

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ КОДОВОГО ТОКА В РЕЛЬСАХ

У даній статті наведено результати розробки автоматизованої мікропроцесорної системи, яка дозволяє контролювати та вимірювати параметри кодового струму автоматичної локомотивної сигналізації в рейкових колах та визначати спектральний склад тягового струму. Система може бути використана на базі вагона-лабораторії або при проведенні вимірювань на перегоні.

В данной статье приведены результаты разработки автоматизированной микропроцессорной системы, которая позволяет контролировать и измерять параметры кодового тока автоматической локомотивной сигнализации в рельсовых цепях и определять спектральный состав тягового тока. Система может быть использована на базе вагона-лаборатории или при проведении измерений на перегоне.

In this paper the results of elaboration of automated microprocessor system are given. This system allows us to control and measured the parameters of code current of automatic locomotive signaling system and to define spectral composition of traction current. It can be used on the basis of car-laboratory or at the measurements on the railway section.

Введение

Безопасность движения поездов определяется достоверностью передачи информации о состоянии лежащих впереди участков железной дороги на локомотив, в том числе, от надежности работы устройств автоматической локомотивной сигнализации (АЛС). В связи с этим параметры кодовых сигналов АЛС подлежат периодическому контролю [1]. Контроль осуществляется как непосредственно электромехаником и связан с выходом на поле, так и с помощью вагона-лаборатории, который оборудован аппаратурой типа «Контроль», предназначенной для измерения кодового тока частотой 25, 50 и 75 Гц, определения его временных параметров, вычисления координаты, скорости движения подвижного состава и контроля изолирующих стыков. Информация записывается на бумажной ленте с последующей обработкой. Существующие методы измерения базируются на физически и морально устаревших аппаратных средствах, не обеспечивающих достаточную точность измерений. К недостаткам используемых в настоящее время методов и средств контроля [2] можно отнести ограниченный набор контролируемых параметров, сложность и субъективизм при оценке результатов измерения.

Постановка задачи и цель работы

Применение современных микропроцессорных систем позволяют устранить отмеченные выше недостатки, а именно, контролировать

большое число необходимых параметров, с обеспечением достаточно высокой точности измерения, проводить их обработку, автоматически контролировать отклонение от допустимых норм и извещать при их выявлении обслуживающий персонал, записывать и сохранять информацию в цифровом виде на магнитных и оптических носителях.

Целью работы является разработка микропроцессорной автоматизированной системы для контроля и измерения параметров кода АЛС.

Математическое описание процессов передачи информации в вагон-лабораторию

Для обеспечения необходимой точности контроля большого числа заданных параметров необходимо проанализировать процессы, протекающие при передаче информации на приемные катушки вагона-лаборатории. С этой целью было разработано математическое описание электромагнитных процессов при взаимодействии тока в рельсах с приемными катушками. Схематическое изображение системы приведено на рис. 1.

Кодовый ток I_p от генератора П проходит по рельсам и взаимодействует с включенными встречно приемными катушками ПК1 и ПК2, расположенными на расстоянии l_0 от первой колесной пары подвижного состава. Наведенная в катушках суммарная ЭДС равна сумме ЭДС в каждой катушке $\dot{E} = \dot{E}_1 + \dot{E}_2$.

