



УДК 621.31  
ББК 32.852

## ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

Д.В. Воловик, А.Л. Якимец

Разработано и создано устройство для параметрического исследования объектов с использованием шумоподобного сигнала. Наблюдаемое изменение спектрального состава сигнала, проходящего через исследуемую систему, служит основой для необходимых выводов о ее частотных свойствах.

**Ключевые слова:** шумоподобный сигнал, параметрический анализ, спектральное оценивание, частотные свойства, адаптивный фильтр.

При решении различных задач в связи, навигации, радио и гидролокации, в устройствах синхронизации и управления требуются оценки неизвестных частотно-временных характеристик. При этом точность и помехоустойчивость работы системы зависит от эффективности используемых алгоритмов при обработке сигналов и достигаемой минимизации погрешностей оценок.

Существующие методы оценки можно разделить на параметрические и непараметрические. Непараметрические методы включают периодограммы, модифицированные периодограммы Барлета и Уэлша и метод Блэкумена-Тьюки. Для непараметрических методов характерны следующие ограничения: низкое спектральное разрешение при коротких сегментах данных, что не позволяет проводить анализ нестационарных систем с достаточной точностью; необходимость взвешивания для предотвращения просачивания спектральных составляющих. Этим сложно-

стей можно избежать, используя параметрические методы. Платой за улучшение оценок СПМ оказывается возрастание вычислительной сложности алгоритмов получения оценок, которая стала успешно преодолеваться только на современном уровне развития вычислительной техники [1; 2].

При параметрическом оценивании полагают, что широкополосный шум фильтруется или проходит по тракту передачи подлежащей анализу системы. Тогда адаптивный фильтр используется для моделирования характеристики, обратной характеристике системы или передаточной характеристике, а по завершении установления последующая обработка полюсов или нулей моделирующего фильтра дает информацию о свойствах системы. Структурная схема системы обратного адаптивного моделирования динамического объекта показана на рисунке 1. Наблюдение неизвестного объекта осуществляется по временным отсчетам его выходного сигнала  $x_k$  ( $k = 0, 1, 2, \dots$ ).

В качестве адаптивного фильтра используется цифровой адаптивный трансверсальный фильтр, весовые коэффициенты которого перестраиваются по методу наименьших квадратов.

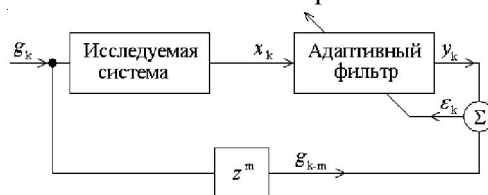


Рис. 1. Структурная схема системы адаптивного моделирования объекта

Дискретная передаточная функция адаптивного фильтра имеет вид:

$$W_a(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \sum_{i=0}^N w_{i,k} z^{-i},$$

где  $N$  – длина фильтра;  
 $w_{i,k}$  – текущие значения весовых коэффициентов.

Ей соответствует уравнение:

$$y_k = \sum_{i=0}^N w_{i,k} x_{k-i}$$

Весовые коэффициенты фильтра на  $k$ -м шаге определяются из рекуррентного соотношения:

$$w_{i,k+1} = w_{i,k} + 2\mu x_{k-i} \varepsilon_k,$$

где  $\mu$  – параметр скорости сходимости адаптивного алгоритма.

Сигнал ошибки вычисляется по формуле:

$$\varepsilon_k = g_{k-m} - y_k.$$

При сравнительно медленных адаптивных процессах становится справедливым соотношение:

$$W_a(z)W(z) \approx 1,$$

где  $W(z)$  – искомая дискретная передаточная функция объекта [3].

