

А. В. АНДРЕЕВ, В. В. БЕЗРУКОВ, В. И. ГАВРИЛЮК, В. Я. КИЗЯКОВ (ДИИТ)

## КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ ЛИНИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ И СВЯЗИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ШУМОПОДОБНОГО СИГНАЛА

У статті розглянуто можливість контролю та вимірювання параметрів ліній залізничної автоматики та зв'язку на основі методу ідентифікації, наведено математичне обґрунтування методу спектрального аналізу, розглянуто методи формування шумоподібного сигналу та можлива структура пристрою контролю та діагностування.

В статье рассмотрена возможность контроля и измерения параметров линий железнодорожной автоматики и связи на основе метода идентификации, приведено математическое обоснование метода спектрального анализа, рассмотрены методы формирования шумоподобного сигнала и возможная структура устройства контроля и диагностирования.

The article considers a possibility of controlling and measuring the parameters of railway automatics and communication lines on the basis of an identification method, provides a mathematical substantiation of the spectral analysis method, investigates the methods of noise-like signal generation and a possible structure of the device for control and diagnostics.

### Введение

Железнодорожный транспортный комплекс представляет собой сложную территориально рассредоточенную систему с большим количеством технологических подразделений и технических систем управления процессом перевозок, организованных по принципу централизации диспетчерских служб. Надежная и эффективная работа железнодорожного транспорта во многом зависит от достоверности и своевременности передачи информации, которая на физическом уровне определяется качеством линий передачи. Для выявления отклонений параметров от нормативных линии периодически осматривают и контролируют основные параметры [1; 2]. Искажения при передаче гармонических сигналов в проводных линиях автоматики и связи характеризуют такими параметрами: собственное или рабочее затухание, относительные фазовые сдвиги, собственные (характеристические) и рабочие фазовые коэффициенты, абсолютное и относительное групповое время прохождения. Условия передачи многочастотных сигналов оценивают амплитудно-частотной и фазочастотной характеристиками [2].

Для контроля параметров линий связи цифровых телефонных станций типа SI-2000 на железных дорогах Украины применяют систему, которая позволяет электромеханику производить измерения соединительных линий (абонентских и между узлами телефонной станции) как в автоматическом, так и в ручном режимах. При этом контролируются напряжения пере-

менного и постоянного тока, сопротивление изоляции, емкость между проводами и между проводами и землей.

Контроль линий связи между узлами осуществляется следующим образом. В ответ на запрос пользователя на проведение контроля измеряемый узел включает автоответчик, который передает контрольную частоту в сторону управляющего узла. В результате анализа ответа получают информацию о контролируемой линии [3].

Установка «Кросс-М» [4], применяемая для контроля линий связи, позволяет измерять напряжения: постоянного и переменного токов в диапазоне от 0,03 до 300 В при частотах от 20 до 200 Гц, токов в линии (тока вызова и тока шлейфа), сопротивления и емкости линии, сопротивления изоляции (в диапазоне от 1 до 500 МОм), уровня сигнала (в диапазоне от 0 до 30 дБ), псофометрического шума (от 1 до 100 мВ), асимметрии линии и др. Установка состоит из двух блоков – измерительного и коммутационного, которые подключаются к контролируемым линиям и персональному компьютеру.

Недостатком существующих устройств для контроля параметров линий железнодорожной автоматики и связи является недостаточное количество измеряемых параметров в автоматическом режиме, возможность проведения измерений только в свободных линиях (т. е. в технологические окна), что затрудняет своевременное выявление деградации параметров линий связи ниже допустимого уровня.

Рассмотренные недостатки можно устрани-

нить при применении для контроля параметров линий шумоподобного сигнала [7–10]. Метод позволяет проводить контроль и диагностирование линий непрерывно в процессе их работы с измерением амплитудно-частотной и фазо-частотной характеристик.

### Цель и задачи исследований

Целью настоящей работы является разработка автоматического устройства для контроля и диагностирования линий связи и автоматики с применением шумоподобного сигнала.

Для достижения поставленной цели рассмотрена возможность контроля и измерения параметров линии на основе метода идентификации, приведено математическое обоснование метода спектрального анализа, рассмотрены методы формирования шумоподобного сигнала и возможные способы организации устройства контроля и диагностирования линий железнодорожной автоматики и связи.

Контроль параметров объекта на основе метода идентификации.

Методы контроля и измерения параметров объектов, основанные на применении теории идентификации объектов, обычно разделяют на два вида.

