



Интервальное регулирование при наличии помех



Юрий КРАВЦОВ
Yuri A. KRAVTSOV

Владимир САФРО
Vladimir M. SAFRO



Андрей ЧЕГУРОВ
Andrey B. CHEGUROV

Кравцов Юрий Александрович – доктор технических наук, профессор Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ).

Сафро Владимир Моисеевич – доцент МИИТ. Чегуров Андрей Борисович – инженер ЗАО «Нейроком».

Эффективность автоматической локомотивной сигнализации при растущих скоростях движения на железных дорогах снижается. Причины фиксируемых при этом искажений кодовых комбинаций могут быть разными, но их появление – серьезный повод для анализа и подготовки адекватных технических решений. Авторы статьи предлагают свой вариант повышения надежности сигнальной системы, опираясь на итоги испытаний дешифраторов двух типов.

Ключевые слова: автоматическая локомотивная сигнализация, помехи, программно-аппаратный комплекс регистрации сигналов, дешифраторы кодовых комбинаций, сравнительные испытания.

С ростом скорости поездов работоспособность автоматической локомотивной сигнализации (АЛСН) числового кода снизилась из-за искажений кодовых комбинаций [1]. Причинами искажений могут быть нестабильность параметров передачи, связанная с приборами рельсовых цепей и локомотива, особенности рельсовых линий как канала передачи сигналов, а также воздействия тягового тока [2]. При значительных искажениях, превышающих допустимые, декодирование комбинаций становится неустойчивым. Неустойчивость проявляется в виде сбоев, вызывающих временное появление на локомотивном светофоре неправильных показаний.

Для подготовки технических решений по уменьшению числа случаев неправильного дешифрования числовых кодовых комбинаций необходимо собрать экспериментальные данные о сбоях в системе АЛСН. С этой целью была разработана методика проведения экспериментальных исследований, создан программно-аппаратный комплекс для регистрации сигналов. Система сбора данных не влияет на функционирование применяемой обычно аппаратуры

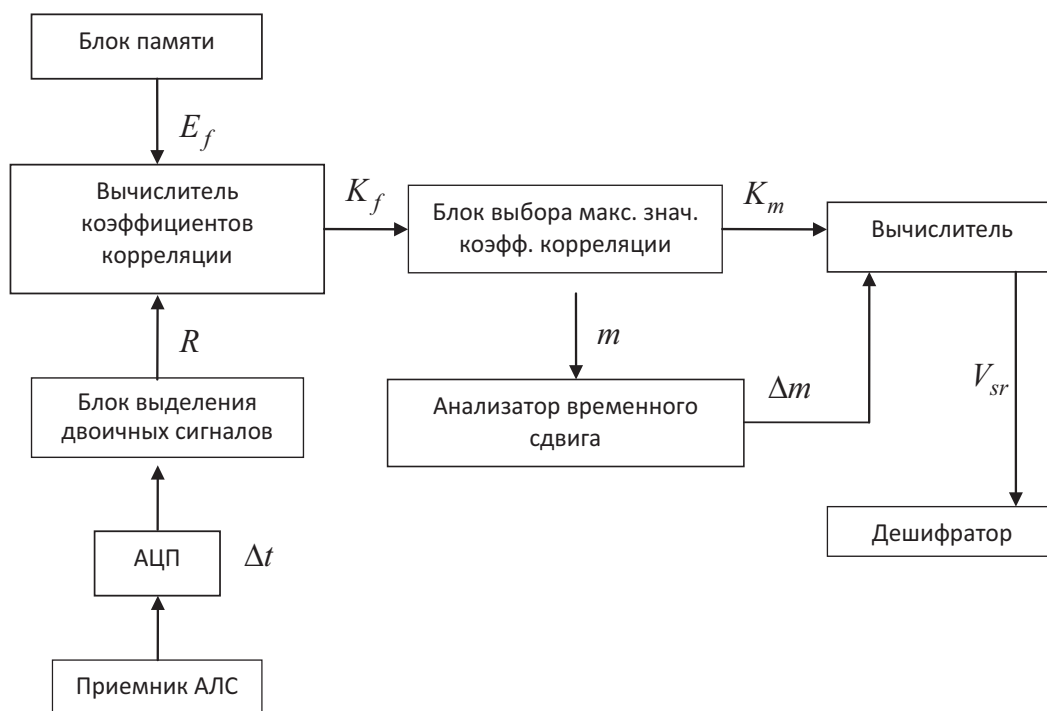


Рис. 1. Структурная схема дешифратора числовых кодовых комбинаций АЛСН.