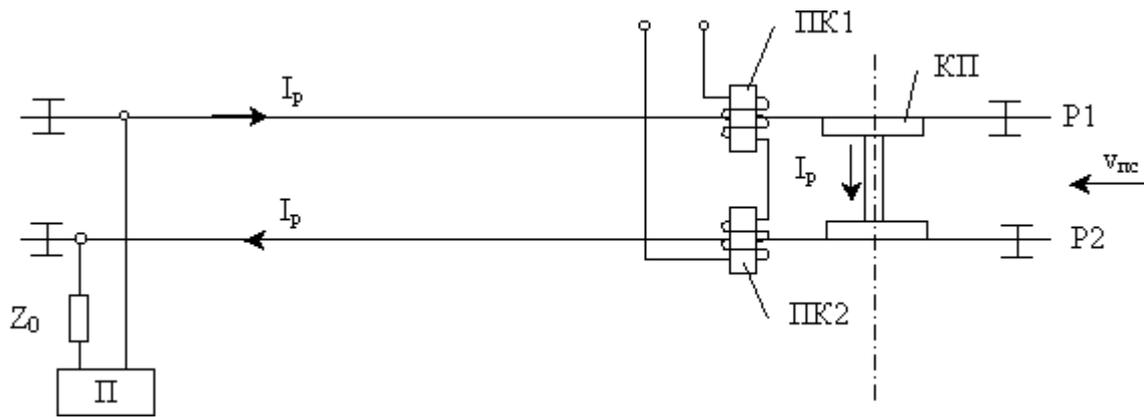


Рис. 1. Схема передачи информации по рельсовой цепи к приемным устройствам подвижного состава

При моделировании электромагнитных процессов заменим рельс эквивалентным круглым проводником бесконечной длины. По нему протекает кодовый ток синусоидальной формы $i = I_m \sin(\omega t + \varphi)$ с выбранным положительным направлением, совпадающим с направлением оси z . Для определения магнитной индукции и магнитного потока, пронизывающего приемные устройства АЛС, воспользуемся векторным потенциалом магнитного поля \vec{A} . Направление этого вектора совпадает с направлением тока в проводнике. Вектор-потенциал имеет следующую связь с магнитной индукцией и магнитным потоком:

$$\vec{B} = \text{rot } \vec{A}, \quad (1)$$

$$\vec{\Phi} = \int_S \vec{B} \, d\vec{S} = \int_S \text{rot } \vec{A} \, d\vec{S} = \oint \vec{A} \, d\vec{l}, \quad (2)$$

где \vec{B} – вектор магнитной индукции; S – площадь поверхности, пересекаемой магнитным потоком; $\vec{\Phi}$ – магнитный поток.

Величина и направление векторного потенциала магнитного поля зависит от тока i , протекающего в проводнике длиной $d\vec{l}$, и по уравнению Пуассона равна [3]

$$\vec{A} = \frac{\mu \mu_0 i d\vec{l}}{4\pi R}, \quad (3)$$

где μ – магнитная проницаемость среды (стали сердечника); μ_0 – магнитная постоянная; R – расстояние от излучающего проводника до точки в пространстве.

В переменном магнитном поле с учетом эффекта запаздывания волны, который проявляется при передаче сигнала на высоких частотах

(например, в случае с тональными рельсовыми цепями), запишем вектор-потенциал в виде

$$\vec{A} = \frac{\mu \mu_0 i \left(t - \frac{R}{v} \right) d\vec{l}}{4\pi R}, \quad (4)$$

где v – скорость распространения волны, м/с.

В векторной форме

$$\dot{\vec{A}} = \frac{\mu \mu_0 I_m e^{j\omega \left(t - \frac{R}{v} \right)} d\vec{l}}{4\pi R}. \quad (5)$$

Для определения вектора магнитной индукции воспользуемся цилиндрической системой координат. Запишем зависимость $\vec{B}(\vec{A})$ в комплексной форме. В общем случае она имеет вид

$$\begin{aligned} \dot{\vec{B}} = \text{rot } \dot{\vec{A}} = \vec{r}^0 \left(\frac{\partial \dot{A}_z}{r \partial \alpha} - \frac{\partial \dot{A}_\alpha}{\partial z} \right) + \\ + \vec{\alpha}^0 \left(\frac{\partial \dot{A}_r}{\partial z} - \frac{\partial \dot{A}_z}{\partial r} \right) + \vec{z}^0 \left(\frac{\partial (\dot{r} A_\alpha)}{\partial r} - \frac{\partial \dot{A}_z}{r \partial \alpha} \right). \end{aligned} \quad (6)$$

Поскольку вектор-потенциал имеет только составляющую \dot{A}_z , а $\frac{\partial R}{\partial r} = \frac{r}{R} = \sin \theta$, то

$$\begin{aligned} \dot{\vec{B}} = -\vec{\alpha}^0 \frac{\partial \dot{A}_z}{\partial r} = -\frac{\partial \dot{A}_z}{\partial R} \cdot \frac{\partial R}{\partial r} = \\ = \frac{\mu \mu_0 I_m d\vec{l} \sin \theta}{4\pi} \left[\frac{e^{j\omega \left(\frac{R}{v} \right)}}{R^2} + \frac{j\omega e^{j\omega \left(\frac{R}{v} \right)}}{Rv} \right], \end{aligned} \quad (7)$$

где r – проекция отрезка R на плоскость z .