Структурная схема системы параметрического анализа частотно зависимых цепей представлена на рисунке 2. Сигнал с выхода генератора шумоподобного сигнала (ГШПС) поступает на вход исследуемой системы. Напряжение с ее выхода поступает в первый канал и преобразуется в цифровой эквивалент аналого-цифровым преобразо-

зователем, после чего сохраняется в оперативном запоминающем устройстве (ОЗУ). После заполнения памяти оцифрованными отсчетами сигнала, микроконтроллер (МК) считывает записанные данные и, используя интерфейсный блок USB, передает их в персональный компьютер (ПК). Так же МК осуществляет управление работой АЦП и ОЗУ. В качестве эталонного сигнала используется цифровой эквивалент, полученный по второму каналу, имеющий аналогичную структуру.

Основой генератора шумоподобного сигнала (рис. 3) является программируемая логическая интегральная схема DD1, на базе которой создается тридцатидвухразрядная м-последовательность с периодом повторения 4 295 с. Полученная последовательность подается на вход 12-разрядного цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) DA1, опорное напряжение для которого формируется источником DA2. Аналоговое напряжение с выхода ЦАП подается на вход фильтра Бесселя низких частот с частотой среза 500 кГц (DA3), обеспечивающего необходимое качество при обработке ступенчатого сигнала.

На рисунке 4 представлена принципиальная электрическая схема одного канала ввода информации. Измеряемый сигнал поступает на вход аналого-цифрового преобразователя (DA1), полученный цифровой код быстро (на максимальной частоте работы АЦП) записывается в ОЗУ. Управление схемой осуществляется ПК через мост USB-UART (DD3). Команды поступают в МК (DD2), который формирует и выставляет управляющие сигналы для АЦП (DA1) и ОЗУ (DD1). После окончания процедуры преобразования сигнала АЦП останавливается и МК считывает полученные данные и передает их в персональный компьютер. После чего процедура ввода данных повторяется.

