого можно достичь за счет физического изменения схемы при включении сопротивлений Z_{ep} и Z_{ep} .

Использование шунтирующих схем при сходе стыков

Сопротивление Z_e (Z_{ep} либо Z_{ep}), которое включается после схода стыков можно реализовать в качестве шунтирующего для смежной рельсовой цепи в ТРЦ за счет различных несущих частот. В качестве шунтирующего рационально использование реактивного двухполюсника, настроенного в резонанс на несущую частоту смежной тональной рельсовой цепи. Схема контроля схода стыков при автономной тяге примет вид, указанный на рис. 5, где L_p и C_p – элементы резонансного контура, настроенные на частоту рельсовой цепи П, которые представляют параллельное звено полосового фильтра [4]. Характеристики данного контура необходимо подобрать таким образом, чтобы на резонансной частоте у фильтра было минимальное сопротивление, а частоты среза не выходили за границы сре-

за входного фильтра путевого приемника [5]. Сопротивление двухполюсника резонансного контура имеет вид, приведенный на рис. 6.

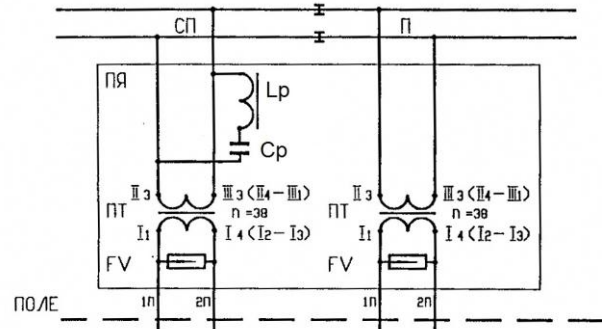


Рис. 5. Схема контроля схода стыков при автономной тяге

Исходя из того, что сопротивление резонансного контура на частотах тональных рельсовых цепей будет изменяться незначительно, необходимо исключить влияние защитных устройств в нормальной работе ТРЦ.

Расчет параметров резонансного контура

С учетом сказанного выше, для определения параметров контура необходимо предусмотреть следующее:

- соотношение L_p и C_p определяется исходя из известной резонансной частоты по формуле (1):

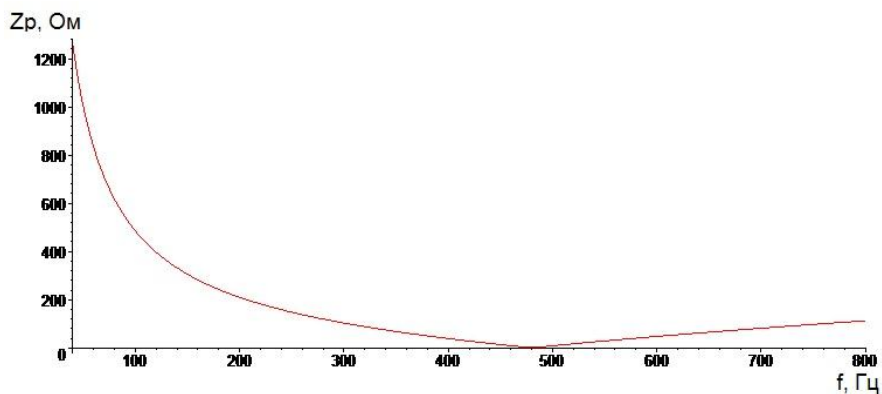


Рис. 6. Сопротивление двухполюсника резонансного контура

$$f_{рез} = f_1 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L_p \cdot C_p}} \quad (1)$$

где $f_{рез}$ – резонансная частота контура,

f_1 – несущая частота, которую необходимо зашунтировать при сходе изолирующих стыков, L_p, C_p – эквивалентные резонансные индуктивность и емкость;

– на частоте резонанса полное сопротивление резонансного контура включает в себя только активное сопротивление проводников и обмотки L_p , а реактивные сопротивления полностью взаимно исключаются;

– сопротивление резонансного контура на ближайшей частоте среза смежного канала несущей частоты не превышает величину сопротивления изолирующего стыка. Так, например, для контура, настроенного на частоту 480 Гц, ближайшей частотой является 432 Гц. Сопротивление контура будет определяться по формуле (2):

$$Z_{f_2} = \sqrt{R_a^2 + \left(2 \cdot \pi \cdot f_2 \cdot L_p - \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_2 \cdot C_p} \right)^2} = Z_{uc_{min}} \quad (2)$$

где Z_{f_2} – сопротивление резонансного контура на ближайшей частоте среза смежного канала несущей частоты,