Первый метод основан на анализе отклика объекта на воздействие рабочего сигнала в процессе его функционирования [7].

Во втором методе измерения проводят на основе анализа отклика объекта на воздействие тестирующего сигнала. В зависимости от вида тестового сигнала различают частотный и временной способы идентификации.

Структурная схема устройства, реализованного по первому методу идентификации, приведена на рис. 1.

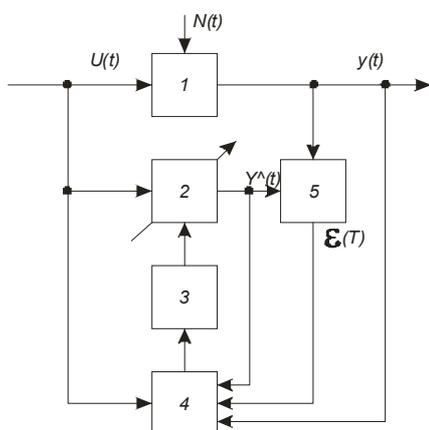


Рис. 1. Устройство идентификации на основе анализа отклика объекта на рабочие сигналы: 1 – объект контроля; 2 – модель; 3 – блок обработки сигналов; 4 – измерительное устройство; 5 – вычитающее устройство

Работа устройства происходит следующим образом. Входной сигнал  $u(t)$  подается на объект измерения и на модель, которая является настраиваемой. Сигналы с выхода объекта контроля  $y(t)$  и модели поступают на вычитающее устройство, с выхода которого разностный сигнал  $\varepsilon(t)$  поступает на измерительное устройство и устройство обработки информации. Управляющий сигнал с блока обработки информации изменяет параметры модели до тех пор, пока разностный сигнал не станет равным нулю. В результате формируется модель идентичная объекту, что позволяет определить контролируемые параметры.

При измерениях частотных характеристик тестирующим сигналом на вход объекта подаются заданный сигнал (обычно гармонический) и измеряют параметры выходного сигнала.

При измерениях временных характеристик тестирующим сигналом на вход объекта подаются ступенчатый сигнал (идентификация по переходной характеристике) или импульсный сигнал (идентификация по импульсной характеристике) и анализируют выходной сигнал.

### Математическое обоснование метода контроля линий автоматики и связи с применением ШПС

Сигнал  $y(t)$  на выходе объекта контроля можно записать через входной сигнал  $u(t)$  и импульсную характеристику объекта  $g(\theta)$  в таком виде:

$$Y(t) = \int_0^{\infty} g(\theta)u(t - \theta)d\theta. \quad (1)$$

При наложении на  $y(t)$  шума  $n(t)$  сигнал на входе линии будет иметь вид

$$z(t) = y(t) + n(t), \quad (2)$$

где  $n(t)$  – центрированный шум, т. е. стационарный случайный сигнал с нулевым математическим ожиданием.

Корреляционная функция входного и выходного сигналов объекта идентификации имеет вид

$$\begin{aligned} R_{uz}(\tau) &= E\{u(t - \tau)z(t)\} = \\ &= \int_0^{\infty} E\{u(t - \tau)u(t - \theta)\}g(\theta)d(\theta) + \\ &\quad + E\{n(t)u(t - \tau)\}. \quad (3) \end{aligned}$$

Выражение (3) можно упростить благодаря независимости сигнала  $u(t)$  от шума  $n(t)$  следующим образом:

$$E\{n(t)u(t-\tau)\} = E\{n(t)\}E\{u(t-\tau)\} = 0. \quad (4)$$

Кроме того

$$E\{u(t-\tau) \cdot u(t-\theta)\} = R_{uu}(\tau-\theta), \quad (5)$$

где  $R_{uu}(\tau-\theta)$  – автокорреляционная функция сигнала  $u(t)$ , который считается стационарным случайным процессом.

Выражение (3) с учетом равенств (4) и (5) примет вид

$$R_{uz}(\tau) = \int_0^{\infty} R_{uu}(\tau-\theta)g(\theta)d\theta = R_{uy}(\tau). \quad (6)$$

Это выражение известно как уравнение Винера-Хопфа.

