

УДК 656.25

И. О. РОМАНЦЕВ – к. т. н., доцент, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, rio\_mail@i.ua

## ПОВЫШЕНИЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ ТОНАЛЬНОЙ РЕЛЬСОВОЙ ЦЕПИ

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

### Вступление

С развитием высокоскоростного движения на железных дорогах связана эксплуатация нового подвижного состава зарубежного производства. Однако, использование двигателей с частотным управлением приводит к повышению уровня помех, присутствующих в рельсовых нитях цепи обратного тягового тока. Повышение помехоустойчивости сигнала в рельсовой линии (РЛ) является одной из важных задач систем железнодорожной автоматики и телемеханики. Одним из путей повышения помехоустойчивости является использование более высокого диапазона частот в тональных рельсовых цепях (ТРЦ) с учетом снижения энергии помех от тяговой сети. Несмотря на это, частотное регулирование подвижным составом приводит к появлению помех и в этих частотах с длительностью и амплитудой, близкими к предельным значениям [1]. Следовательно, при усовершенствовании ТРЦ необходимо руководствоваться в том числе и улучшением устойчивости к помехам в рельсовой линии.

### Формирование сигнала в тональных рельсовых цепях

В основе функционирования ТРЦ используется метод амплитудной манипуляции гармонического высокочастотного сигнала  $f_H$  прямоугольными импульсами низкочастотного сигнала модуляции  $f_M$  [2]. Принцип формирования сигнального тока состоит в том, что используется две частоты – несущая и модулирующая – при выработке окончательного сигнала [3] так, как показано на рис. 1.

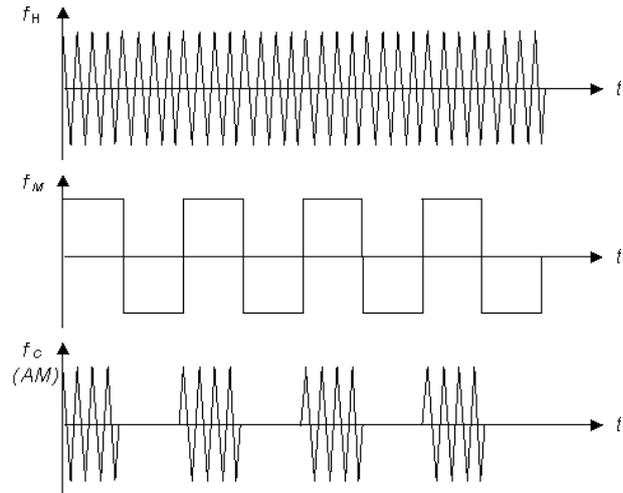


Рис. 1. Формирование сигнального тока тональной рельсовой цепи.

Первичная несущая частота  $f_H$  представляет собой гармонический сигнал, а модулирующая – прямоугольные импульсы низкой частоты модуляции  $f_M$  с скважностью  $Q = 2$ . На рис. 2 приведена осциллограмма реального сигнала на выходе генератора.

Защита от помех увеличена за счет использования частотного диапазона несущей частоты 400-800 Гц (нижний диапазон). В этих частотах снижении амплитуды гармоник тягового тока и увеличено соотношение сигнал/помеха. Несмотря на это, при эксплуатации подвижного состава нового типа периодически наблюдаются превышения пороговых значений помех, которые не имеют массового характера в случае единичной эксплуатации подвижного состава такого типа в зоне одной тяговой подстанции [1].