Для бесконечно длинного проводника (рельсовой линии) индукция магнитного поля в точке на расстоянии R от излучателя (причем $r = R$, $\sin \theta = 1$)

$$B(t) = \frac{\mu \mu_0 I_m}{2\pi} \times \left[\frac{\sin\left(\omega t - \frac{\omega R}{v}\right)}{R} + \frac{\omega}{v} \cos\left(\omega t - \frac{\omega R}{v}\right) \right]. \quad (8)$$

В соответствии с законом электромагнитной индукции ЭДС, наведенная в приемной катушке АЛС, равна

$$E(t) = -\frac{W_b d \Phi}{dt} = -\frac{\mu \mu_0 I_m d^2}{2\pi} \times \left[\frac{\cos\left(\omega t - \frac{\omega R}{v}\right) \omega}{R} - \frac{\sin\left(\omega t - \frac{\omega R}{v}\right) \omega^2}{v} \right], \quad (9)$$

где W_b – число витков катушки; d – сторона поперечного квадратного сечения сердечника локомотивных катушек.

Ниже представлены результаты моделирования ЭДС в зависимости от расстояния катушки над головкой рельса. А также результаты измеренной ЭДС в катушках локомотивной сигнализации вагона-лаборатории (рис. 2). Относительная погрешность составила $\pm 3,5\%$.

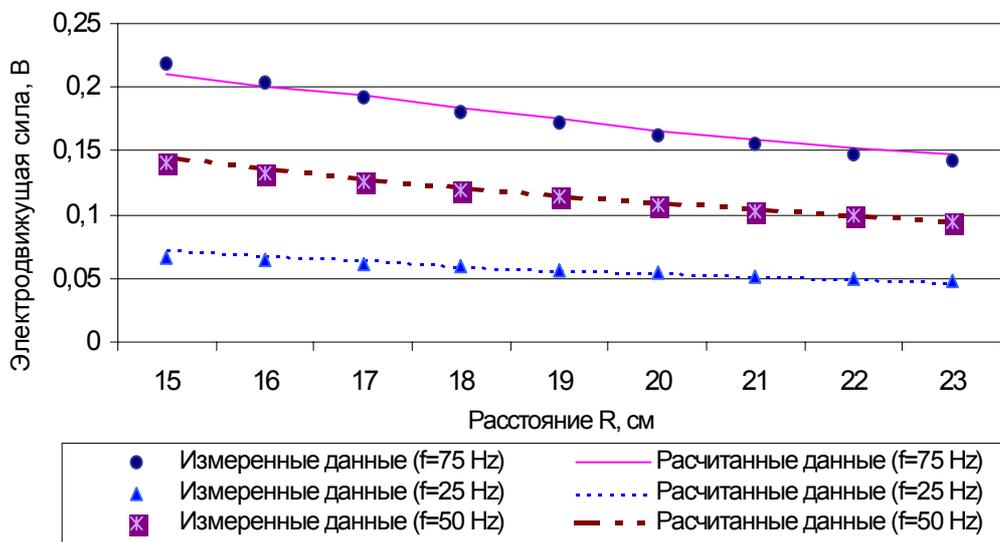


Рис. 2. График зависимости электродвижущей силы на расстоянии R от рельса для различных сигнальных частот

Полученная зависимость между током АЛС и ЭДС может быть использована при определении параметров кодового тока с помощью предлагаемого аппаратно-программного измерительного комплекса, в котором датчиками информации являются локомотивные катушки.

Структурная схема автоматизированной микропроцессорной системы

Структурная схема автоматизированной микропроцессорной системы приведена на рис. 3. Система осуществляет цифровую обработку сигнала и содержит следующие основные узлы: блок согласования, аналого-цифровой преобразователь (АЦП), мультиплексоры, ге-

нератор тактовых импульсов, программируемый таймер, регистры данных и управления.

