

УДК 004.4'2

В.Р. Распопин, А.С. Сиора, А.А. Мельник, П.А. Хозя, В.В. Федоров

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ И АНАЛИЗА ГАРМОНИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ РЕЛЬСОВЫХ ТОКОВ

Приведены алгоритмы совместного частотно-временного анализа, которые могут быть использованы при исследовании гармонических составляющих рельсовых токов. Разработано специализированное программное обеспечение (ПО), которое позволяет проводить измерение и анализ гармонических составляющих рельсовых токов с одновременным сравнением полученных результатов с нормативно допустимыми значениями. Проведены экспериментальные исследования уровня мешающего влияния электрооборудования на рельсовые цепи, путевые устройства сигнализации с использованием предложенного ПО.

Введение

Гармонические составляющие тока, которые возникают в сети системы тягового электроснабжения, заслуживают особого внимания исследователей. Среди основных причин появления гармонических составляющих в обратном тяговом токе выделяют работу выпрямителей тяговых подстанций постоянного тока и электродвигателей подвижного состава, коммутационные переключения на тяговых подстанциях, смена рода тока, регулирование силы тяги, а также пробой изоляции стационарных питающих кабелей. Гармонические помехи могут привести к ложной свободности (занятости) секций станции, сбоя кодов и других аварийных ситуаций при исправности оборудования рельсовой цепи.

Согласно [1] гармонические составляющие тока электровоза или электропоезда определяют в динамическом спектральном анализе тока, результатом которого является дискретный спектр усредненных за время 300 мс, значимых гармонических составляющих тока в полосе частот 19-5593 Гц.

Вышесказанное свидетельствует о большой актуальности задачи исследования гармонических составляющих тока в рельсовых цепях с усреднением за определенный временной диапазон и обеспечением электромагнитной совместимости устройств автоматики с системой тягового электроснабжения на заданном участке.

Постановка задачи

Таким образом, необходимо разработать специализированное программное обеспечение для обработки и спектрального анализа гармонических составляющих рельсовых токов в системе электроподвижного состава, которое бы обеспечило анализ сигнала при непрерывном и импульсном воздействии тока.

Основной материал

Разрабатываемое программное обеспечение должно обеспечить анализ сигнала во временном и частотном диапазоне с обеспечением минимального шага по обеим шкалам. Преобразование Фурье, в том числе быстрое и дискретное преобразование не могут обеспечить поставленное условие, поскольку у них размер шага во временной и частотной области взаимосвязаны и уменьшение шага по частоте, например до 1Гц, приводит к увеличению шага по времени и наоборот.

© *В.Р. Распопин, А.С. Сиора, А.А. Мельник, П.А. Хозя, В.В. Федоров, 2013*

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Очевидно что программное обеспечение должно основываться на одном из алгоритмов совместного частотно-временного анализа [2, 3], среди которых различают: линейные и квадратичные. Классификация существующих алгоритмов совместного частотно-временного анализа (Joint Time-Frequency Analysis) приведена на рис.1.