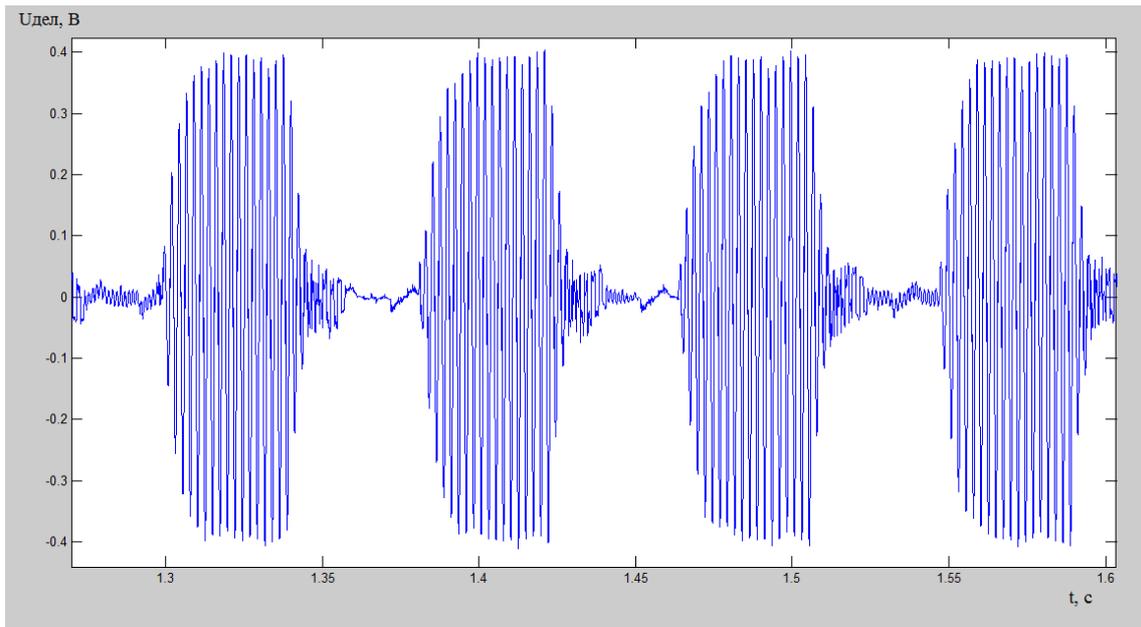


Рис. 2. Осциллограмма сигнала на выходе генератора сигналов ТРЦ

### Цель работы

При увеличении подвижного состава с частотным регулированием преимущественный характер помех в рельсовых цепях соответствует значительному увеличению энергии этих помех, сосредоточенной в рельсовых линиях. С целью заблаговременной подготовки по повышению помехоустойчивости необходимо либо усовершенствовать существующую базу, либо разрабатывать принципиально новые решения. Для повышения помехоустойчивости необходимо рассмотреть возможность по расширению частотно-временных характеристик сигнала, сформировать помехозащищенный сигнал и проанализировать его полученные характеристики на предмет дальнейшей фильтрации в ТРЦ.

### Усовершенствование свойств помехозащищенности

При рассмотрении существующих характеристик сигнала не сложно заметить, что временной интервал паузы модуляции не задействован. Его использование целесообразно при дальнейшей технической реализации за счет временного резервиро-

вания сигнала. Кроме этого, частотные области должны быть задействованы с учетом средних значений между гармониками токов промышленной частоты 50, 100, 150 Гц и др. Таким образом, целесообразно получены значения несущих частот тональной рельсовой цепи ТРЦ первых поколений 425, 475, 575, 725 и 775 Гц для нижнего диапазона частот 400-800 Гц [2, 3].

Для упрощения технической реализации устройств повышения помехозащищенности предложено использовать увеличение энергии сигнала, который вырабатывает генератор ТРЦ. При этом соотношение сигнал/помеха увеличится прямопропорционально приросту энергии, вырабатываемой генератором за единицу времени [4]. В случае усовершенствования технической базы для внедрения вышеуказанного предложено задействовать временной интервал, в котором подается пауза частоты модуляции. Одновременно с этим, частотный диапазон должен соответствовать средней частоте между гармониками тягового тока (или близких к ней). Следовательно, внешний вид сигнала (напряжения) проектируемого генератора будет выглядеть как на рис. 3.

