

УДК 656.259.1

САЯПИНА І.А., аспірант (УкрГАЗТ)

## Исследование влияния электромагнитных помех на приемную аппаратуру тональных рельсовых цепей

*Проведен анализ основных негативных факторов, воздействующих на аппаратуру рельсовой цепи (РЦ). Предложены имитационные модели помех, возникающих вследствие асимметрии распространения обратного тягового тока, работы тиристорных преобразователей, а также модели флуктуационных и импульсных помех.*

*С целью анализа эффективности работы известного устройства повышения помехоустойчивости РЦ, выполнено моделирование его работы при воздействии на РЦ помех. Приведен вид сигнала на выходе основных функциональных элементов устройства.*

**Ключевые слова:** помехоустойчивость, сигнал, помеха, модель, рельсовая цепь.

### Введение

На железных дорогах Украины основным путевым датчиком являются рельсовые цепи (РЦ) и от их функционирования зависит правильность работы систем автоблокировки, диспетчерской централизации и автоматической локомотивной сигнализации, а, следовательно, и безопасность движения поездов.

Однако условия работы рельсовых цепей характеризуются воздействием множества разных помех. По отношению к приемному устройству источники помех можно разделить на внутренние и внешние. Внутренние помехи, также называемые шумом, являются флуктуационными и вызваны флуктуацией параметров элементов рельсовой цепи. Внешние помехи подразделяются на промышленные и атмосферные. В большинстве случаев эти помехи характеризуются быстрым изменением электрического тока, вследствие чего возникают электрические и магнитные поля, мешающие приему полезного сигнала. Самые высокие уровни импульсных помех возникают при коммутационных процессах, сопровождающихся коротким замыканием либо разрывом цепи. Прохождение переменного тока по цепи, характеризующейся нелинейным сопротивлением, приводит к появлению помех гармонических и комбинационных составляющих основной частоты.

Поэтому актуальным является вопрос повышения помехоустойчивости и надежности рельсовых цепей для обеспечения безопасности движения поездов.

### Анализ публикаций

В материалах [1-2] анализируется влияние систем тягового электроснабжения, а в [3] – мощных импульсных помех и коммутационных процессов на аппаратуру рельсовых цепей.

В работе [4] предложено использование имитационного моделирования для исследования помехоустойчивости приемников сигналов в системах интервального регулирования движением поездов. Для разработки адекватных моделей помех на Куйбышевской и Московской дорогах была проведена их регистрация. На основании полученных данных разработана математическая модель флуктуационной и импульсной помех.

В статье [5] рассмотрено непосредственное влияние импульсных помех на путевой приемник тональных рельсовых цепей.

Анализ данной литературы еще раз подчеркивает актуальность исследования воздействий негативных факторов на рельсовые цепи с целью поиска способа повышения их помехоустойчивости.

**Целью данной работы** является использование имитационного моделирования для исследования влияния помех на приемную аппаратуру рельсовой цепи и способа повышения ее помехоустойчивости.

### Основная часть

Мешающие влияния тяговых сетей и ЛЭП на железных дорогах вызваны наличием в кривых напряжения и тока данных сетей гармонических составляющих. На железных дорогах, электрифицированных переменным током, искажение формы кривой тока возникает вследствие использования двухполупериодных агрегатов на подвижном составе для преобразования однофазного переменного тока в постоянный. При электрификации постоянным током основным источником искажений

кривых тока и напряжения являются выпрямители тяговых подстанций, преобразующие трехфазный переменный ток в постоянный. При этом кроме постоянной составляющей в тяговую сеть проникает также большое количество различных гармоник.[6]

Степень влияния тягового тока зависит от величины и рода тягового тока, его гармонического состава, длины рельсовых цепей, характеристик верхнего строения пути, количества и параметров подключенных к рельсам заземляющих устройств, определяющих величину асимметрии тягового тока при протекании по рельсовым нитям. Степень асимметрии тягового тока в рельсах (табл. 1.) отражает коэффициент асимметрии [7]:

$$k_a = \frac{I_1 - I_2}{I_1 + I_2} \cdot 100\% ,$$

где  $I_1$  – ток в первой рельсовой нити;

$I_2$  – ток во второй тяговой нити.