R^2 – активное сопротивление обмотки и соединительных проводов резонансного контура,

$Z_{uc_{min}}$ – минимальное сопротивление изолирующего стыка [6],

– сопротивление контура на частоте резонанса не должно быть выше нормативного сопротивления шунта 0,06 Ом, которое вносится активным сопротивлением обмотки, как показано на принципиальной электрической схеме замещения резонансного контура (рис. 7),

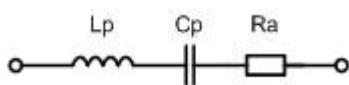


Рис. 7. Принципиальная электрическая схема замещения резонансного контура

Для определения величин L_p, C_p необходимо решить систему уравнений, составленных из формул 1 и 2. Из формулы 1 выражается C_p :

$$C_p = \frac{1}{4 \cdot \pi^2 \cdot f_1^2 \cdot L_p} \quad (3)$$

Преобразовывая выражение (2) получаем:

$$Z_{f_2}^2 = R_a^2 + \left(2 \cdot \pi \cdot f_2 \cdot L_p - \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_2 \cdot C_p} \right)^2 \quad (4)$$

$$2 \cdot \pi \cdot f_2 \cdot L_p - \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_2 \cdot C_p} = \sqrt{Z_{f_2}^2 - R_a^2} \quad (5)$$

Подставляя (3) в (5) получаем следующее выражение:

$$2 \cdot \pi \cdot f_2 \cdot L_p - \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot f_1^2 \cdot L_p}{2 \cdot \pi \cdot f_2} = \sqrt{Z_{f_2}^2 - R_a^2} \quad (6)$$

Из формулы (6) находим требуемую величину индуктивности:

$$L_p = \frac{\sqrt{Z_{f_2}^2 - R_a^2}}{2 \cdot \pi \cdot f_2 - \frac{2 \cdot \pi \cdot f_1^2}{f_2}} = \frac{f_2}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{\sqrt{Z_{f_2}^2 - R_a^2}}{f_2^2 - f_1^2} \quad (7)$$

Емкость контура находим после подстановки (7) в (3):

$$C_p = \frac{f_2^2 - f_1^2}{2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot f_2} \cdot \frac{1}{\sqrt{Z_{f_2}^2 - R_a^2}} \quad (8)$$

После преобразований, окончательно получаем выражение:

$$C_p = \frac{(f_2 / f_1)^2 - 1}{2 \cdot \pi \cdot f_2} \cdot \frac{1}{\sqrt{Z_{f_2}^2 - R_a^2}} \quad (9)$$

После определения значений L_p и C_p необходимо проанализировать изменение мощности сигнала рельсовой цепи для подтверждения работоспособности защитной схемы.

Влияние защиты на сигнальный ток при сходе изолирующих стыков работе ТРЦ

В первом приближении оценку качества работы схемы защиты при сходе стыков дает амплитудно-частотная характеристика сигнала и передаточная функция звена защиты. Сигнал от генератора ТРЦ имеет следующее временное и частотное распределение, показанное на рис. 8.

Как известно из теории [7], сигнал на выходе можно получить, имея передаточную функцию (ПФ). Взаимосвязь входного и выходного сигнала для защитной схемы определяется по выражению (10):

$$\begin{aligned} U_{вх}(t) &= A \cdot U_{вых}(t) + B \cdot I_{вых}(t) \\ I_{вх}(t) &= C \cdot U_{вых}(t) + D \cdot I_{вых}(t) \end{aligned} \quad (10)$$

где A , B , C и D – коэффициенты 4-полюсника защитной схемы, $U_{вх}(t)$, $U_{вых}(t)$, $I_{вх}(t)$, $I_{вых}(t)$ – входные и выходные напряжения и токи защитной схемы, согласно рис. 9.

Из выражения (10) первая формула определяет передаточную функцию по напряжению, а вторая – по току. Для определения ПФ выражение (10) примет следующий вид:

$$\begin{aligned} 1 &= A \cdot \frac{U_{вых}(t)}{U_{вх}(t)} + B \cdot \frac{I_{вых}(t)}{U_{вх}(t)} \\ 1 &= C \cdot \frac{U_{вых}(t)}{I_{вх}(t)} + D \cdot \frac{I_{вых}(t)}{I_{вх}(t)} \end{aligned} \quad (11)$$

С учетом известных коэффициентов 4-полюсника ($A=1$, $B=0$, $C=1/Z_p$ и $D=1$) выражение (11) будет следующим:

$$\begin{aligned} \frac{U_{вых}(t)}{U_{вх}(t)} &= 1 \\ \frac{I_{вых}(t)}{I_{вх}(t)} &= 1 - \frac{1}{Z_p} \cdot \frac{U_{вых}(t)}{I_{вх}(t)} \end{aligned} \quad (12)$$

где Z_p – полное сопротивление контура, показанного на рис. 7.