Если идентификационный сигнал  $u(t)$  является белым шумом с мощностью  $\sigma^2$ , то

$$R_{uu}(\tau-\theta) = \sigma^2\delta(\tau-\theta). \quad (7)$$

Откуда

$$R_{uz}(\tau) = \int_0^{\infty} \sigma^2\delta(\tau-\theta)g(\theta)d\theta = \sigma_k^2g(\tau). \quad (8)$$

Взяв интеграл Фурье от обеих частей выражения (3), получим

$$\dot{S}_{xy}(\omega) = S_{xx}(\omega)\dot{W}(\omega), \quad (9)$$

где  $\dot{S}_{xy}(\omega)$  – односторонняя спектральная плотность мощности выходного сигнала  $y(t)$ ;  $S_{xx}(\omega)$  – односторонняя спектральная плотность мощности тестируемого сигнала  $x(t)$ .

Из выражения (9) получим

$$\dot{W}(\omega) = \dot{S}_{xy}(\omega)/S_{xx}(\omega). \quad (10)$$

Спектральная плотность белого шума  $S_{xx}(\omega)$ , используемого в данном методе для идентификации, постоянна по всей частотной области. В результате из выражения (10) получаем, что взаимно спектральная плотность  $\dot{S}_{xy}(\omega)$  с точностью до постоянного множителя соответствует частотной передаточной функции идентифицируемого объекта.

На практике метод удобно реализовать на основе следующих выражений:

$$\dot{W}(f_k) = \dot{S}_{xy}(f_k)/\dot{S}_{xx}(f_k), \quad f_k = kf_1; \quad (11)$$

$$\dot{S}_{xy}(f_k) = \frac{2}{NT}X^*(f_k) \cdot Y(f_k); \quad (12)$$

$$\dot{S}_{xx}(f_k) = \frac{2}{NT}X^*(f_k) \cdot X(f_k); \quad (13)$$

$$X(f_k) = T \sum_{n=0}^{N-1} x(nT) \cdot \exp(-j2\pi kn/N); \quad (14)$$

$$Y(f_k) = T \sum_{n=0}^{N-1} y(nT) \cdot \exp(-j2\pi kn/N), \quad (15)$$

где  $S_{xy}(f_x)$  и  $S_{xx}(f_x)$  – односторонние спектральные плотности;  $X(f_k)$  и  $Y(f_k)$  – дискретные спектры функций  $x(nT)$  и  $y(nT)$  на периоде  $NT$ , полученные прямым ДПФ;  $f_k = kf_1$  –  $k$ -я гармоника дискретной частоты;  $f_1 = 1/NT = F/N$  – основная частота (1-я гармоника);  $F$  – частота дискретизации.

Если спектр  $S_{xx}(f_x)$  сигнала  $x(nT)$  достаточно широкополосный так, что в полосе пропускания объекта  $S_{xx}(f_x) = \text{const}$ , то операция деления в выражении для передаточной функции сводится к изменению масштаба.

На основе полученной дискретной передаточной функции объекта измерения можно получить его частотные и временные характеристики.

### Структурная схема устройства контроля линий

Структурная схема устройства контроля и диагностирования линий связи и железнодорожной автоматики с использованием для тестирования шумоподобного сигнала приведена на рис. 2.

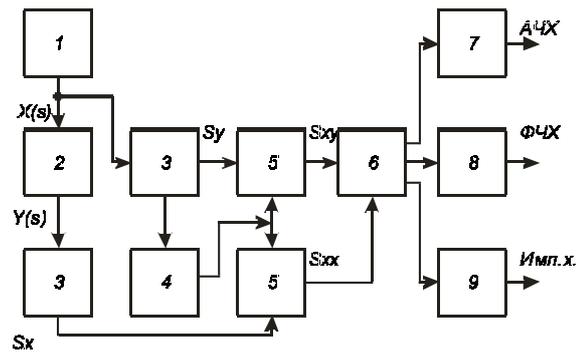


Рис. 2. Структурная схема устройства контроля линий с использованием шумоподобного сигнала: 1 – генератор шумоподобного сигнала; 2 – объект измерения; 3 – блок дискретного преобразования Фурье; 4 – блок вычисления сопряженного значения комплексного числа; 5 – блок умножения; 6 – делитель; 7 – блок вычисления модуля комплексного числа; 8 – блок вычисления аргумента; 9 – блок обратного дискретного преобразования Фурье

Устройство работает следующим образом. Сигнал  $X(s)$  поступает в от генератора 1 на вход объекта контроля, на выходе которого появляется сигнал  $Y(s)$ . При этом на выходе блока 3 получаем значение дискретных спектров входного  $S_x$  и выходного  $S_y$  сигналов. С выходов умножителей получаем спектральную плотность входного  $S_{xx}$  и выходного  $S_{xy}$  сигналов, а на выходе блока 6 – дискретную передаточную функцию  $W(s)$ .

