

Задача является актуальной ещё и в связи с постепенным дрейфом магнитных полюсов Земли. Прогноз говорит о том, что уже через три-четыре десятка лет магнитный полюс, который в настоящее время со средней скоростью 40 км/год проходит район северного географического полюса, достигнет побережья Сибири, и все геомагнитные эффекты, ныне характерные для высоких широт, станут проявляться практически на всей территории страны.

Список литературы

- 1 Сахаров, Я. А. Сбои в системах автоматики Октябрьской железной дороги во время геомагнитных возмущений / Я. А. Сахаров, Н. В. Кудряшова, В. А. Билин // Физика плазмы в Солнечной системе: 15-я ежегодная конф. 10–14 февраля 2020. – М.: ИКИ, 2020. – С. 317.
- 2 Белаховский, В. Б. Рост геомагнитно-индуцированных токов в линиях электропередач во время магнитной бури 25–26 августа 2018 года / В. Б. Белаховский, В. А. Пилипенко, Я. А. Сахаров // Physics of Auroral Phenomena – 2021. – Т. 43. – № 1. – С. 15–19.
- 3 Сахаров, Я. А. Геомагнитные возмущения как причина сбоев в работе систем железнодорожной автоматики / Я. А. Сахаров, Н. В. Кудряшова, А. Н. Данилин // Логистическая интеграция российских регионов: Институциональные инновации: сб. материалов науч.-практ. конф. – Казань: Бриг, 2012. – С. 122–127.
- 4 Effects of strong geomagnetic storms on Northern railways in Russia / E. A. Eroshenko [et al.] // Adv. Space Res. – 2010. – Vol. 46, is. 9. – P. 1102–1110.

УДК 656.259.12.004

АНАЛИЗ ИСКАЖЕНИЙ АМПЛИТУДНО-МАНИПУЛИРОВАННОГО СИГНАЛА ТОНАЛЬНЫХ РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЕЙ

Д. В. КОМНАТНЫЙ

Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого, г. Гомель

Современные тональные рельсовые цепи (ТРЦ) могут рассматриваться как разновидность радиотехнических систем. Поэтому при проектировании и эксплуатации ТРЦ требуется обращать внимание на искажения сигнала при передаче по рельсовой цепи. Это объясняется тем, что прием амплитудно-модулированных и амплитудно-манипулированных сигналов основан на сравнении огибающей сигнала с пороговым значением. Чем более искажается огибающая, тем затруднительнее работа детектора. Так как ТРЦ являются одним из главных средств обеспечения безопасности движения поездов, то необходимо создавать наилучшие условия передачи сигнала в них с тем, чтобы его прием был как можно более верным.

Несмотря на активную дискуссию о перспективах рельсовых цепей на страницах журнала «Автоматика, связь, информатика», задачи их расчета и эксплуатации остаются актуальными, в частности на Белорусской железной дороге.

В ТРЦ передаются амплитудно-манипулированные сигналы типа «передача точек». Спектр этого сигнала дискретный, бесконечный. На практике возможна передача несущей частоты и нескольких боковых. Как правило, передаются до семи боковых частот, поэтому сигнал воспроизводится не точно уже при подаче в рельсовую цепь.

На электрифицированных железных дорогах рельсовая цепь используется как обратный провод тягового тока. По данным ВНИИЖТа частоты ТРЦ3 попадают в диапазон частотного спектра тягового тока. Кроме того, спектры сигналов соседних ТРЦ существенно перекрываются. Поэтому в аппаратуре ТРЦ3 передаются и принимаются только несущая частота и две боковых. Следовательно, сигналы оказываются значительно искаженными, как показано в работах ДНУЖТа.

Несущие частоты ТРЦ4 значительно выше, чем 39-я гармоника тягового тока. Полосы частот сигналов соседних ТРЦ4 пересекаются незначительно. Поэтому допустимо внести изменения в конструкцию аппаратуры ТРЦ4, а именно передавать в рельсовую линию до семи боковых частот. Таким способом искажения сигнала могут быть снижены.