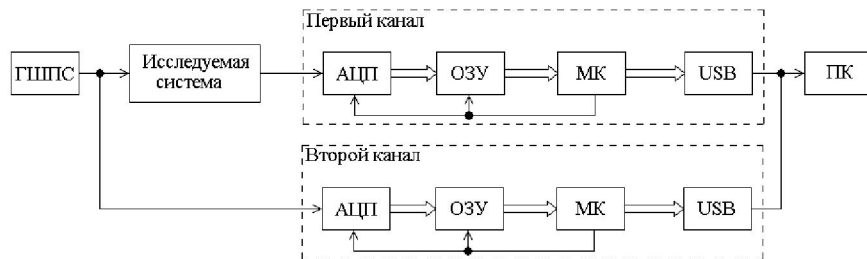
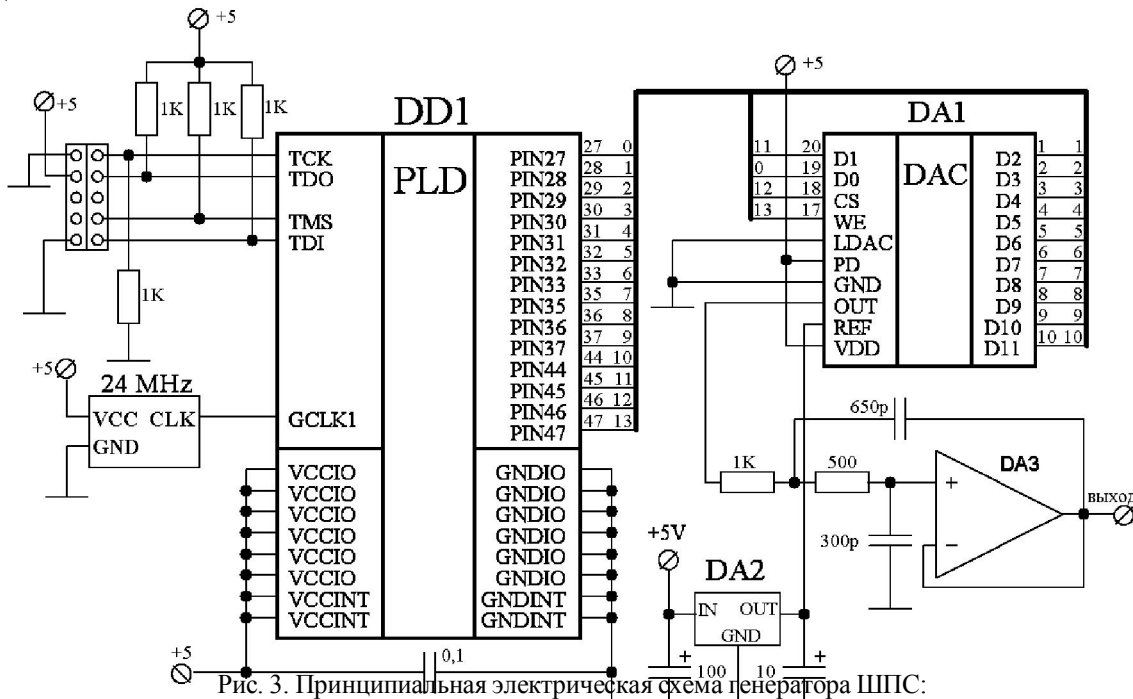
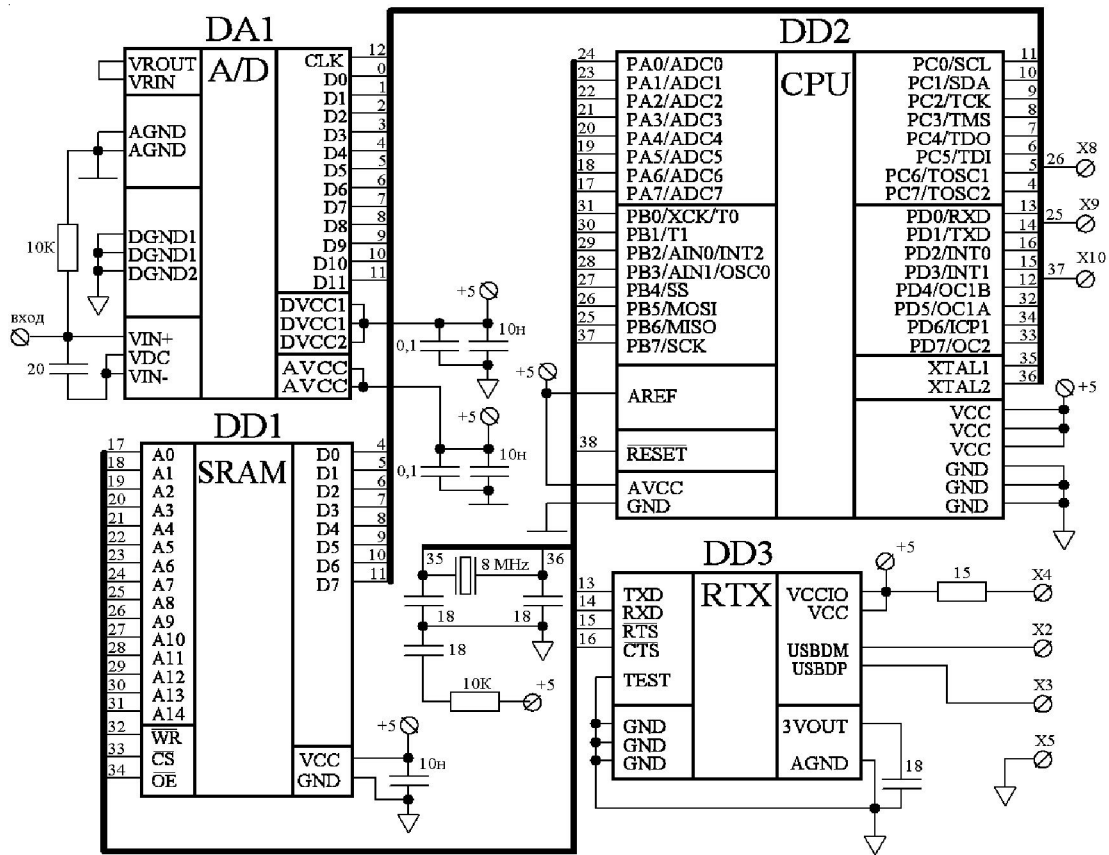


