УДК. 681.32

Н. Я. МАМЕДОВ, Н. Т. АБДУЛЛАЕВ, Г. С. АГАЕВА

ЧИСЛЕННЫЙ АЛГОРИТМ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИГНАЛОВ

Рассматривается алгоритм спектрального анализа измерительных сигналов, позволяющий при расчете комплексных коэффициентов Фурье исключить операции комплексного умножения, что характерно для алгоритма быстрого преобразования Фурье. Приведены функциональная схема аппаратной реализации предлагаемого алгоритма и временная диаграмма работы устройства.

Ключевые слова: *спектральный анализ, комплексные коэффициенты Фурье, алгоритм расчета, функциональная схема, аппаратная реализация.*

Применение цифровой аппаратуры на базе БИС и микроконтроллеров для автоматизации и обеспечения точности и быстродействия процесса измерений приводит к необходимости разработки новых структурных схем измерительных систем и совершенствования алгоритмов цифровой обработки сигналов, в частности алгоритмов спектрального анализа.

Эффективным способом обработки сигналов является алгоритм быстрого преобразования Фурье (БПФ), что связано с уменьшением количества операций комплексного умножения и сложения. Однако все компоненты спектра при использовании БПФ вычисляются, как правило, почти одновременно, и поэтому при определении одного или малого числа компонентов применение этого метода неэффективно. Обычно при использовании БПФ для анализа спектра итерационный процесс расчета коэффициентов Фурье осуществляется после получения всех необходимых цифровых отсчетов исследуемого сигнала, что исключает возможность обработки внутри периода измерения [см. лит.].

В настоящей статье предлагается алгоритм спектрального анализа измерительных сигналов, позволяющий нивелировать указанные недостатки.

Суть алгоритма заключается в следующем. Пусть периодический непрерывный сигнал $y = f(t)$ характеризуется выражением

$$f(t) = \sum_{n \to -\infty}^{\infty} C_n e^{jn\omega t} ,$$

где $\omega = 2\pi / T$, здесь T — период; C_n — комплексные коэффициенты Фурье, определяемые как

$$C_n = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) e^{-jn\omega t} dt .$$

Далее, используя заданную зависимость $y = f(t)$, определим новую неявную функцию y в зависимости от t:

$$y = f(t + \alpha y), \qquad (1)$$

где α — малая постоянная величина.

Выражение (1) соответствует время-импульсному преобразованию мгновенных значений исследуемого сигнала $f(t)$ по формуле $k\Delta t=f(t+\Delta t)$; $k\Delta t$ является информационным параметром для время-импульсного метода преобразования, где k — крутизна пилообразного напряжения. Приняв $k\Delta t=y$, получим $\Delta t=y/k$, тогда $y=f\left(t+\frac{1}{k}y\right)$. При этом крутизна развертки определяется как $k=1/\alpha$.

Зависимость (1) определяет y как однозначную неявную функцию от t; если $f(t)$ дифференцируема, т.е. имеет ограниченную первую производную, то функция $f(t)$ удовлетворяет условию

$$|\alpha f'(t)|<1,$$

которое является условием существования и единственности неявной функции для зависимости (1). Тогда зависимость (1) определяет некоторую однозначную функцию вида

$$y=F(t,\alpha). \tag{2}$$

Можно доказать, что если $f(t)$ — это непрерывный сигнал, имеющий ограниченную производную первого порядка, то зависимость $y=F(t,\alpha)$ также будет непрерывной и имеющей ограниченную производную. При этом если сигнал $f(t)$ имеет период T, то и $F(t,\alpha)$ также будет иметь период T. Тогда для преобразованной зависимости (2) разложение в ряд Фурье будет иметь следующий вид:

$$F(t,\alpha)=\sum_{n\to-\infty}^{\infty} G_n e^{-jn\omega t}.$$

Для определения коэффициентов G_n необходимо зависимость (1) представить в явном виде (2). Так как это не всегда выполнимо, то следует зависимость (1) представить в параметрической форме.

Для этого, выбрав в качестве параметра $u=t+\alpha y$, после некоторых преобразований вместо неявной формы заданной зависимости (1) получим зависимость, представленную в параметрической форме:

$$\left.\begin{aligned} y&=f(u),\\ t&=u-\alpha f(u).\end{aligned}\right\} \tag{3}$$

Используя уравнения (3), определим явные выражения для коэффициентов Фурье G_n. Для коэффициента Фурье G_0 с учетом периодичности сигнала получим

$$G_0=\frac{1}{T}\int_0^T f(t+\alpha y)dt=\frac{1}{T}\int_0^T f(u)(1-\alpha f'(u))du=\frac{1}{T}\int_0^T f(t)dt=C_0.$$

Равенство $G_0=C_0$ означает, что преобразование (1) не изменяет постоянную составляющую исходного и преобразованного сигналов.

Аналогичным образом, использовав уравнения (3), с учетом периодичности преобразованного сигнала получим выражение для остальных составляющих комплексного коэффициента Фурье:

$$G_n=\frac{1}{T}\int_0^T f(t+\alpha y)e^{-jn\omega t}dt=\frac{1}{2\pi jn\alpha}\int_0^T e^{-jn\omega(t-\alpha f(t))}dt,\quad n\neq 0. \tag{4}$$

Используя выражение (4) и непосредственно вычисляя предел $\lim\limits_{\alpha\to 0} G_n$, получаем $\lim\limits_{\alpha\to 0} G_n=C_n$.