Таблица 1

Предельные допустимые значения асимметрии

Для постоянного тока	Для переменного тока		
	50 Гц	100 Гц	200 Гц
12%	4,6 - 6,6%	3,8 - 5,6%	2,45 - 4,8%

В системе электроснабжения постоянного тока источниками искажения кривой тока являются преобразователи на тяговых подстанциях. Преобразователи могут быть следующих видов: шестипульсовые «две вторичные обратные звезды с уравнильным проводом», шестипульсовые трехфазные мостовые и 12-пульсовые выпрямители и выпрямительно-инверторные агрегаты. Шестипульсовые преобразователи при симметричном режиме работы в кривой выпрямленного тока содержат гармоники, кратные частоте 300 Гц, а 12-пульсовые – кратные частоте 600 Гц. Для подавления данных гармонических составляющих предусмотрено использование фильтров. Однако при пробое конденсатора в одном из резонансных контуров и отключении плавким предохранителем всех контуров фильтра коэффициент гармоники с частотой 300 Гц может достигать значения 0,017. Асимметрия фазных напряжений трехфазного переменного тока вызывает появление гармоник кратных 100 Гц, а фильтр может даже повысить гармонику 200 Гц, коэффициент которой может составить  $k_r = 0,013$ . При неисправности выпрямительных агрегатов

наблюдается содержание гармонической составляющей 50 Гц с коэффициентом гармоники 0,072.

Для определения влияния, создаваемого обратным тяговым током 1000 А на участке, электрифицированном постоянным током, с учетом коэффициента асимметрии 12% в приложении Simulink разработана модель (рис. 1).

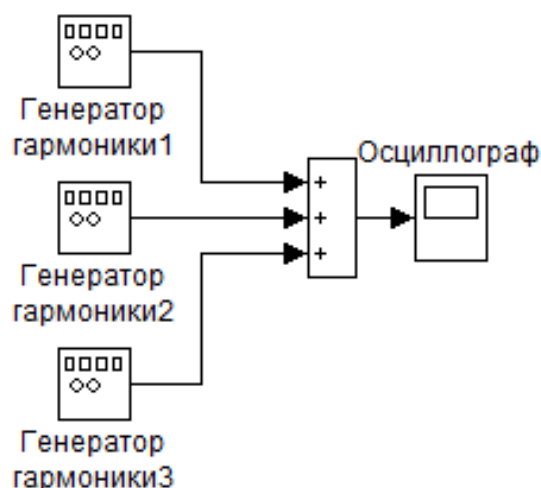


Рис. 1. Вид модели для исследования влияния тягового тока на оборудование РЦ на участке, электрифицированном постоянным током.

В результате моделирования получены осциллограммы токов помех от гармонических составляющих частотой 50, 200, 300 Гц (рис. 2).