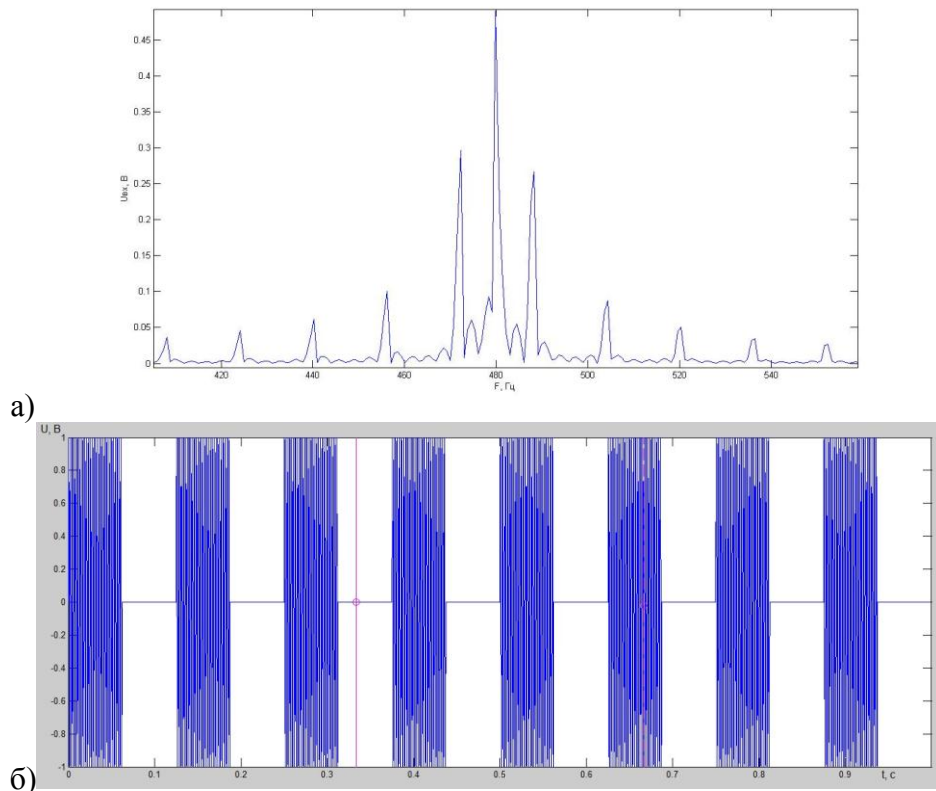


Рис. 8. Амплитудно-частотная (а) и временная (б) зависимости сигнала ТРЦ

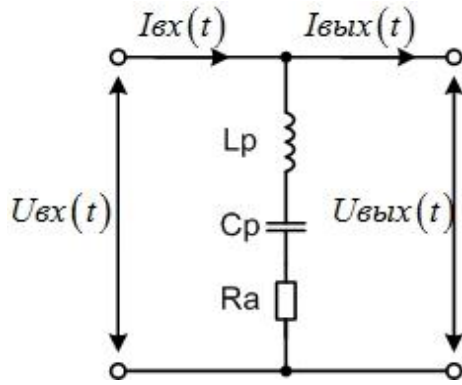


Рис. 9. Схема пояснення взаємозв'язки входних і вихідних напруг і токів

Исходя из выражения (12), ПФ по напряжению будет всегда равна 1, ПФ по току находится из формулы (13):

$$\frac{I_{\text{вых}}(t)}{I_{\text{вх}}(t)} = 1 - \frac{Z_{\text{вх}}(t)}{Z_p} \quad (13)$$

Окончательно, ПФ по току определяется как:

$$W_I(S) = \frac{I_{\text{вых}}(S)}{I_{\text{вх}}(S)} = 1 - \frac{Z_{\text{вх}}(S)}{Z_p(S)} \quad (14)$$

где $Z_{\text{вх}}(S)$ – входное сопротивление схемы.