КЛУБ-У и САУТ-ЦМ. Опытные поездки организуются с грузовыми и пассажирскими поездами на участке обращения электровозов. Во время экспериментальных поездок проводилась регистрация сигналов АЛСН, принимаемых локомотивными катушками при движении электровоза с поездом, а также параметров движения поезда, декодированных сигналов и сбоев в работе локомотивного устройства КЛУБ-У.

По записям сигналов с локомотивных катушек проведены исследования по выявлению и описанию встречающихся искажений числовых кодовых комбинаций [3]. Их общее количество составило 2260, из них 1329 – на станции и 931 – на перегоне. Полученные экспериментальные результаты формируют базу данных искаженных числовых кодовых комбинаций и позволяют обосновать подходы к повышению работоспособности дешифратора АЛСН.

Во время экспериментальных исследований установлено, что искажение числовых кодовых комбинаций происходит при движении электровоза на выезде, когда в рельсах отсутствует тяговый ток. Неоднократные измерения подтвер-

дили, что имеет место остаточная намагниченность рельсов, которая составляет от нескольких единиц до сотен Эрстед. Расчеты уровня ЭДС на входе локомотивного приемника для этих условий показали: амплитуда радиопульса частотой 25 Гц, возбуждаемого в локомотивной катушке при проходе ею магнитного пятна со скоростью порядка 50 км/ч, составляет около 600 мВ, и это, безусловно, может привести к сбою приема кодовой комбинации [4].

Разработано устройство [5] для повышения работоспособности АЛСН при дешифровании искаженных числовых кодовых комбинаций, реализующее корреляционный принцип. Структурная схема дешифратора приведена на рис. 1.

Устройство действует следующим образом. От усилителя УК 25/50 поступает числовая кодовая комбинация автоматической локомотивной сигнализации. Аналого-цифровой преобразователь, считывая состояние фронтового контакта исполнительного реле на выходе приемника через равные интервалы времени Δt (шаг дискретизации) формирует последовательность чисел, принимающих два возможных значения: –1 (пауза) или





+1 (импульс). Такие числа по аналогии с 0 и 1 будем называть битами.

В системе автоматической локомотивной сигнализации применяется шесть кодовых комбинаций, формируемых двумя датчиками КПТ7 и КПТ5: КПТ7-З, КПТ7-Ж, КПТ7-КЖ, КПТ5-З, КПТ5-Ж, КПТ5-КЖ.

Для кодовой комбинации с периодом повторения, равным T бит, имеется T различных вариантов образцовых двоичных сигналов. Каждый вариант представляет собой последовательность, циклически сдвинутую относительно начала отсчёта на f бит. Величина сдвига f образцового двоичного сигнала кодовой комбинации может принимать любые значения от 0 до $T-1$.

Непрерывная последовательность бит с выхода аналого-цифрового преобразователя поступает в блок выделения двоичных сигналов. Периодически, через 400 мс (40 бит), выделяются двоичные сигналы, равные по длительности одному периоду повторения кодовых комбинаций жёлтого огня «З» или желтого огня «Ж» или двум периодам повторения кодовых комбинаций жёлтого с красным огня «КЖ» и составляют 190 бит (для датчика КПТ7) или 160 бит (для датчика КПТ5).

Выделенные двоичные сигналы и образцовые двоичные сигналы с временным сдвигом относительно начала отсчёта поступают в вычислитель коэффициентов корреляции.

Коэффициент корреляции K_f выделенного двоичного сигнала и образцового двоичного сигнала с временным сдвигом f относительно начала отсчёта рассчитывается по формуле

$$K_f = \frac{\sum_{i=0}^N E_f[i] \cdot R[i]}{N},$$

где N — длительность выделенного и образцового двоичного сигнала в битах; E_f — образцовый сигнал с временным сдвигом f относительно начала отсчёта; $R[i]$ — значение i -го бита (–1 или +1) выделенного двоичного сигнала (номера бита i лежат в диапазоне от 0 до $N-1$).

Максимальное значение коэффициента корреляции K_m имеет место при

некотором временном сдвиге m образцового двоичного сигнала относительно начала отсчёта. Действия, осуществляемые при выборе значения K_m коэффициента корреляции, описываются формулой $K_m = \max_{f=0}^{T-1} (K_f)$.