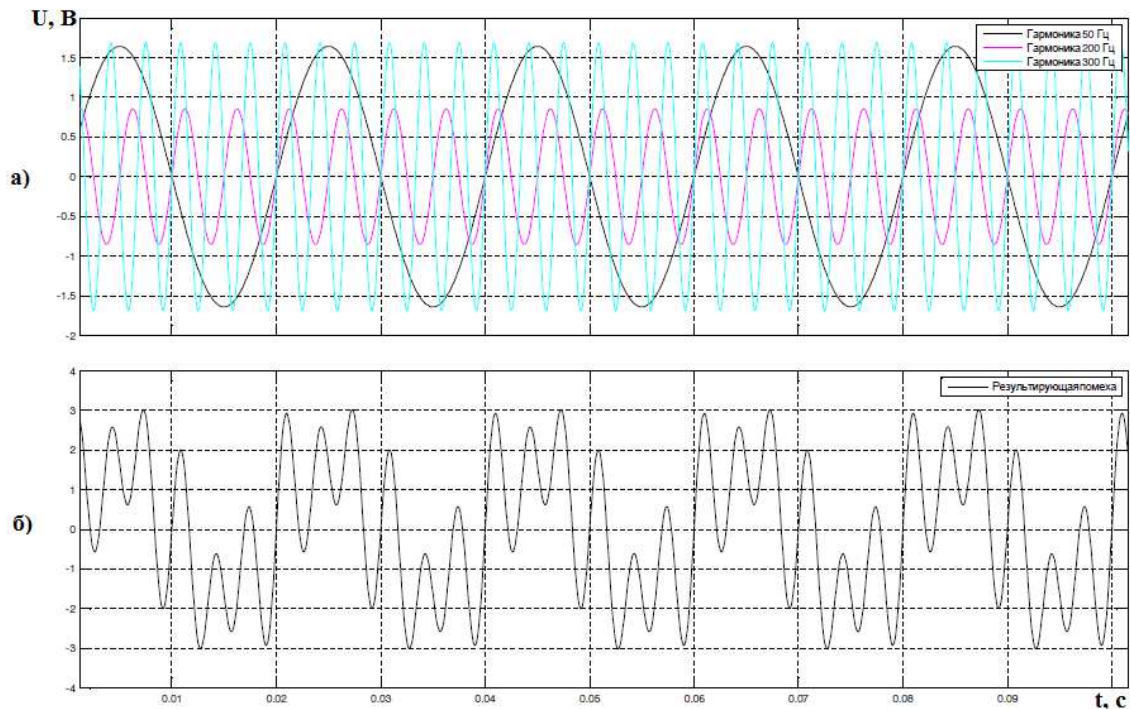


Рис. 2. Вид помехи от тягового тока на участках, электрифицированных постоянным током, на входе путевого приемника: а) гармонические составляющие помехи; б) результирующая помеха.

Для регулирования напряжения на тяговых двигателях электроподвижного состава постоянного тока используются импульсные тиристорные преобразователи.[7] Их работа повышает уровень и

расширяет частотный спектр помех от тягового тока за счет появления гармоник комбинационных частот (табл. 2).

Таблица 2

Максимальные токи помех в РЛ при работе тиристорных преобразователей

Частота, Гц	25	50	75	125	175	225	275	325	375
Амплитуда, А	4,7	1,1	6,2	3,8	2,6	2,0	3,4	2,6	2,2

С целью анализа помехи от работы тиристорных преобразователей, воздействующей на путевого приемник при коэффициенте асимметрии тягового тока в рельсовой линии 12%, была разработана модель (рис. 3).

Генератор гармоник выполнен с использованием подсистемы и предназначен для генерации сигналов соответствующей частоты и амплитуды. Каждый из выходов генератора соответствует определенной гармонической составляющей. Блок "Add" выполняет операцию алгебраической суммы входящих сигналов. Результирующий сигнал отображается с помощью блока "Scope" (рис. 4).

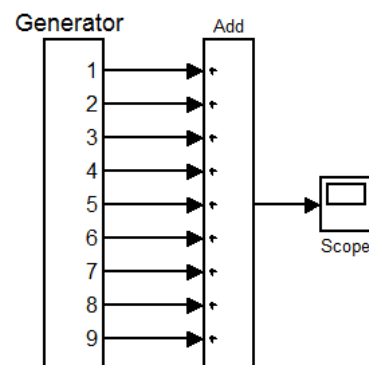


Рис. 3. Модель для исследования тока помех от работы тиристорных преобразователей