С учетом того, что $Z_{\text{вх}}(S)$ зависит от сопротивления резонансного контура, получим окончательное выражение (15):

$$W_I(S) = \frac{Z_p(S)}{Z_H(S) + Z_p(S)} \quad (15)$$

где $Z_H(S)$ – полное сопротивление нагрузки на резонансный контур защиты при сходе изолирующих стыков, определяется по выражениям, известным из источника [3, 8], таким образом:

$$Z_H = \frac{A_k \cdot Z_{nn} + B_k}{C_k \cdot Z_{nn} + D_k} \quad (16)$$

где A_k, B_k, C_k и D_k – коэффициенты 4-полюсника релейного конца рельсовой цепи и смежной рельсовой линии;

$Z_{пп}$ – полное сопротивление путевого приемника релейного конца (либо обратное входное сопротивление фильтра питающего конца ТРЦ) [5, 9].

В результате получена передаточная функция, показанная на рис. 10.

Используя данную передаточную функцию, находится амплитудно-частотная и временная зависимости сигнала ТРЦ на выходе резонансного контура. Эти зависимости приведены на рис. 11.

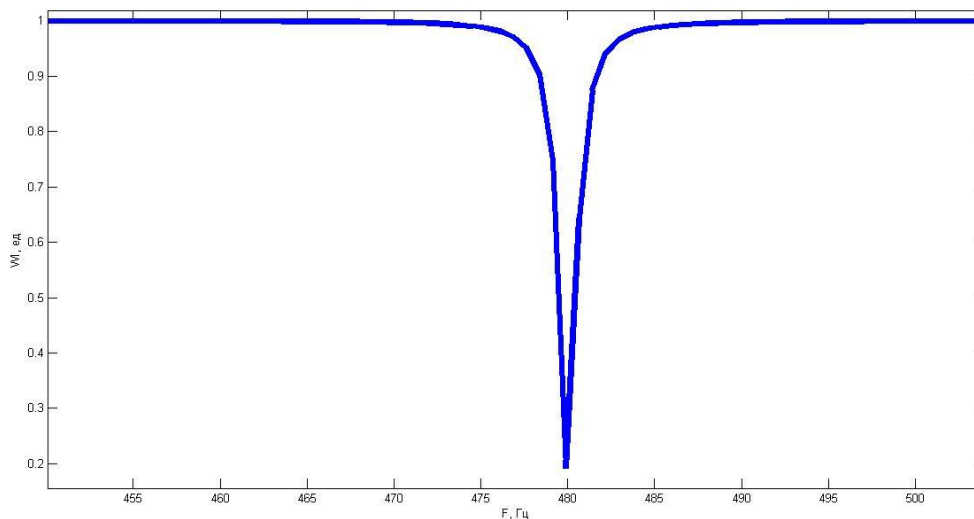
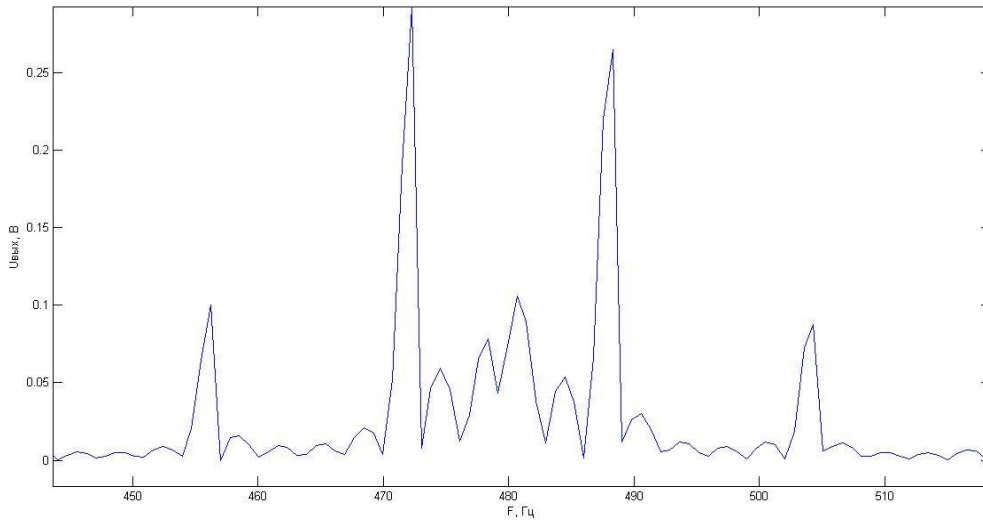
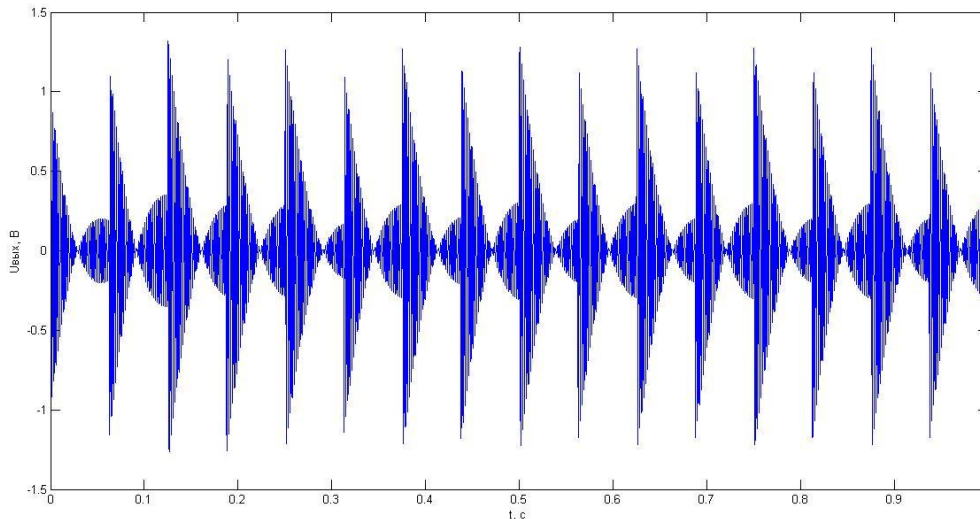