Для оцифровки входного аналогового сигнала используется десятиразрядный АЦП последовательного приближения типа К1113ПВ1 [4]. Максимальная частота дискретизации данного АЦП составляет 40 кГц, а дифференциальная погрешность – не более 0,1 %, что вполне достаточно для проведения спектрального анализа тока, протекающего в рельсах. Для задания частоты дискретизации входного сигнала используется программируемый таймер типа К580ВИ53. Интервал дискретизации можно менять в диапазоне от 25 мкс до 70 мин.

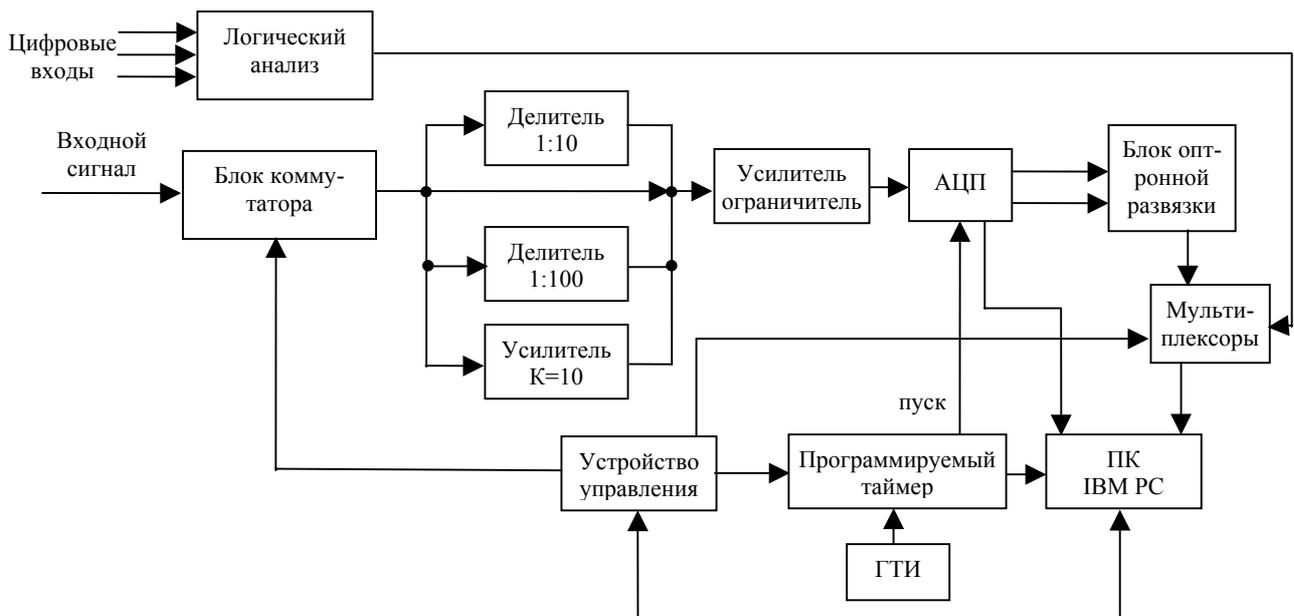


Рис. 3. Структурная схема аппаратно-программного комплекса для анализа параметров кодового тока в рельсах

Устройство управления предназначено для задания режимов работы программируемого таймера, мультиплексоров, а также блока коммутации. Блок коммутации предназначен для выбора диапазона напряжений входного сигнала. Он состоит из набора малогабаритных реле, позволяющих подавать сигнал либо прямо на усилитель-ограничитель, либо через делитель (1:10 и 1:100). Это позволяет увеличить допустимый входной диапазон напряжения до 500 В. Таким образом, данное устройство может быть использовано для записи сигнала не только с приемных катушек АЛС, а и с других датчиков, установленных не на локомотиве, а подключенных к рельсовой цепи, фидеру обратного тягового тока (для амплитудного и спектрального анализа помех, протекающих в рельсовых цепях), что расширяет область применения данного устройства. Также входной сигнал может быть усилен с помощью операционного усилителя в 10 раз, что необходимо для записи сигналов с катушек автоматической локомотивной сигнализации в диапазоне от 0 до 500 мВ с шагом 0,5 мВ.