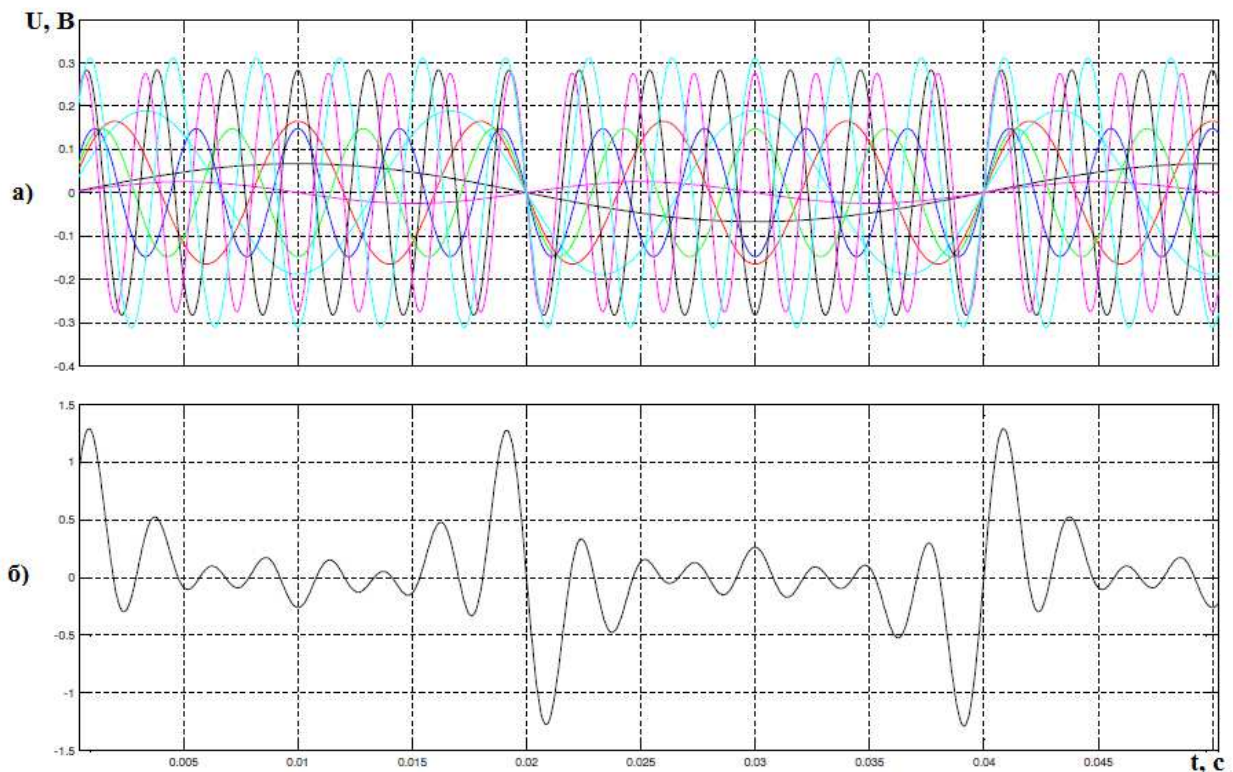


Рис. 4. Вид помехи, возникающей вследствие работы тиристорных преобразователей, на входе путевого приемника: а) отдельные гармонические составляющие; б) суммарный сигнал.

С целью исследования влияния тягового тока на аппаратуру РЦ на участке, электрифицированном переменным током, была создана имитационная модель (рис. 5). На основании данных об уровнях гармоник тягового тока в удаленном от тяговой подстанции конце тягового плеча для электротяги напряжением 25 кВ с тяговым током 150 А для одной секции восьмиосного электровоза [8] и табл. 1 определен расчетный ток асимметрии, а также произведено моделирование. Полученные гармонические составляющие помехи и общий вид сигнала показаны на рис. 6.

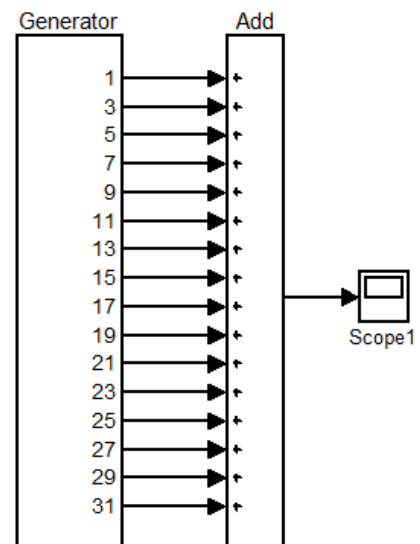


Рис. 5. Вид модели для исследования влияния тягового тока на аппаратуру РЦ на участке, электрифицированном переменным током.