Для получения передаточной функции необходимо воспользоваться дискретным преобразованием Фурье, при помощи которого получаем спектр сигнала. По спектрам входного и выходного сигналов получим спектральную плотность мощности сигнала  $S_{xy}$ ,  $S_{xx}$ . Для получения передаточной функции объекта измерения достаточно разделить спектральную плотность мощности выходного сигнала на спектральную плотность мощности входного сигнала.

### Принцип формирования шумоподобного сигнала

Шумоподобный сигнал формируется на основе псевдослучайной последовательности, которая генерируется при помощи циклически сдвигаемого регистра. Зависимости количества ячеек и номера формирующих элементов регистра от длины формируемой псевдослучайной последовательности приведены в табл. 1 и 2 [4].

Таблица 1  
Зависимость количества ячеек регистра от длины псевдослучайной последовательности

Количество ячеек регистра	8	9	10	11	12	13
Длина псевдослучайной последовательности	256	512	1024	2048	4096	8192

Таблица 2  
Выбор номера функционального элемента от количества ячеек регистра

Количество ячеек регистра	8	9	10	11	12	13
Номер функционального элемента	2; 3; 4; 8	4; 9	3; 10	2; 9	1; 4; 6; 12	1; 3; 4; 13

При реализации генератора ШПС была выбрана псевдослучайная последовательность длиной в 512 элементов. В соответствии

с табл. 1 и 2 получим, что при этом должно быть 9 ячеек регистра, а номера функциональных элементов равны 4 и 9.

Структурная схема генератора псевдослучайной последовательности длиной 512 элементов приведена на рис. 3.

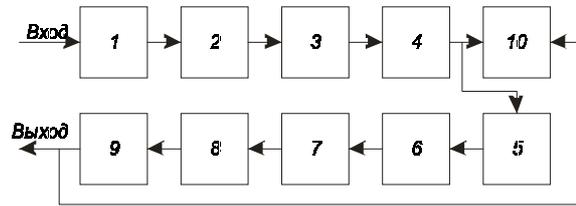


Рис. 3. Структурная схема генератора псевдослучайной последовательности длиной 512 элементов: 1–9 – ячейки регистра сдвига; 10 – сумматор

Сформированная псевдослучайная последовательность обладает следующими характеристиками:

- вероятность появления логического нуля (единицы) – 50 %;
- условная вероятность появления логического нуля после нуля – 50 %;
- условная вероятность появления единицы после единицы – 50 %;
- энтропия сигнала – 1.

### Структура устройства контроля

При централизованной организации информационно-управляющих систем на железнодорожном транспорте естественным является размещение аппаратуры контроля и диагностирования на центральном посту. При этом возможны два способа подачи тестирующего сигнала на контролируруемую линию.

При первом способе тестирующий сигнал подается в линию со стороны линейного пункта после получения запроса на проведение контроля с центрального пункта.

При втором способе тестирующий сигнал подается со стороны центрального пункта, на котором размещается измерительная аппаратура.

Рассмотрим структуру системы контроля для этих двух случаев.

*Первый способ.* В ответ на пришедший с центрального поста сигнал запроса на проведение контроля аппаратура линейного пункта начинает генерировать в линию тестирующий сигнал. Для синхронизации аппаратуры на приемном и передающем концах линии используется старт-стопный метод.

Структурная схема генератора линейного пункта, вырабатывающая тестирующий шумоподобный сигнал, показана на рис. 4.

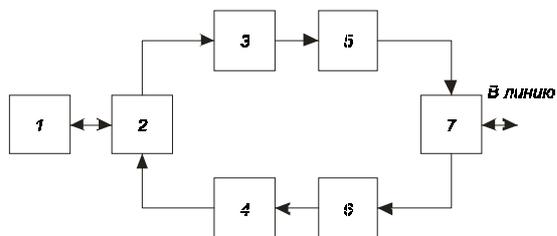


Рис. 4. Структурная схема генератора шумоподобного сигнала:

1 – микроконтроллер; 2 – программируемый интерфейс; 3 – цифро-аналоговый преобразователь; 4 – аналого-цифровой преобразователь; 5 – устройство согласования для цифро-аналогового преобразователя; 6 – устройство согласования для аналого-цифрового преобразователя; 7 – модем

*Второй способ.* Структурная схема системы контроля приведена на рис. 5.