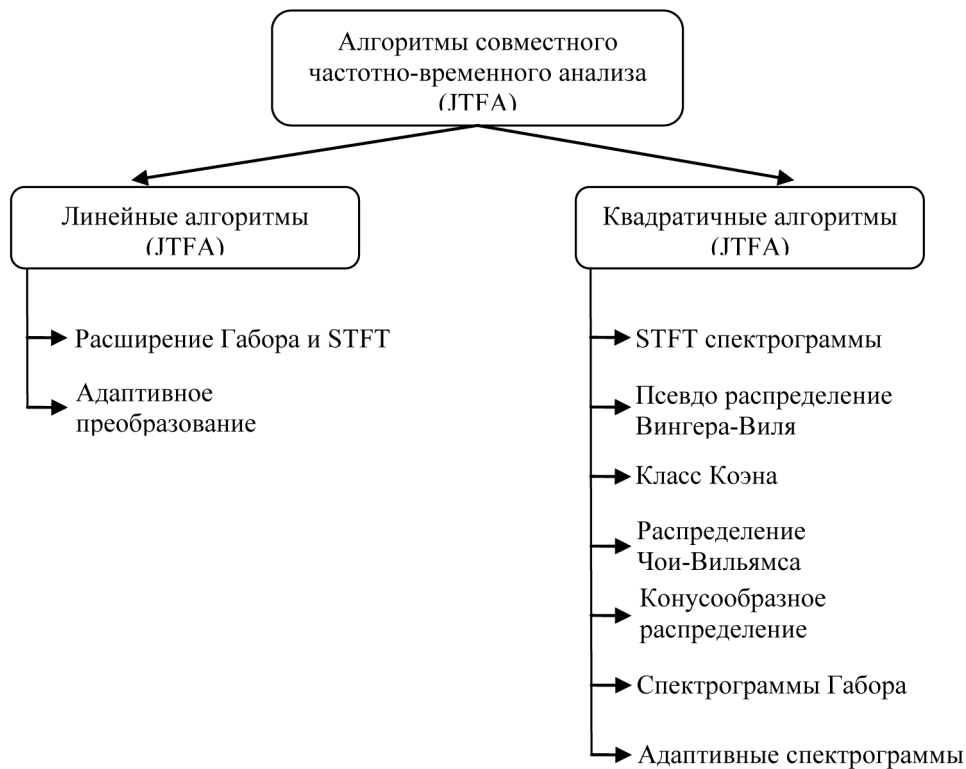


Рис.1. Классификация алгоритмов JTFA

Все перечисленные методы имеют как преимущества, так и недостатки, главным из них является сложность интерпретации полученных результатов. Кроме перечисленных алгоритмов JTFA и Фурье-преобразования, некоторые авторы [4] для эффективного выявления локальных особенностей анализируемого сигнала кривой тягового тока, определяемых характером воздействия высших гармоник, предлагают использовать непрерывное Вейвлет преобразование. Однако, мы считаем, что данный метод не может в полной мере заменить гармонический анализ тока в рельсовых цепях и оценить его распределение по частоте с шагом 1Гц на протяжении всей длительности записи.

На основе изучения описанных выше методов нами было разработано программное обеспечение RailAmp, предназначенное для обработки и анализа гармонических составляющих рельсовых токов.

Для использования в программном обеспечении нами был выбран метод STFT спектрограмм (Short-Time Fourier Transform), поскольку он позволяет извлечь информацию о частоте как о функции времени прямо из интересующего сигнала. Результаты STFT преобразования обычно отображаются в виде спектрограмм или графиков интенсивности. Преобразование STFT позволяет вычислять множествен-

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

ное преобразование Фурье на сигналах временной области с наложением или без него и определяется по формуле:

$$SP[m\Delta M, n] = \left| \sum_{i=0} s[i] \gamma[i - m\Delta M] e^{-j2\pi ni/N} \right|^2$$

где N – число частотных бинов;

ΔM – интервал выборки;

$s[i]$ – функция сигнала;

$\gamma[i]$ – взвешенная сумма частотно-модулированной функции со сдвигом во времени.

Преобразование STFT простое и быстрое, тем не менее, оно подвержено влиянию оконного эффекта, для компенсации которого может быть использован программный сдвиг по времени.

На рис.2 представлена процедура вычисления STFT и построения соответствующей спектрограммы. Сначала вычисляется STFT от $s[i]$ при помощи скользящего окна, которое делит сигнал на несколько блоков данных. Выделяется N точек для быстрого преобразования Фурье блока данных, чтобы получить частоты, содержащиеся в каждом блоке. STFT центрирует первое скользящее окно на первом отсчете сигнала $s[i]$ и расширяет начало сигнала путем добавления нулей. Затем скользящее окно перемещается на временной шаг к следующему блоку данных.