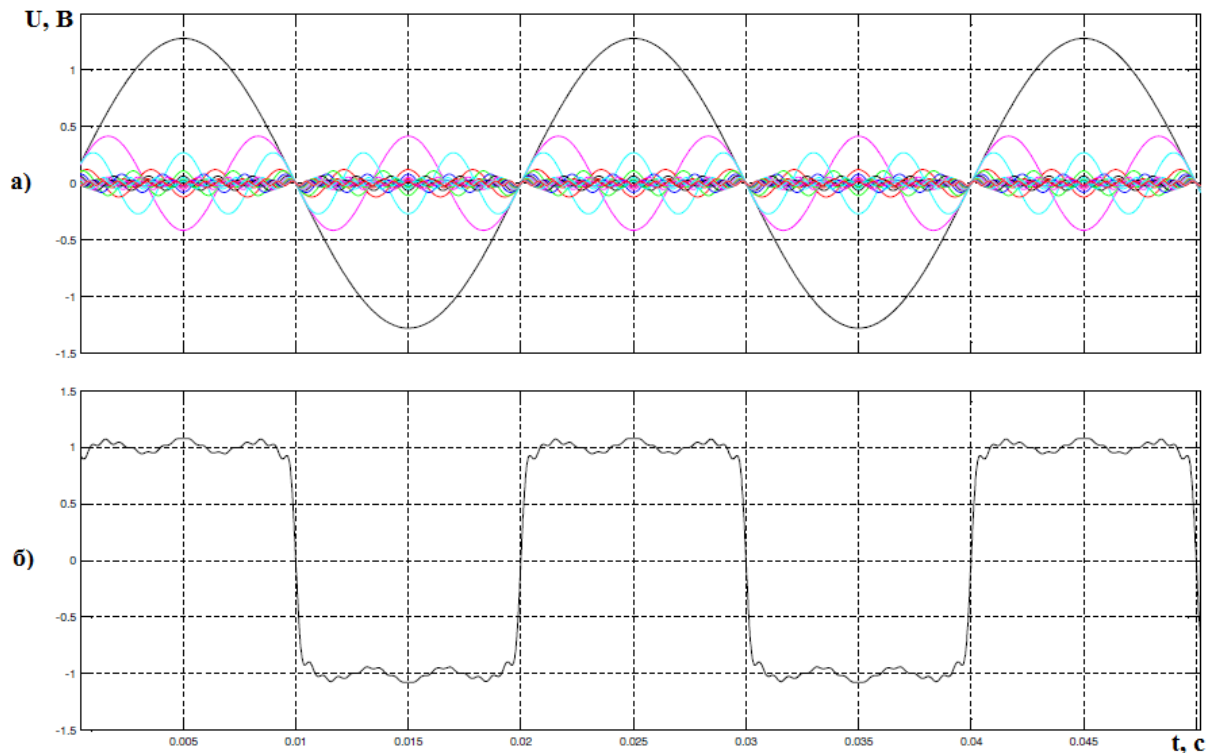


Рис. 6. Сигнал помехи от переменного тягового тока, воздействующей на путевой приемник РЦ в режиме тяги: а) гармонические составляющие сигнала; б) суммарный сигнал.

На основании математических моделей смоделирована случайная импульсная импульсных помех, предложенных в работах [4, 5], последовательность (рис. 7).

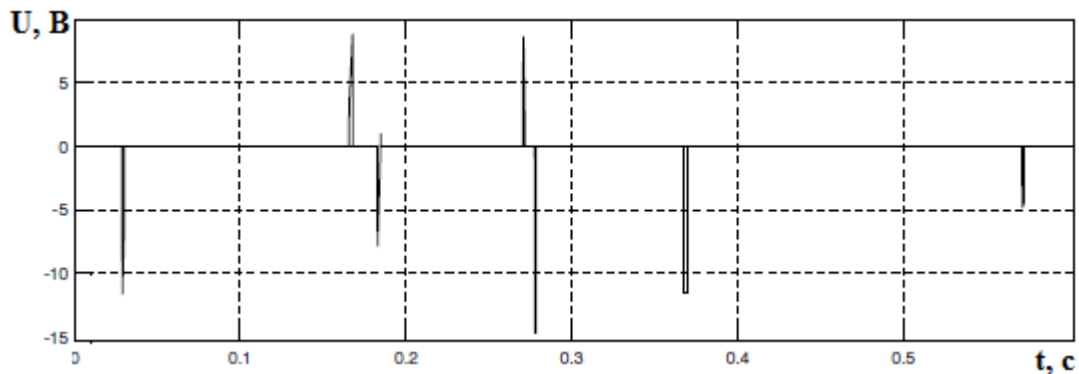


Рис. 7. Пример реализации случайной последовательности импульсных помех

Согласно [4] флуктуационная помеха может быть представлена нормальным белым шумом с заданным математическим ожиданием, дисперсией и начальными условиями формирования мгновенных

значений помехи. Пример такой реализации на основе блока Gaussian noise generator приложения Simulink с нулевым математическим ожиданием и единичной дисперсией показан на рис. 8.

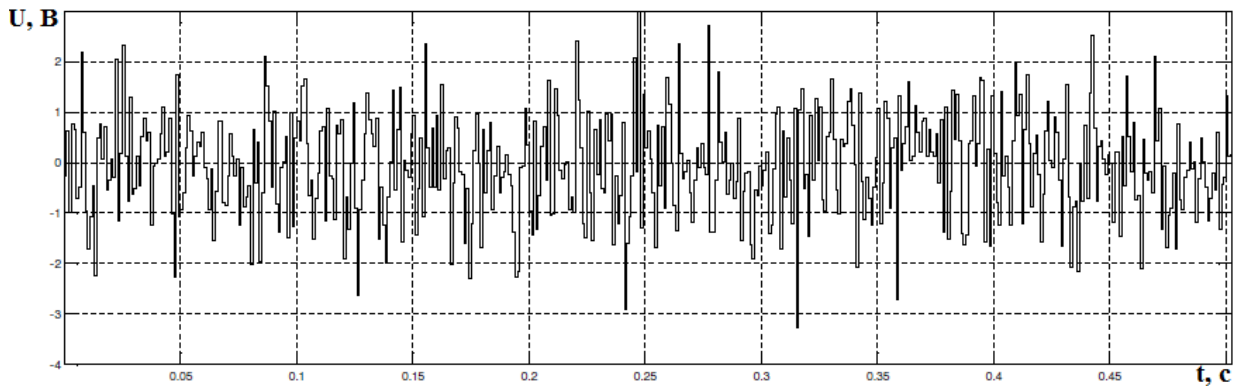


Рис. 8. Пример флуктуационной помехи с единичной дисперсией и нулевым математическим ожиданием на входе приемника