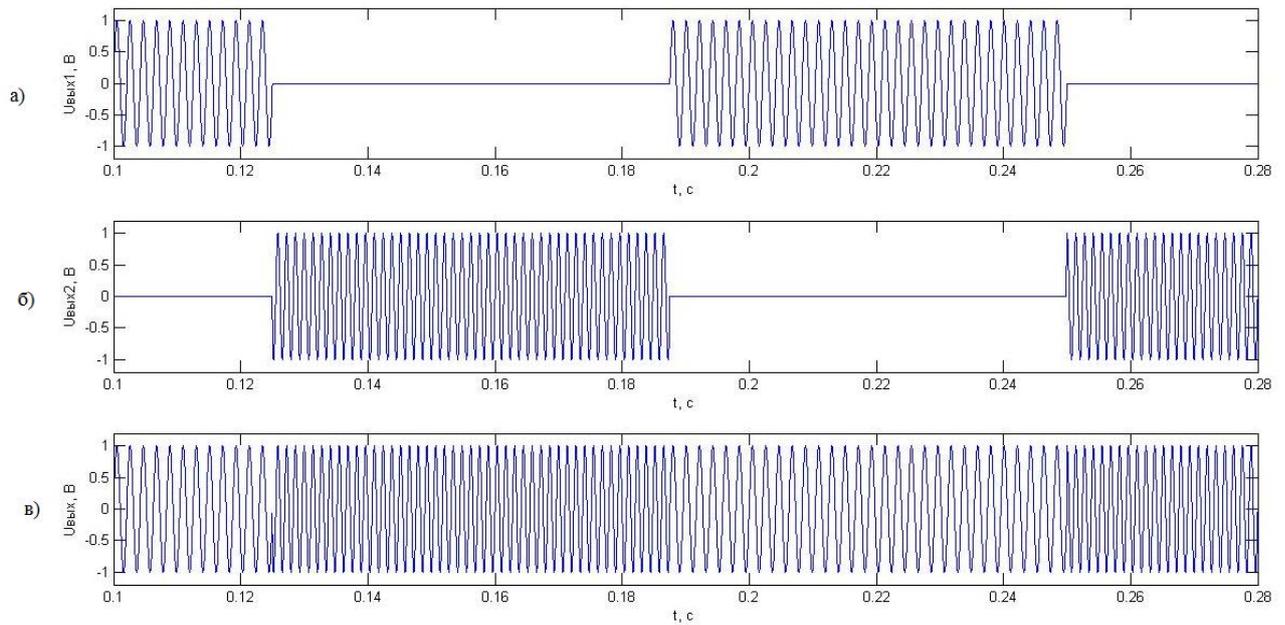


Рис. 3. Сигнал на выходе элементов модуляции 1 (а), модуляции 2 (б) и на выходе схемы генератора (в)

Для формирования конечного сигнала (рис. 3а) вырабатывается 2 гармонические частоты. Временное разделение позволяет в перспективе упростить схему и использовать один модулятор. На рис. 3 приведены частоты 420 и 720 Гц с модулирующей 8 Гц. Одновременно с путевыми приемниками на релейном конце (2 приемника смежных неразветвленных участка) необходимо учесть наличие дополнительного, который должен получать питание в интервале первой частоты модуляции. Таким образом, при использовании двух сигнальных токов значительно снижается вероятность ошибочного срабатывания. Например, вместо вероятности ложного срабатывания  $10^{-12}$ , будет получено значение  $10^{-24}$ .

Использование рассмотренного варианта изменения сигнального тока учитывает появление ограничений, связанных с «занятием» частот ТРЦ, которые могут использоваться на смежных стыковых или безстыковых участках, и связанных с снижением максимальной длины ТРЦ за счет задействования сигнала высокой частоты 720 Гц на потенциально длинном участке с несущей частотой 420 Гц. Поэтому для опреде-

ления допустимых длин усовершенствованных тональных рельсовых цепей с двумя несущими частотами необходимо выполнить расчет электрических взаимных зависимостей при разных длинах рельсовых линий, сопротивлениях балласта и др. [5].