Временной сдвиг m , при котором коэффициент корреляции K_m максимален, поступает в анализатор временного сдвига выделенных двоичных сигналов относительно начала отсчёта.

При неискаженной передаче после выделения двоичного сигнала с временным сдвигом m относительно начала отсчёта следующий такой же сигнал, который из блока выделения двоичного сигнала поступает в вычислитель коэффициентов корреляции через 400 мс (40 бит), будет иметь максимальное значение K_m при временном сдвиге относительно начала отсчёта: $m_{ogid}[i] = (m [i-1] + 40) \bmod T$.

Анализатор временного сдвига выделенных двоичных сигналов относительно начала отсчёта на основании реального значения m временного сдвига очередного i -го выделенного двоичного сигнала, поступившего из вычислителя коэффициентов корреляции, с учетом формулы (1) рассчитывает абсолютную погрешность временного сдвига:

$$\begin{aligned} \Delta m &= m - m_{ogid}; \\ \text{если } \Delta m > \frac{T}{2}, \text{ то } \Delta m &= T - \Delta m; \\ \text{если } \Delta m < -\frac{T}{2}, \text{ то } \Delta m &= T + \Delta m. \end{aligned} \quad (1)$$

На основе параметра Δm анализатор временного сдвига вычисляет весовой коэффициент Q , отражающий точность расположения текущего выделенного двоичного сигнала относительно предыдущего и принимающий числовые значения от 0 до 1, нелинейно зависящие от величины расстройки Δm . Весовой коэффициент Q рассчитывается в соответствии с условием:

$$\begin{aligned} \text{если } |\Delta m| > \frac{T}{8}, \text{ то } Q &= 0, \\ \text{иначе } Q &= 1 - \frac{8 * |\Delta m|}{T}. \end{aligned}$$

Характеристика V выделенного двоичного сигнала, позволяющая считать его кодовой комбинацией, учитывает максимальную степень совпадения с кодовой комбинацией (максимальное значение коэффициента корреляции K_m) и оценку точности повторения временного сдвига относительно начала отсчёта выделенных двоичных сигналов — Q , которая является связующим звеном между последовательностью выделенных двоичных сигналов.

Характеристика V рассчитывается по формуле: $V = Q[i] \times Km[i]$.

Через каждые 400 мс на выходе вычислительного блока формируется шесть средних значений $V_{sr}[i]$ ($i=0$ — кодовая комбинация отсутствует; $i=1, \dots, 6$ — номер кодовой комбинации) за последние S_{ots} отсчётов выделенных двоичных сигналов. Значения $V_{sr}[i]$ передаются в дешифратор кодовых комбинаций (при этом следует отметить, что $V_{sr}[0]=0$). Принятой считается та комбинация, для которой $V_{sr}[i]$ имеет максимальное значение.

Эффективность описанного устройства дешифрования числовых кодовых комбинаций автоматической локомотивной сигнализации проверена во время лабораторных испытаний.

Сравнительные испытания проведены по трем типам дешифраторов одновременно. Образец корреляционного дешифратора ДКС-К через блок согласования, а дешифратор ДКСВ1 напрямую были подключены на выход приемника УК25/50, а дешифратор КЛУБ-У получал числовой кодовый сигнал с отдельной пары локомотивных катушек. Таким образом, при испытаниях все дешифраторы находятся в одинаковых условиях.

С помощью созданных программно-аппаратных средств можно решать задачи двух типов в зависимости от способа формирования полезных сигналов и помех в канале АЛСН.

К первому типу относятся задачи, когда в имитируемую рельсовую цепь подаются записи сигналов с выхода локомотивных катушек, полученные в реальных условиях эксплуатации. Эти вопросы решает программный модуль реальных сигналов и помех.

Ко второму типу относятся задачи программного формирования полезных сигналов, помех, моделирования условий движения по перегону. Испытательный стенд позволяет моделировать следующие ситуации:

- проход границы смежных блок-участков со сменой типа кодового путевого транзиттера (КПТ);
- смену кодовых комбинаций (огней светофора);
- сигналы, соответствующие подаваемым в рельсовую цепь от напольных устройств СЦБ;
- сигналы по наводкам от ЛЭП.

Решение вопросов второго типа обеспечивает программный модуль формирования имитационных сигналов и помех.

Во время рейса часть времени, когда параметры принимаемых кодовых комбинаций соответствуют требованиям нормативно-технической документации, дешифратор АЛСН способен выполнять заданные функции, то есть он находится в работоспособном состоянии.