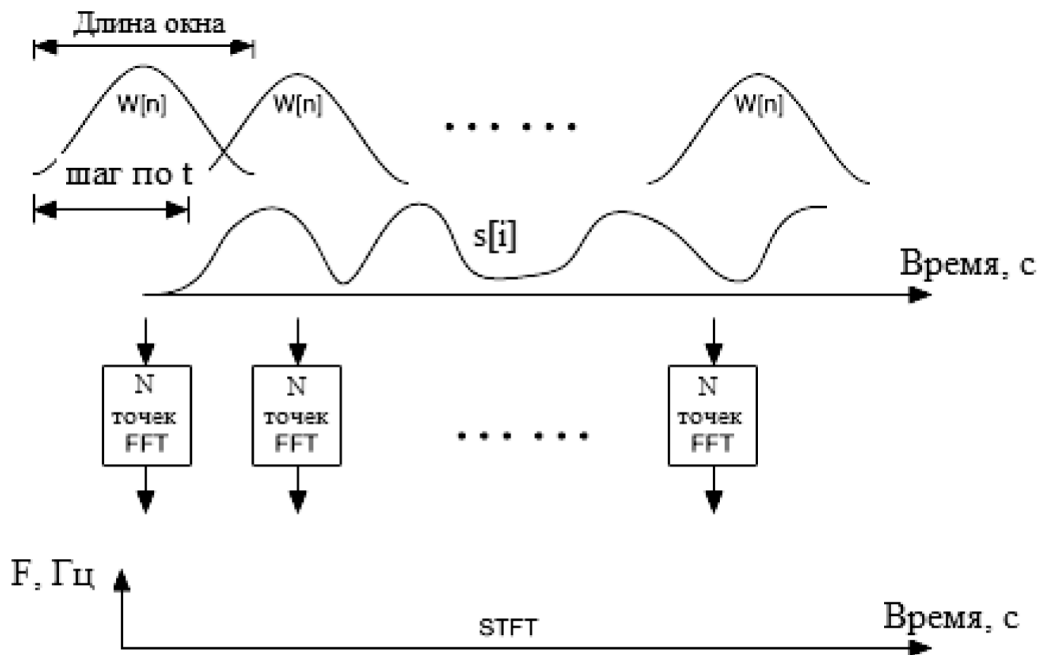


Рис.2. Процедура вычисления STFT

С помощью графического языка программирования LabView [5] для решения поставленной задачи было разработано специализированное программное обеспечение RailAmp. Входными параметрами программного обеспечения RailAmp являются:

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

- исходный сигнал, записанный во внешний файл данных при помощи АЦП LCARD E14-440;

- временной интервал обработки;
- тип оконной обработки (прямоугольное окно, Ханна, Хамминга и др.);
- режим перекрытия окон при обработке (0, 25, 30, 50%).

В процессе работы программное обеспечение рассчитывает и определяет следующие выходные параметры:

- действующее значение тока в заданных частотных полосах;
- среднеквадратичное значение тока;
- амплитуда, максимальный и минимальный уровни тока;
- основная частота токового сигнала;
- постоянная составляющая токового сигнала;
- коэффициент нелинейных искажений;
- коэффициент гармонических искажений.

Интерфейс разработанного программного обеспечения представлен на рис. 3. Основную часть интерфейса занимает спектрограмма интенсивности, которая является результатом STFT преобразования входного сигнала, внешний вид которого представлен на графическом индикаторе (рис.3). Спектрограмма представляет собой двумерный массив данных, где строки – это частоты с шагом 1Гц, а столбцы – временные отрезки заданной длительности. Справа от спектрограммы размещен результат разложения в частотный спектр входного сигнала.

Экспериментальные исследования

Нами были проведены исследования по определению уровня мешающего влияния при работе электрооборудования головного вагона двухсистемного электропоезда для межрегионального сообщения ЕКр1 на рельсовые цепи, путевые устройства сигнализации на участках железной дороги между ст. Люботин и ст. Огульцы и между ст. Огульцы и ст. Ковяги. Первый участок электрифицирован постоянным током с напряжением питающей сети 3 кВ. На рис. 3 показаны осциллограмма тягового тока, а также его спектрограмма и спектральные составляющие. Обработка проводилась на временных интервалах 300 мс с применением окна Ханнинга и 0% -перекрытием. На рис. 4 представлены результаты исследования постоянного тока рельсовой цепи в виде гистограммы распределения тока по полосам частот. На результирующей гистограмме синим цветом показаны нормы, указанные в нормативных документах, а красным – рассчитанные программным обеспечением по реальным входным данным.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