Рис. 10. Передаточная функция защитного контура по току.



а)



б)

Рис. 11. Амплитудно-частотная (а) и временная (б) зависимости сигнала ТРЦ на выходе резонансного контура

Критерием работоспособности выбрана средняя энергия, которая будет присутствовать на выходе защитного контура. Она прямо пропорциональна коэффициенту возврата [6, 8] и определяется по частотным характеристикам, приведенным на рис. 8а и 11а, по формуле (17):

$$K_v = \sum_{i=0}^{fs/2} \frac{A_{вых}(i)}{A_{вх}(i)}. \quad (17)$$

В результате получено значение коэффициента 0,8 при указанных выше условиях. Для обеспечения требуемого коэффициента возврата при увеличении разницы

между напряжением срабатывания и отпущения возможна дальнейшая корректировка параметров защитного контура путем изменения резонансных элементов.

Выводы

В работе предложен и проанализирован метод защиты при сходе изолирующих стыковых соединителей. Разработаны математические модели определения элементов защитного контура и получены результаты работы схемы защиты, дальнейшая работа предполагает анализ защитных

свойств на принципиальных схемах тональных рельсовых цепей.

Библиографический список

1. Технические решения. 419503. – 00 – СЦБ. ТР. Рельсовые цепи тональной частоты на станциях. [Текст] / Гипротрансигналсвязь. – М. – 1996. – 65 с.
2. Игольников, А. А. О некоторых особенностях тональных рельсовых цепей. [Текст] / А. А. Игольников // Автоматика, связь, информатика. – 2008. – №11 С. 40–42.
3. Романцев, И. О. Анализ методов расчета тональной рельсовой цепи перегона [Текст] / И. О. Романцев, В. И. Гаврилюк // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2010. – Вип. 35. – С. 187-192.
4. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: учебное пособие. [Текст] / Л. А. Бессонов – М.: Высш. школа, 1996. – 639 с
5. Кулик, П. Д. Практичний посібник з технічного утримання апаратури тональних рейкових кіл ЦШ0041 [Текст] / П. Д. Кулик, О. О. Удовіков, В. І. Басов та ін. – К.: Видавництво. 2006. – 236 с
6. Аркатов, В. С. Рельсовые цепи магистральных железных дорог: Справочник [Текст] / В. С. Аркатов, А. И. Баженов, Н. Ф. Котляренко. – М: Транспорт, 1992. – 384 с.
7. Татур, Т. А. Основы теории электрических цепей (справочное пособие): учеб. пособие [Текст] / Т. А. Татур – М.: Высшая школа, 1980. – 271 с.
8. 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. Иванкин, А. А. Удовиков/ – Киев: Издательский дом «Мануфактура», 2004. – 288 с.
9. Фильтр путевой универсальный ФПУ. Руководство по эксплуатации. – УТС 074.00.00.00 РЭ. [Текст] / Харьков, 2004.

Ключові слова: тональне рейкове коло, ізолюючий стик, частотні характеристики, передатна функція.

Ключевые слова: тональная рельсовая цепь, изолирующий стык, частотные характеристики, передаточная функция.

Keywords: railway circuit of tonal frequency, isolating railway connector, characteristics of frequency, transfer function.

Надійшла до редколегії 30.10.2012