### Расчет зависимостей электрических сигналов

Для дальнейшего усовершенствования тональной рельсовой цепи и учета вышеуказанных ограничений в математической среде Maple выполнены расчеты:

- напряжения источника питания в зависимости от длины рельсовой цепи при срабатывании путевого приемника (рис. 4),
- сопротивления передачи в зависимости от длины рельсовой цепи (рис. 5),
- напряжения на входе путевого приемника в зависимости от длины рельсовой цепи при минимальном напряжении путевого генератора 1В (рис. 6).

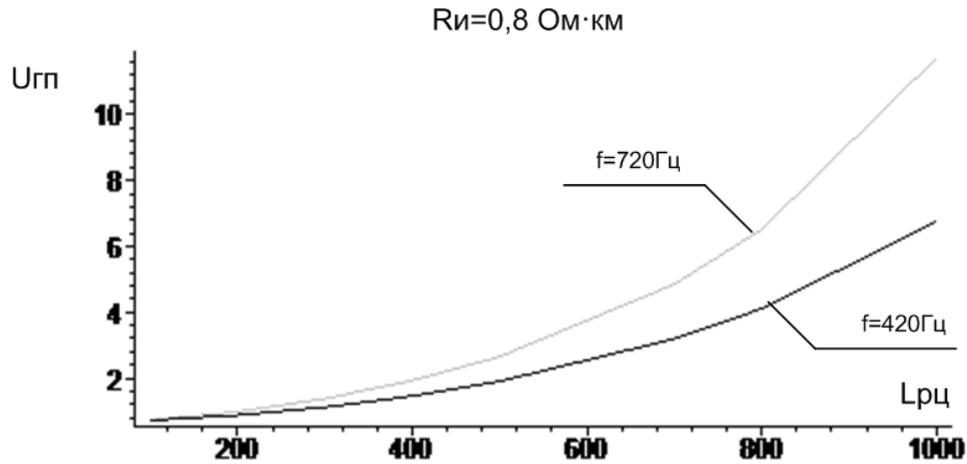


Рис. 4. Зависимость напряжения источника питания от длины рельсовой цепи

На рис. 4 приведены:

$U_{ГП}$  – напряжение на выходе путевого генератора, необходимое для срабатывания путевого приемника несущих частот 420 и 720 Гц,

$L_{рц}$  – длина рельсовой линии в м.

Расчеты выполнены для сопротивления изоляции балласта 0,8 Ом·км.

Анализ данной зависимости дает возможность определить следующее:

- при использовании существующих путевых генераторов ТРЦ с учетом их максимального выходного напряжения и мощности длина рельсовой цепи при данных несущих

частотах не должна превышать 750 м,

- для окончательного выходного напряжения генератор должен формировать равноуровневое напряжение несущих частот  $f_{H1}$  и  $f_{H2}$ .

На рис. 5  $Z_{ПЕР}$  – сопротивление передачи рельсовой цепи.

Как видно из зависимости сопротивления передачи рельсовой цепи от ее длины, представленной рис. 5, оптимальная нагрузка на генератор при формировании несущей частоты не должна превышать 800 м, когда при более высокой длине рельсовой цепи (РЦ) будет затрачиваться большая мощность.