Рис. 2. Структурная схема установки:

ГШПС – генератор шумоподобного сигнала на ПЛИС; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; ОЗУ – оперативное запоминающее устройство; МК – микроконтроллер; ПК – персональный компьютер



DD1 – EPM7128; DA1 – TL5619; DA2 – REF5025; DA3 – TL072



DA1 – HI5805; DD1 – V5V5256; DD2 – ATMEGA16; DD3 – FT232R

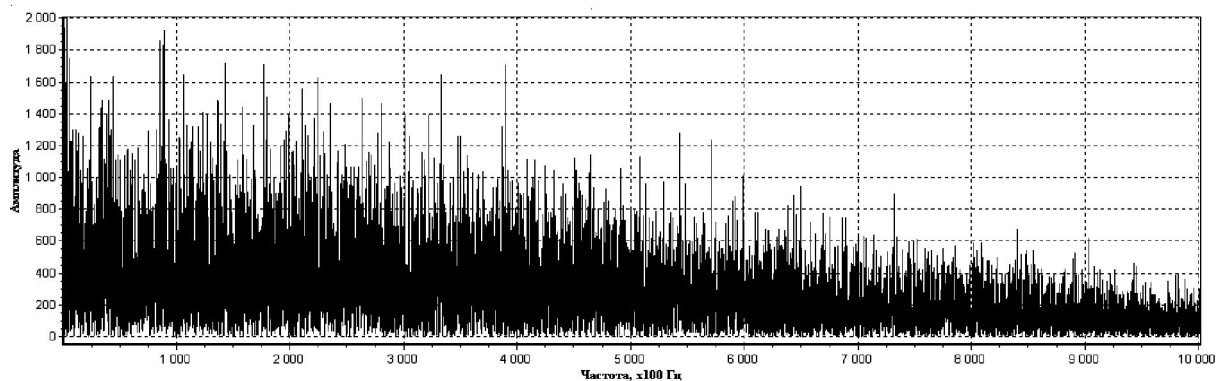


Рис. 5. Спектр шумоподобного сигнала

Полученные персональным компьютером массивы с отсчетами АЦП по обоим каналам обрабатываются для получения информации об исследуемом объекте. Интерфейсная программа написана в программном пакете Borland C++ Builder 6.0, возможно сохранение как исходных данных, так и результатов обработки полученных массивов. Копия экрана со спектром шумоподобного сигнала, полученного программой, представлена на рисунке 5.

Созданный программно-аппаратный комплекс позволяет проводить анализ прохождения электрических сигналов через различные радиотехнические системы. Полученные данные могут использоваться либо при моделировании этих объектов, либо для анализа их внутренней структуры.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айфичер, Э. С. Цифровая обработка сигналов: практический подход : пер. с англ. / Эммануил С. Айфичер, Барии У. Джервис. – 2-е изд. – М. : Вильямс, 2004. – 992 с.: ил.
2. Кривошеев, В. И. Современные методы цифровой обработки сигналов (цифровой спектральный анализ) : учеб.-метод. материал по программе повышения квалификации «Современные системы мобильной цифровой связи, проблемы помехозащищенности и защиты информации» [Электронный ресурс] / В. И. Кривошеев. – Н. Новгород, 2006. – 117 с. – Режим доступа: <http://www.unn.ru/pages/issues/aids/2006/7.pdf>.
3. Уидроу, Б. Адаптивная обработка сигналов : пер. с англ. / Б. Уидроу, С. Стирнз. – М. : Радио и связь, 1989. – 440 с.: ил.

## PARAMETRIC ESTIMATION OF CHARACTERISTICS OF ELECTRICAL CIRCUITS

*D.V. Volovik, A.L. Yakimets*

The device for parametric research of objects with usage noise a signal is developed and created. Observable change of spectral content of the signal transiting through researched system, forms a basis for necessary outputs about its frequency properties.

**Key words:** *noise a signal is developed, parametric research, spectral content, frequency properties, adaptive filter.*