Часть времени, когда параметры принимаемых кодовых комбинаций в результате внешних воздействий не соответствуют требованиям нормативно-технической документации, дешифратор не способен выполнять заданные функции, то есть он находится в неработоспособном состоянии. Пребывание в нем количественно оценивается критерием потерь.

Задача повышения работоспособности дешифратора сводится к минимизации критерия потерь за время рейса, а степень такого повышения оценивается показателем, представляющим собой отношение критериев потерь, полученных при работе АЛСН с эксплуатируемым дешифратором ДКСВ1 и образцом корреляционного дешифратора за одно и то же время в одинаковых условиях. Критерий эффективности технического решения, от которого зависит повышение работоспособности дешифратора числовых кодовых комбинаций, имеет вид:

$$\mathcal{E}_{np} = \frac{K_{П_ДКСВ1}}{K_{П_ДКСК}}$$





Итоговые результаты сравнительных испытаний дешифраторов числовых кодовых комбинаций автоматической локомотивной сигнализации

Показатели	КЛУБ-У	ДКСВ1	ДКС-К
Количество сбоев	199	132	45
Суммарное время сбоев, с	3637	2026	697
Начислено штрафных баллов	7270	3818	845

где \mathcal{E}_{np} – эффективность технического решения, от которого зависит повышение работоспособности дешифратора числовых кодовых комбинаций;

$K_{п_ДКСВ1}$ – критерий потерь эксплуатируемого дешифратора ДКСВ1 за время испытаний;

$K_{п_ДКСК}$ – критерий потерь образца корреляционного дешифратора ДКСК за время испытаний.

В качестве критерия потерь для оценки работоспособности образца корреляционного дешифратора числовых кодовых комбинаций принято количество разработанных группой специалистов штрафных баллов, начисляемых в случае ошибок при дешифровании кодовых комбинаций во время сравнительных испытаний совместно с эксплуатируемыми устройствами.

В соответствии с данными таблицы 1 эффективность технического решения, касающегося повышения работоспособности АЛСН,

$$\mathcal{E}_{np} = \frac{K_{п_ДКСВ1}}{K_{п_ДКСК}} = \frac{3818}{845} = 4,52.$$

По результатам сравнительных испытаний образец корреляционного дешифратора числовых кодовых комбинаций показал наилучший результат.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антоненко В. С., Кравцов Ю. А., Сафро В. М., Чегуров А. Б. Анализ работоспособности автоматической локомотивной сигнализации числового кода // Известия Петербургского университета путей сообщения / Под ред. В. В. Сапожникова. – СПб., 2011. – Вып. 1 (26).

2. Брылеев А. М., Кравцов Ю. А., Шишляков А. В. Теория, устройство и работа рельсовых цепей. – М.: Транспорт, 1978.

3. Шербина Е. Г., Краснолобов С. И., Галченков Л. А., Чегуров А. Б. Анализ помех в приемном тракте АЛСН при электрической тяге переменного тока // Труды Ростовского государственного университета путей сообщений: Научно-технический журнал / Под ред. В. И. Колесникова. – 2009. – № 1.

4. Абрамов В. М., Чегуров А. Б. Влияние остаточной намагниченности рельсов на устойчивость работы АЛСН // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщений: – 2009. – № 4.

5. Гаврилов Л. Б., Кравцов Ю. А., Чегуров А. Б. Патент 100992, Российская Федерация, МПК В61L25/06. Устройство для обработки сигналов автоматической локомотивной сигнализации. ●

TRAFFIC INTERVAL CONTROLLING IN THE PRESENCE OF INTERFERENCES

Kravtsov, Yuri A. – D.Sc. (Tech), professor of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT).

Safro, Vladimir M. – associate professor of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT).

Cheгурov, Andrey B. – engineer of Neurocom, closed corporation,

Permanently increasing speed of the railway traffic reduces efficiency of automatic locomotive signaling. The causes of code pattern corruption may differ but the emergence there-of represents the reason for a study and engineering of relevant technical decisions. The authors of the article propose their own variant to increase reliability of the signaling system, using the testing results of decoders of two different types.

Key words: automatic locomotive signaling, noise, interference, hardware-software complex of signal recording, decoders of code patterns, comparative tests.

Координаты авторов (contact information): Кравцов Ю. А. – kgs1@mail.ru, Сафро В. М. – safrov@mrambler.ru Чегуров А. Б. – cheгурovi@mail.ru.