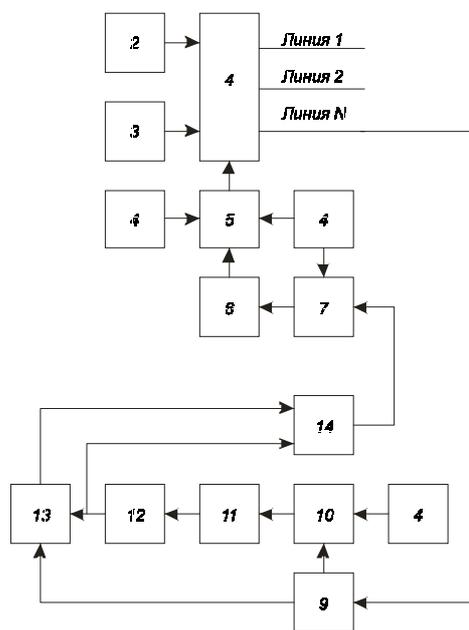


Рис. 5. Структурная схема коммутирующего устройства:

1 – устройство согласования с объектом контроля; 2 – блок измерения параметров; 3 – генератор псевдослучайной последовательности импульсов (шумоподобного сигнала); 4 – программируемые коммутаторы; 5 – блок управления; 6 – оперативное запоминающее устройство; 7 – анализатор псевдослучайной последовательности; 8 – устройство организации шлейфа; 9 – регистр прямого направления; 10 – анализатор псевдослучайной последовательности; 11 – запоминающее устройство; 12 – ключ; 13 – модель (искусственная линия); 14 – регистр обратного направления

При проведении контроля выводы линии со стороны линейного пункта необходимо замыкать, для чего используются управляемые ключи. Анализатор псевдослучайной последовательности, как и генератор, строится на основе регистров сдвига. При совпадении адресной части измерительного сигнала, анализатор псевдослучайной последовательности формирует шлейф при помощи ключа 12 и искусственной линии 13. При этом имеется

возможность перенаправить измерительный сигнал обратно на передающий конец линии и измерить его параметры.

## Выводы

С целью разработки автоматического устройства для контроля и диагностирования линий связи и автоматики с применением шумоподобного сигнала, рассмотрена возможность контроля и измерения параметров линии на основе метода идентификации, приведено математическое обоснование метода спектрального анализа, рассмотрены методы формирования шумоподобного сигнала и возможные способы организации устройства контроля на этой основе.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Інструкція з технічного обслуговування пристроїв сигналізації, централізації та блокування (СЦБ) (ЦШЕОТ 0012). – К., 1998.
2. Дмитренко И. Е., Сапожников В. В., Дьяков Д. В. Измерения и диагностирование в системах железнодорожной автоматики, телемеханики и связи. – М.: Транспорт, 1994.
3. SI2000 цифровая коммутационная система CS5051AA Версия 5. Справочник по эксплуатации. Документационный центр, Крань, 1998.
4. Пат. 95125424 Украина, МКИ НО4М 47/28. Устройство телеконтроля линий передачи цифровой информации: Пат. 95125424 Украина, МКИ НО4М 47/28; Мозель А. Г., Продан А. С., Чайников С. Л.; Заявл. 9.04.96; Опубл. 30.03.98; – 6 с.
5. Пат. 98031084 Украина, МКИ НО4М 47/28. Цифровое испытательно-измерительное устройство линий АТС: Пат. 98031084 Украина, МКИ НО4М 47/28; Денисенко В. П., Леонтьев О. П., Долинский В., Семотюк М. В. Заявл. 5.08.96; Опубл. 2.09.98; – 5 с.
6. Резников А. ШПС – эволюция или революция? // Радио. 1998. № 3. – С. 15–17.
7. Бессонов А. А. Методы и средства идентификации динамических объектов. – Л.: Энергоатомиздат, 1989. – 280 с.
8. Гаврилюк В. И., Безруков В. В., Бондаренко Ю. А. Применение шумоподобного сигнала для идентификации и измерения параметров проводных линий связи // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2002. № 4. – С. 15–19.
9. Гаврилюк В. И., Безруков В. В., Бондаренко Ю. А. Корреляционный метод определения частотных параметров четырехполюсника с использованием шумоподобного сигнала // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2002. № 4, 5. – С. 48–49.
10. Gavrilyuk V., Bezrukov V., Bondarenko Yu. Using of a noise-like signal for measurements of frequency parameters of wire telecommunications lines.

Поступила в редколлегию 27.01.04.