Известно устройство повышения помехоустойчивости и надежности работы рельсовой цепи, которое защищает путевого приемник от ложного срабатывания из-за влияния помех при отсутствии кодовой последовательности контроля состояния РЦ [9], имитационная модель работы которого представлена на рис. 9. Осциллограммы сигналов, иллюстрирующих работу устройства, показаны на рис. 10 для РЦ, электрифицированной постоянным током, и на рис. 11 для РЦ, электрифицированной переменным током.

Путевой генератор формирует амплитудно-манипулированный сигнал контроля состояния РЦ (рис. 10а и 11а) и имеет два выхода. Блок помех генерирует помехи, возникающие вследствие асимметрии тягового тока, тиристорного регулирования (для РЦ, электрифицированной постоянным током), импульсные и флуктуационные помехи (рис. 10б и 11б). Блок сумматора выполняет алгебраическое сложение полезного сигнала и помехи (рис. 10в и 11в). Блок генератора одиночного импульса (ГОИ) и управляемого ключа выполнен с помощью подсистемы, которая срабатывает по сигналу, подаваемому с путевого генератора. При этом управляемый ключ замыкается только на время прохождения импульсов полезного сигнала, а все помехи, присутствующие в интервалах между импульсами, не попадают на вход путевого приемника (рис. 10г и 11г).