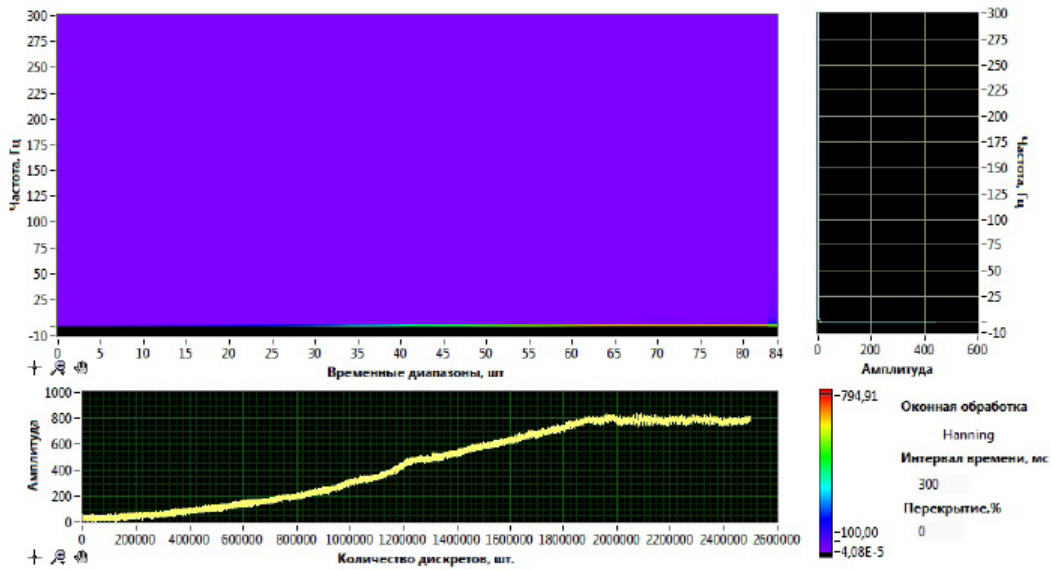


Рис. 3. Интерфейс программного обеспечения при исследовании постоянного тока

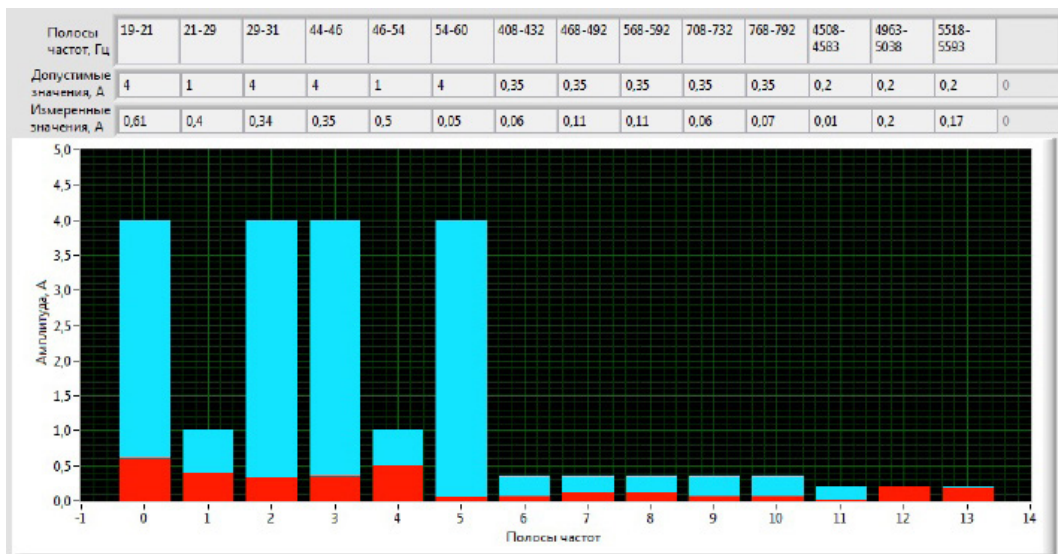
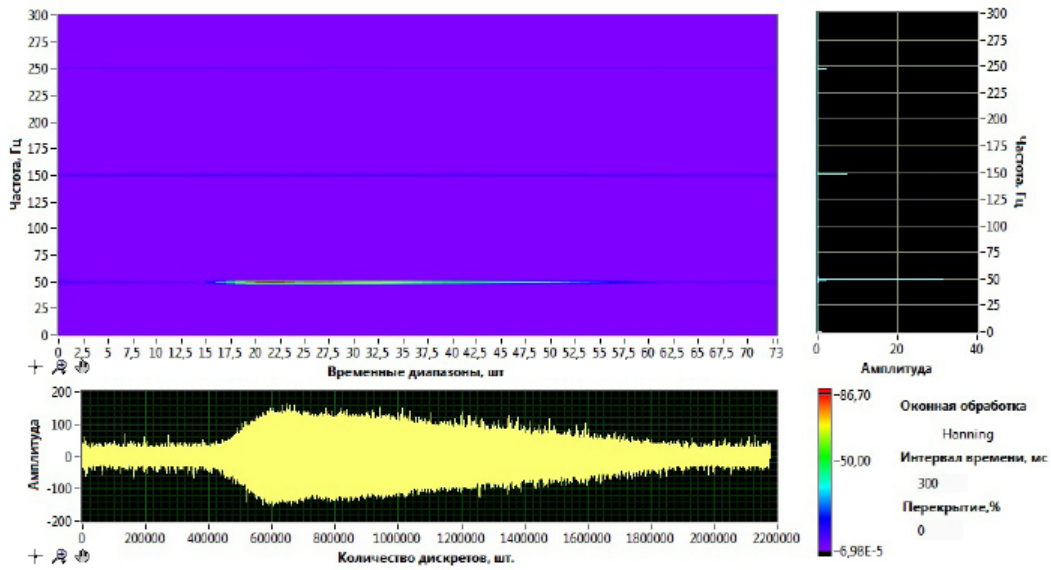