Блок оптронной развязки необходим для повышения помехозащищенности и надежности работы измерительной системы. Он обеспечивает гальваническую развязку между аналоговой и цифровой частями. Мощные импульсные помехи, возникающие в РЦ, могут привести к сбою в работе компьютера, поскольку ПК не-

посредственно связан с цифровой частью измерительного комплекса. После исчезновения помехи устройство начнет работать в нормальном режиме, а возникшая помеха устраняется программно.

Алгоритм функционирования

Перед началом обработки сигнала в программируемый таймер записывается частота дискретизации входного сигнала. Программируемый таймер выдает сигнал «пуск преобразования сигнала», который вырабатывается с заданным интервалом. По окончании преобразования АЦП выдает сигнал готовности данных, что вызывает аппаратное прерывание LPT порта компьютера. Подпрограмма обработки прерывания осуществляет чтение данных, поступающих из АЦП в буфер оперативного запоминающего устройства (ОЗУ) компьютера. Алгоритм обработки сигнала на аппаратном уровне представлен на рис. 4, а. Алгоритм цифровой обработки сигнала представлен на рис. 4, б. Компенсация дрейфа входного сигнала позволяет избавиться от погрешности, вносимой блоком согласования аппаратной части, и исключает влияние напряжения смещения входного каскада измерительного комплекса (операционных усилителей и АЦП).



Рис. 4. Алгоритмы функционирования:
a – обработки сигнала на аппаратном уровне; *б* – цифровой обработки сигнала измерительным комплексом

Усреднение сигнала используется при анализе гармонических сигналов и вычисляет спектр сигнала не по одной выборке, а по нескольким. В случае, если необходимо исследовать импульсные помехи, блок усреднения программно исключается.

Для цифровой обработки сигнала в состав программного обеспечения включены процедуры, позволяющие реализовать алгоритмы цифровой фильтрации. Здесь реализован частотный

способ фильтрации на базе быстрого преобразования Фурье. Цифровая фильтрация имеет следующие преимущества перед аналоговыми фильтрами: высокая стабильность частоты дискретизации (это свойство реализовано на аппаратном уровне за счет применения кварцевого генератора), простота перестройки частотной характеристики, возможность реализации сразу нескольких типов фильтров [4].

Масштабирование позволяет перевести цифровой код в значения реального сигнала контролируемого параметра, что необходимо для проверки правильности преобразования сигнала и для подготовки сигнала к анализу.

Для обработки записанного сигнала возможно применение подпрограмм линейной или сплайновой аппроксимации для получения промежуточных результатов между выборками. Линейная аппроксимация обладает меньшей точностью, зато позволяет обрабатывать большие массивы данных со значительной скоростью и может быть использована для предварительной оценки результатов измерений и при анализе данных без высоких требований к точности. Высокоточные данные могут быть получены с помощью сплайновой аппроксимации, но она требует больших вычислительных возможностей.

Аппаратно-программный комплекс обеспечивает выполнение следующих функций при анализе измеренных данных: цифровое преобразование сигнала и ввод его в буфер с возможностью запоминания до 10 миллионов выборок; сохранение данных на жестком диске; создание базы записываемых и рассчитываемых данных; конвертирование их в Word, Excel, Matlab, Mathcad или создание текстовых файлов; вычисление спектральной характеристики кодового и тягового токов; определение средних значений амплитуд тока в любой точке исследуемого участка; вероятностная и статистическая обработка результатов измерений; фильтрация тягового тока с помощью специальных программ; определение асимметрии кодового и тягового токов в рельсах; вывод записанного сигнала и рассчитанных данных на монитор или принтер; проверка соответствия параметров кодового тока требованиям; выдача рекомендаций по поводу отклонений параметров токов от норм и их устранению; определение параметров РЦ (длины, сопротивлений и др.).

Результаты измерений

Данный измерительный комплекс позволяет записывать сигнал с выхода фильтра, как этого требует Инструкция [1]. Сигнал с катушек АЛС представляет собой сумму кодовых сигналов АЛС и тягового тока со всеми его гармоническими составляющими и импульсными помехами, возникающими во время работы локомотива.

На рис. 5 представлен кодовый сигнал типа «З», записанный с локомотивных катушек тепловоза, движущегося по железнодорожному участку с электротягой постоянного тока в районе тяговой подстанции.