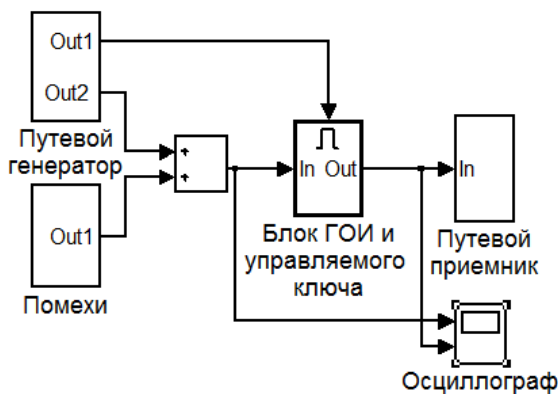


Рис. 9. Модель устройства повышения помехоустойчивости РЦ

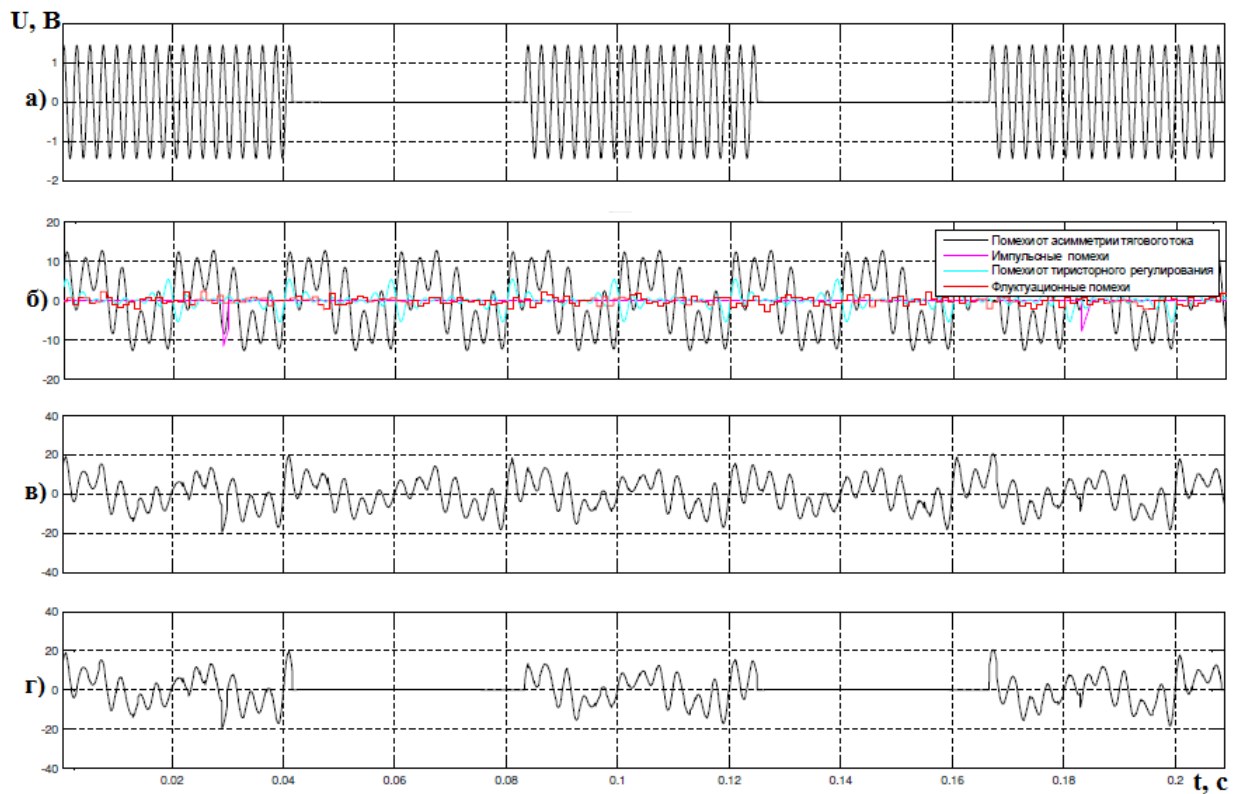


Рис. 10. Осциллограммы, иллюстрирующие работу устройства повышения помехоустойчивости РЦ, электрифицированной постоянным током

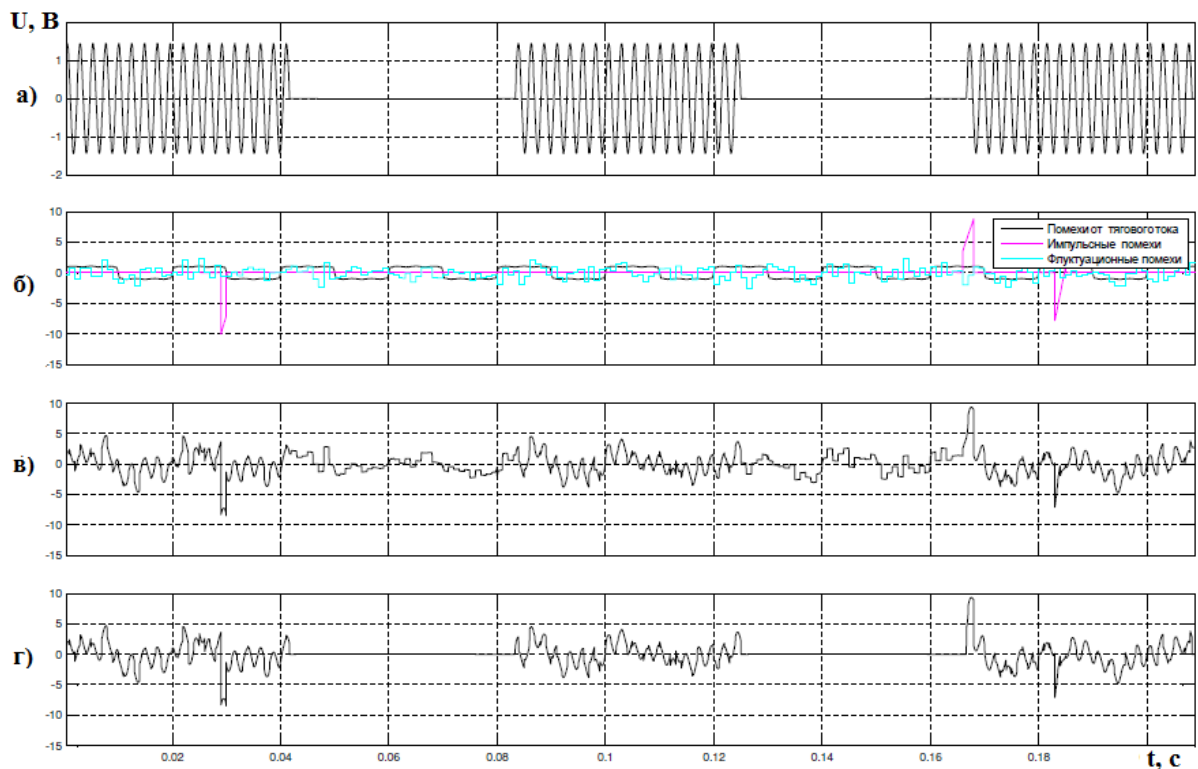


Рис. 11. Осциллограммы, иллюстрирующие работу устройства повышения помехоустойчивости РЦ, электрифицированной переменным током в режиме тяги

**Выводы**

В работе проведен анализ видов помех, воздействующих на аппаратуру рельсовых цепей. По статистическим характеристикам и структуре их можно подразделить на флуктуационные, синусоидальные и импульсные.