Рис. 4. Результаты исследования гармонических составляющих в постоянном токе питающей сети 3кВ согласно ДСТУ 4049-2001

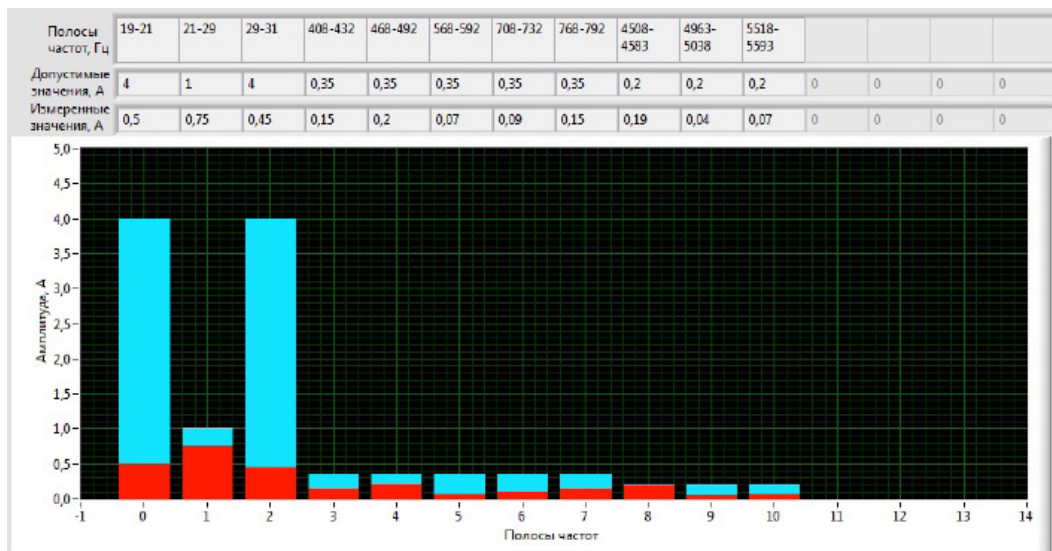
Сигнал со второго участка, электрифицированного переменным током с напряжением питающей сети 25 кВ и частотой 50 Гц, снимался в режиме торможения электропоезда. На рис. 5 показаны осциллограмма тягового тока, а также его спектрограмма и спектральные составляющие. Обработка проводилась аналогичному постоянному току.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД



**Рис. 5. Інтерфейс програмного забезпечення при дослідженні
перемінного току**

Исследование показало присутствие гармонических составляющих кратных 50 Гц, с амплитудой в 3-5 раз меньше основной гармоник. Результат исследования гармонических составляющих с помощью разработанного программного обеспечения представлен на рис. 6.



**Рис. 6. Результати дослідження гармонічних складових в перемінному
току живлячої мережі 25кВ згідно ДСТУ 4049-2001**

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Выводы

Разработано программное обеспечение для обработки и спектрального анализа гармонических составляющих рельсовых токов в системе электроподвижного состава. В процессе работы ПО используется алгоритм STFT спектрограмм, который позволяет проводить измерение и анализ гармонических составляющих в полосе частот 19-5593 Гц. Данное программное обеспечение было использовано при экспериментальных исследованиях электрооборудования головного вагона двухсистемного электропоезда для межрегионального сообщения ЕКр1 и прошло апробацию на перегонах с постоянным и переменным рельсовым током.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вагони пасажирські магістральні локомотивної тяги. Вимоги безпеки: ДСТУ 4049-2001. – [Чинний від 2001-08-29]. – К.: Дежстандарт України 2001. – 13 с. (Національний стандарт України).
2. Joint Time Frequency and Order Analysis Tool for DIAdem. [Интернет ресурс]. – Режим доступу. - <http://www.ni.com/white-paper/3549/en>.
3. STFT Spectrogram (Advanced Signal Processing Toolkit). [Интернет ресурс]. – Режим доступу. - http://zone.ni.com/reference/en-XX/help/372656A-01/lvasptconcepts/aspt_stft_spectrogram.
4. Щуров Н.И. Вейвлет-преобразование как метод спектрального анализа тока тяговой сети в системе электрического транспорта /Н.И. Щуров, В.Б. Филипп // Сборник научных трудов НГТУ. – 2006. - № 3(45) с. 79-84.
5. Блюм П. LabView стиль программирования. [Пер. с англ. Под ред. Михеева П.] – М.: ДМК Пресс, 2008 – 400 с. Библиогр. в подрядк. прим. - ISBN 978_5_94074_444_3.