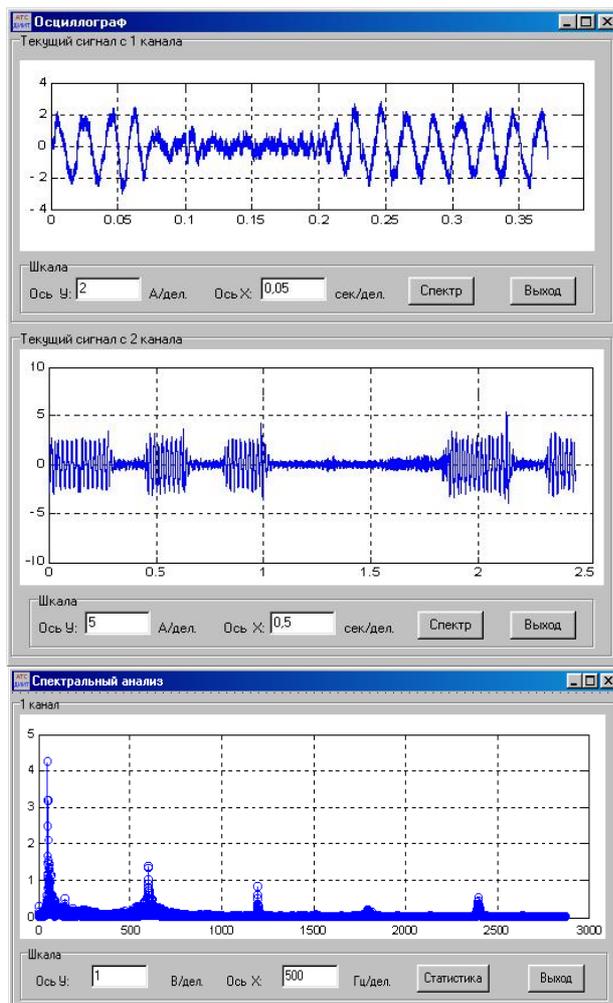


Рис. 5. Результаты измерений: форма сигнала, записанного с локомотивных катушек, в режиме осциллографа и его спектральный состав

Отклонения в параметрах кодов обнаружены не были. Зато с помощью спектрального

анализа тока в кодовой паузе были выявлены помехи частотой 600, 1200, 1800 и 2400 Гц в обратном тяговом токе. Причиной возникновения помех данной частоты является работа двенадцатипульсового преобразователя, установленного на тяговой подстанции. Следовательно, данный аппаратно-программный комплекс может не только измерять параметры кодов в рельсовых цепях, а и сигнализировать о неправильной работе фильтров тяговой подстанции (в данном случае). Помехи данной частоты на работу рельсовых цепей влияния не оказывают.

Выводы

Разработана автоматизированная микропроцессорная система, позволяющая контролировать и измерять параметры токов в рельсовых цепях, проводить анализ электромагнитной обстановки на данном железнодорожном участке, а также определять спектр помех, протекающих в рельсовой цепи.

Измерения могут быть проведены как на базе действующего вагона-лаборатории, путем записи сигнала с приемных катушек, так и на перегоне при подключении аппаратуры к рельсовой цепи или фидеру обратного тягового тока (для амплитудного и спектрального анализа помех, протекающих в рельсовых цепях), что расширяет область его применения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Инструкция з технічного обслуговування пристроїв сигналізації, централізації та блокування (СЦБ): ЦШЕОТ/0012: Затв. Гол. упр. зв'язку, енергетики та обчислювальної техніки М-ва транспорту України 05.10.1998. – К., 1998. – 72 с.
2. Воронин В. А., Широков В. С. Об измерениях в рельсовых цепях тональной частоты // Автоматика, телемеханика, информатика. – 1999. – № 8. – С. 26–28.
3. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. – М.: Высшая школа, 1962. – 792 с.
4. Федорков Б. Г., Телец В. А. Микросхемы ЦАП и АЦП: функционирование параметры, применение. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 320 с.
5. Олсон Г., Пиани Г. Цифровые системы автоматизации и управления. С Пб.: Невский Диалект, 2001. – 557 с.

Поступила в редколлегию 25.01.04.