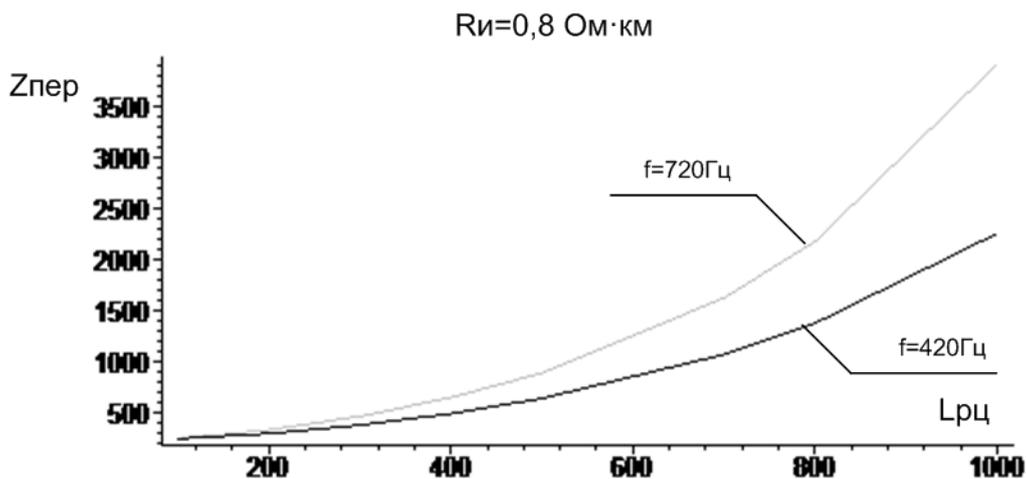


Рис. 5. Зависимости сопротивлений передачи от длины рельсовой цепи

На рис. 6 приведено  $U_{\text{III}}$  – напряжение на входе путевого приемника.

Из графика, приведенного на рис. 6, видно значительное снижение напряжения при более высокой частоте и, следовательно, необходимость различной амплитуды напряжения для гармонических сигналов (как и из рис. 4-5). Для рельсовой цепи тональной частоты с несущими 420 и 720 Гц и модулирующей – 8 Гц при длине рельсовой линии 400 м осциллограмма выходного напряжения имеет вид как показано на рис. 7:

Для реализации данного сигнала необходимо разработать либо усовершенствовать приемники и передатчики, а также фильтр трехчастотной рельсовой цепи (2 несущие и 1 модулирующая).

### Структура схемы ТРЦ повышенной помехозащищенности

Для реализации ТРЦ с описанными выше особенностями необходимо учитывать наличие фильтров, которые используются на питающем и релейном концах, а также приемников амплитудно-манипулированных сигналов (рис. 8).

На рис. 8 показано:

ГМС – генератор манипулированного сигнала;

Пр1, Пр2 – приемники сигналов первой и второй несущих частот (структура одинаковая);

ГН1 и ГН2 – генераторы гармонического сигнала двух несущих частот;

ГМ – генератор модулирующего сигнала;

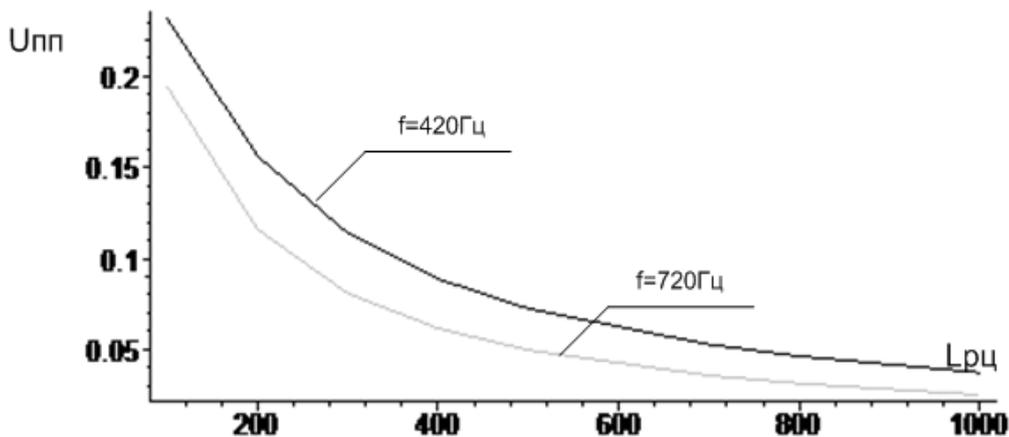


Рис. 6. Зависимость напряжения на входе путевого приемника от длины рельсовой цепи