Разработаны имитационные модели помех, возникающих за счет асимметрии обратного тягового тока, работы тиристорных преобразователей, регулирующих напряжение на тяговых двигателях, а также случайной импульсной последовательности и флуктуационных помех. Выполнено моделирование результирующей помехи, которая влияет на приемную аппаратуру рельсовых цепей, электрифицированных постоянным и переменным током. Приведены осциллограммы как отдельных гармонических составляющих, так и суммарной помехи.

Для анализа эффективности известного устройства повышения помехоустойчивости РЦ, предложена его имитационная модель. Вид сигнала на выходе показывает, что оно позволяет исключить возможность возбуждения путевого приемника из-за воздействия помех в интервалах между импульсами сигнального тока.

**Литература**

1. Сердюк, Т.Н. Взаимодействие системы тягового электроснабжения постоянного тока с рельсовыми цепями [Текст] / Т.Н. Сердюк, В.И. Гаврилюк // Информационно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Х.: УкрДАЗТ. – 2007. - № 4. - С.108 - 112.
2. Щека, В.І. Організація захисту рейкових кіл від електромагнітних завад з боку контактної мережі [Текст] / В.І. Щека // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – №1. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2011. – С.84-90.
3. Кравченко, К.В. Защита систем ЖАТ от грозовых и коммутационных перенапряжений [Текст] / К.В. Кравченко // Автоматика, связь, информатика: научно-теоретический и производственно-технический журнал. – М.: ОАО «Российские железные дороги», 2011. – Вып. 4. – С.25-28.
4. Блачев, К.Э. Имитационное моделирование цифрового приемника сигналов систем интервального регулирования движением поездов [Текст] // Вестник Самарского государственного технического университета. – 2008. – № 2 (22). – С.223-227.
5. Гончаров, К.В. Исследование влияния импульсных помех на тональные рельсовые цепи [Текст] / К.В. Гончаров // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Д.: Вид-

- во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2012. – Вип. 40. – С.161-166.
6. Костроминов А.М. Защита устройств железнодорожной автоматики и телемеханики от помех [Текст] / А.М. Костроминов. – М.: Транспорт, 1997. – 192с.
  7. Котельников А.В. Рельсовые цепи в условиях влияния заземляющих устройств [Текст]: учебное пособие / А.В. Котельников, А.В. Наумов, Л.П. Слободянюк. – М.: Транспорт, 1980. – 207с.
  8. Правила защиты устройств проводной связи и проводного вещания от влияния тяговой сети электрифицированных железных дорог переменного тока. – М.: Транспорт, 1989. – 134 с.
  9. Патент України на винахід UA 101093. МПК В 61 L 23/00. Рельсове коло. М.М. Бабаєв, С.В. Кошевий, В.О. Сотник, В.Б. Романчук, О.М. Ананьєва, І.О. Саяпіна. 25.02.2013 Бюл. №4.

**І.О. Саяпіна. Дослідження впливу електромагнітних завад на приймальну апаратуру тональних рейкових кіл.** Проведений аналіз основних негативних факторів, що впливають на апаратуру рейкового кола. Запропоновані імітаційні моделі завад, що виникають внаслідок асиметрії розповсюдження зворотного тягового струму, роботи тиристорних перетворювачів, а також моделі флуктуаційних та імпульсних завад.

З метою аналізу ефективності роботи відомого пристрою підвищення завадостійкості РК, виконано моделювання його роботи при впливі на РК завад. Приведений вид сигналу на виході основних функціональних елементів пристрою.

**Ключові слова:** завадостійкість, сигнал, завада, модель, рейкове коло.

**I.A. Saiapina. Analysis of an electromagnetic interference impact on the tonal track circuit's receiving equipment.** Main factors that have negative impact on the track circuit equipment were analyzed. Simulation models of interferences from reverse traction current distribution asymmetry and from thyristors work were offered as well as fluctuating noise model and impact noise model.

In order to analyze the efficiency of a known increasing noise immunity device a simulation of its work during an interference impact on a track circuit was made. Output signal form after main functional elements of the device is shown.

**Key words:** noise immunity, signal, interference, model, track circuit.

Рецензент д.т.н., професор Бабаєв М.М. (УкрГАЗТ)

Поступила 19.04.2013г.