При расчете регулировочных таблиц тональных рельсовых цепей следует принимать во внимание не только искажения отдельных гармонических составляющих и сигнала в целом. Необходимо также учитывать, что в общем случае, при некротных частотах несущей и модулирующего сигнала,

амплитудно-манипулированный сигнал является непериодическим. Поэтому для него не определены как действующее и средневыпрямленное значения, так и понятие полной мощности. Об этом говорится и в статье Бушуева С. В. и Попова А. Н., опубликованной в журнале «Транспорт Урала», применительно к измерениям параметров сигнала ТРЦ в процессе эксплуатации.

Таким образом, необходимо определять огибающую сигнала на промежутке времени, равном периоду модулирующего колебания, и контролировать ее значения в нормальном режиме (больше порогового) и в шунтовом и контрольном режимах (меньше порогового).

Для определения огибающей амплитудно-манипулированного сигнала предложены метод рядов Фурье и метод интеграла Дюамеля.

Применение метода интеграла Дюамеля описано в работе Д. С. Маркова, В. Б. Соколова и М. Б. Соколова. К сожалению, применение метода интеграла Дюамеля наталкивается на следующие трудности. Во-первых, сигнал ТРЦ достаточно сложен сам по себе, а при распространении по рельсовой линии заметно искажается. Во-вторых, имеется зависимость условий передачи составляющих сигнала от их частоты. В-третьих, рельсовая цепь состоит из большого количества аппаратуры, которая моделируется цепями с сосредоточенными и распределенными параметрами. Поэтому получить простое выражение передаточной функции, применяемой в расчетах по этому методу, представляется затруднительным.

Тогда для определения огибающей сигнала ТРЦ целесообразно применять метод рядов Фурье. Метод заключается в анализе прохождения частотных составляющих сигнала ТРЦ по эквивалентному четырехполюснику ТРЦ с последующим переходом во временную область. Гармонический синтез сигнала ТРЦ на входе ее приемника визуализируется с помощью методов компьютерной математики и компьютерной графики. Определение А-параметров эквивалентного четырехполюсника ТРЦ и А-параметров ее аппаратуры достаточно хорошо описано, в частности в цикле работ, выполненных в ДНУЖТе под руководством д-ра физ.-мат. наук В. И. Гаврилюка.

По результатам выполненного анализа свойств амплитудно-манипулированного сигнала можно сделать вывод. Снижение погрешности работы приемника ТРЦ может быть достигнуто использованием несущих частот ТРЦ4 и максимально возможного числа гармонических составляющих сигнала. Параметры сигнала на приемном конце ТРЦ должны задаваться с учетом радиотехнических свойств сигнала, то есть быть корректно определены. Оптимальной трудоемкостью и точностью анализа работы ТРЦ обладает метод рядов Фурье в сочетании с компьютерной визуализацией результирующего сигнала. Следовательно, допустимо рекомендовать эти решения для внедрения в практику работы конструкторских организаций железнодорожного транспорта.

Но практика показывает, что длина ТРЦ4 сокращается по сравнению с ТРЦ3 при одинаковом напряжении на входе цепи. Тогда потребуется повышение напряжения на выходе передатчика ТРЦ4. Представляется, что это ограничение не является критическим. В пользу этого свидетельствует повсеместное применение на железных дорогах Франции высоковольтных импульсных рельсовых цепей.

Также полезным будет указать, что методика анализа рельсовых цепей методом рядов Фурье может быть распространена и на рельсовые цепи, в которых применяется относительная фазовая модуляция и передача на приемный конец рельсовой цепи контрольных кодов. Такие рельсовые цепи применяются в микропроцессорной автоблокировке Ebitrack 400. Спектр сигнала в таких рельсовых цепях имеет более сложную форму, нежели в ТРЦ с амплитудно-манипулированными сигналами. Поэтому расчет и анализ рельсовых цепей потребует существенных изменений методик расчета с учетом спектральных свойств сигнала. Это объясняется необходимостью корректной передачи контрольного кода, поскольку сигнал с искаженным кодом отбраковывается приемником и считается ложным, поступившим из соседней либо смежной ТРЦ. Что, в свою очередь, повлечет за собой ошибочное определение состояния ТРЦ. В частности, потребуется получить передаточную функцию рельсовой цепи в спектральной области. Решение этой задачи возможно методами теории четырехполюсников.

Описанная методика является универсальной и не зависит от вида модуляции, принятой в рассматриваемой ТРЦ. Следовательно, ее применение является оправданным и не ограничивается современным состоянием технических средств автоматики на перегонах. В этом заключается ее существенное достоинство.