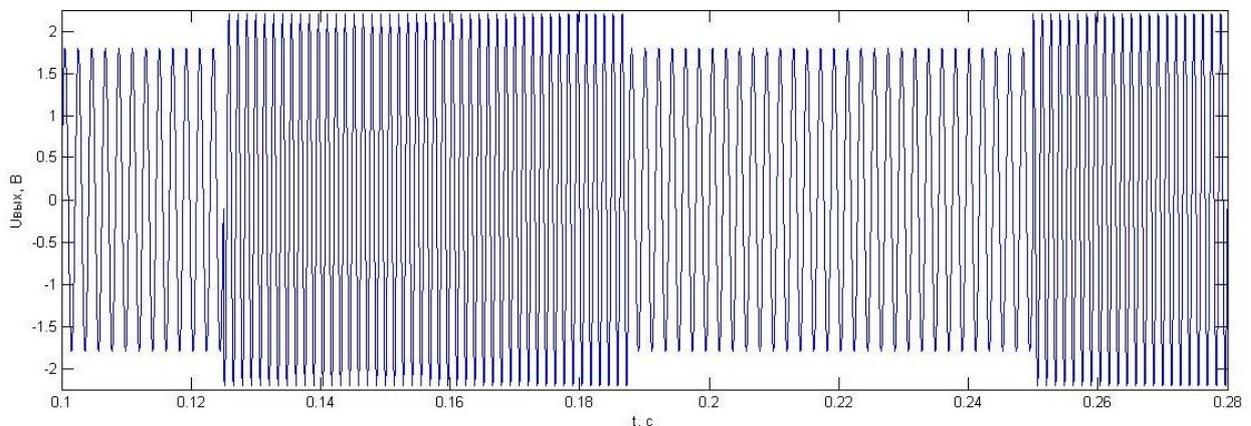


Рис. 7. Осциллограмма выходного напряжения на выходе идеального генератора

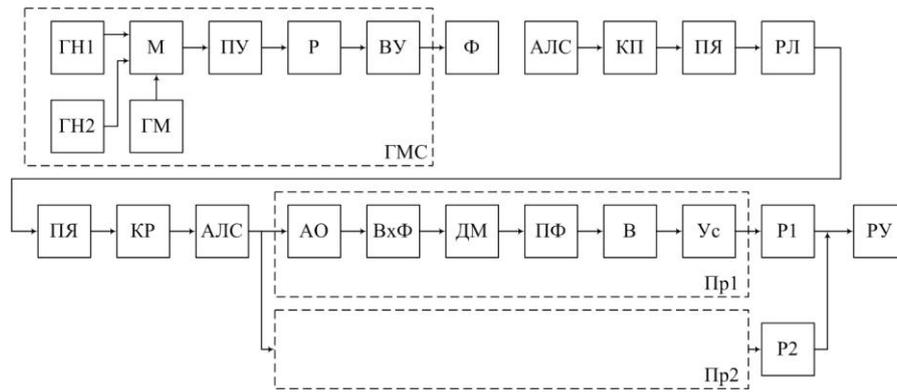


Рис. 8. Структурная схема двухчастотной тональной рельсовой цепи

М – манипулятор;  
 ПУ, ВУ – промежуточный и выходной усилители;  
 Р – регулятор выходного напряжения;  
 АЛС – элементы подачи кодов локомотивной сигнализации;  
 КП, КР – кабель и кабельные сопротивления питающего и релейного концов рельсовой цепи;  
 ПЯ – путевые устройства защиты и согласования с рельсовой линией;  
 РЛ – рельсовая линия;  
 АО – амплитудный ограничитель;  
 ВхФ, ПФ – входной и полосовой фильтра несущей и частоты модуляции;  
 ДМ – демодулятор;  
 Ус – усилитель;  
 P1, P2 – решающие устройства контроля уровня сигнала в приемнике;  
 PУ – основное устройство контроля двухчастотного сигнала и состояния участка пути.

На выходе существующей рельсовой цепи установлен фильтр несущей частоты. При использовании двухчастотного сигнала несущей частоты необходимо установка двух параллельно включенных фильтров отдельно для каждой из несущих частот так, как показано на рис. 9.

На рис. 9 резонансные контура C1-TV1 и C2-TV2 представляют собой устройства фильтрации несущих частот. Принцип действия [6, 7] заключается в том, что на входные клеммы 1-2 подается сигнал с выхода генератора (см. рис.8).

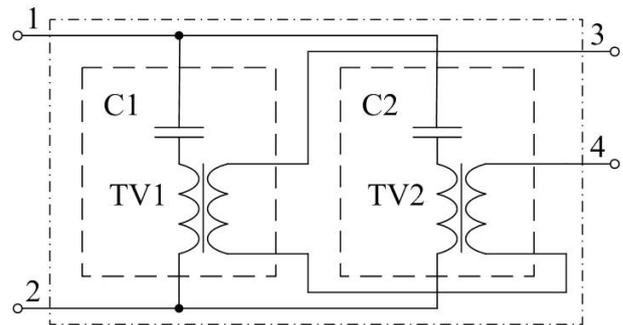


Рис. 9. Упрощенная схема фильтра для двухчастотной рельсовой цепи.

Фильтр, поочередно пропуская несущие частоты, выдает на выходных клеммах 3-4 манипулированный сигнал. Последовательное включение резонансных контуров реализовано за счет незначительного выходного сопротивления вторичных обмоток трансформаторов TV1 и TV2.

Для дальнейшей работы помехозащищенной тональной рельсовой цепи необходимо откорректировать генераторы существующей ТРЦ и проверить работоспособность в рабочих условиях.

### Выводы

В работе предлагается один из вариантов усовершенствования существующей тональной рельсовой цепи с целью повышения защиты от воздействия помех на рельсовые линии, в том числе от подвижного состава с частотным регулированием. Рассмотрена существующая элементная база, особенности ее применения, произведено изменение в структуре эксплуатируемых

рельсовых цепей, выполнен расчет и приведена временная зависимость напряжения сигнального тока для участка с двумя несущими частотами. Проанализированы полученные зависимости и сформированы ограничения использования ТРЦ при увеличении помехозащитных свойств.

#### Бібліографічний список

1. Безнарытний, А. М. Исследование электромагнитной совместимости обратной тяговой сети с устройствами сигнализации, централизации и блокировки [Текст] / А. М. Безнарытний // Наука та прогресс транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2014. – Вип. 3(51). – С. 7-14.
2. 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 – Киев: Издательский дом «Мануфактура», 2004. – 288 с.
3. Технические решения. 419503. – 00 – СЦБ. ТР. Рельсовые цепи тональной частоты на станциях [Текст] / Гипротрансигналсвязь. – М. – 1996. – 65 с.

4. Бессонов, Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: учебное пособие [Текст] / Л. А. Бессонов – М.: Высш. школа, 1996. – 639 с
5. Аркатов, В. С. Рельсовые цепи магистральных железных дорог: Справочник [Текст] / В. С. Аркатов, А. И. Баженов, Н. Ф. Котляренко– М: Транспорт, 1992. – 384 с.
6. Татур, Т. А. Основы теории электрических цепей (справочное пособие): учеб. пособие [Текст] / Т. А. Татур. – М.: Высшая школа, 1980. – 271 с.
7. Фильтр путевой универсальный ФПУ. Руководство по эксплуатации. – УТС 074.00.00.00 РЭ [Текст] / Харьков 2004.

**Ключові слова:** тональне рейкове коло, амплітудно-маніпульований сигнал, підвищення завадостійкості, колійний фільтр.

**Ключевые слова:** тональная рельсовая цепь, амплитудно-манипулированный сигнал, повышение помехоустойчивости, путевой фильтр.

**Keywords:** railway circuit of tonal frequency, amplitude manipulating signal, increasing of noise immunity characteristics, railway track filter.

Надійшла до редколегії 30.09.2013