Отсюда следует, что при малых значениях α существует положительная ограниченная величина A, для которой справедливо условие $\left|C_n - G_n\right| \le A\alpha$. Посредством выбора α можно обеспечить выполнение условия $A\alpha < \varepsilon$. Что касается конкретной величины A, то можно отметить ее зависимость от класса исследуемого сигнала $f(t)$, т.е. его спектральных и дифференциальных свойств. Например, для периодических сигналов, имеющих ограниченную первую производную, величина A оценивается выражением $A = \max\limits_{t\in[0,T]} f(t)f'(t)$.

Таким образом, при соответствующем выборе числа α расчет коэффициентов C_n можно заменить расчетом коэффициентов G_n. Ввиду малости числа α можно ожидать, что разность $F(t,\alpha) - f(t)$ также будет невелика.

Использование видоизмененной функции (1) позволяет при малых значениях α получить выражения для расчета комплексных коэффициентов Фурье в виде, исключающем необходимость операций умножения исходной функции на ортогональные составляющие функции $e^{-jn\omega t}$. Это, в свою очередь, упрощает алгоритм вычисления коэффициентов Фурье.

Если сигнал $f(t)$ представлен дискретными значениями в M точках отрезка $\left[0,T\right]$, что характерно для цифровой обработки сигналов, то для вычисления комплексных коэффициентов Фурье может быть использовано выражение

$$G_n = \frac{T}{2\pi jMn\alpha}\sum_{i=1}^{M} e^{-jn\omega\alpha_i}, \qquad (5)$$

где $\alpha_i = t_i - \alpha f(t_i)$, $t_i = i\frac{T}{M}$ — моменты отсчета мгновенных значений.

Алгоритм (5) можно реализовать различными аппаратными способами. Возможны параллельное, последовательное и выборочное определение комплексных коэффициентов Фурье.

Функциональная схема цифрового спектрального анализатора, реализующего предлагаемый алгоритм, представлена на рис. 1, где НО — нуль-орган (компаратор); П — преобразователь интервала времени в код; ГН — генератор линейно-изменяющего напряжения; УФП — устройство формирования периода преобразования T (таймер); БУ — блок управления (микроконтроллер); ГТИ — генератор тактовых импульсов; БФП — блок функциональных преобразователей; БС — блок сумматоров.

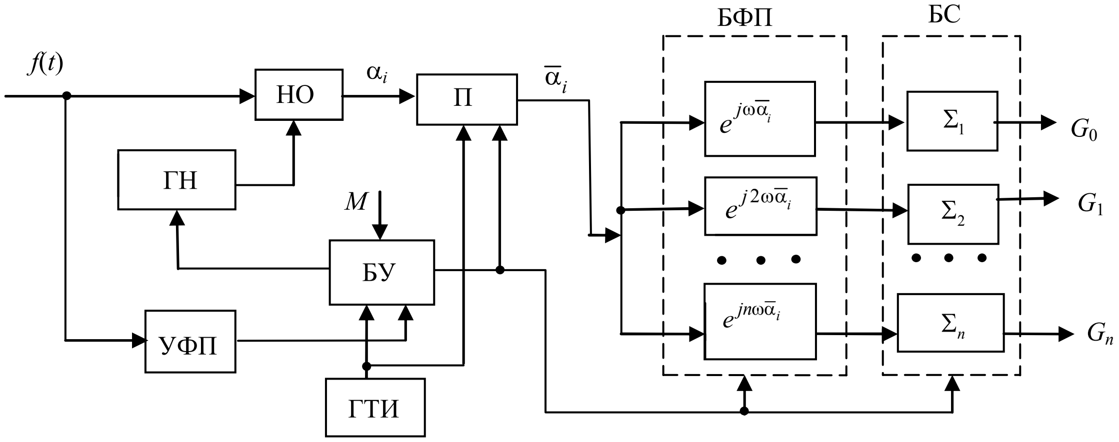

Рис. 1

Временная диаграмма работы представленного анализатора приведена на рис. 2. Исследуемый сигнал $f(t)$ (рис. 2, *а*) подается на нуль-орган и устройство формирования, которое определяет период T исследуемого процесса посредством выдачи импульсов начала V_1 и конца V_2 периода (рис. 2, *б*). Импульсы генератора тактовых импульсов (рис. 2, *в*) подаются также в блок управления, определяющий, в зависимости от значения M, интервал дискретизации

$\Delta t = T/M$ (рис. 2, *г*) и моменты запуска $t_i' = i\Delta t - \alpha U_0$, $i = \overline{1, M}$, генератора линейно изменяющихся напряжений (рис. 2, *д*); также блок управления синхронизирует работу БФП и БС. Если $t_i = i\Delta t$ считать моментами перехода сигнала ГН через нуль, то на выходе нуль-органа фиксируются моменты $\alpha_i = t_i - \alpha f(t_i)$ (рис. 2, *е*, *ж*). С помощью преобразователя временной интервал от нуля до α_i по сигналам блока управления преобразуется в двоичный код $\overline{\alpha}_i$, пропорциональный количеству импульсов N_i (рис. 2, *з*). Затем полученные значения двоичного кода $\overline{\alpha}_i$ поступают в блок функциональных преобразователей, где формируются значения экспонент $e^{jn\omega\overline{\alpha}_i}$. Эти значения накапливаются в блоке сумматоров и по окончании периода измерения на их выходе формируются комплексные значения коэффициентов Фурье G_n.

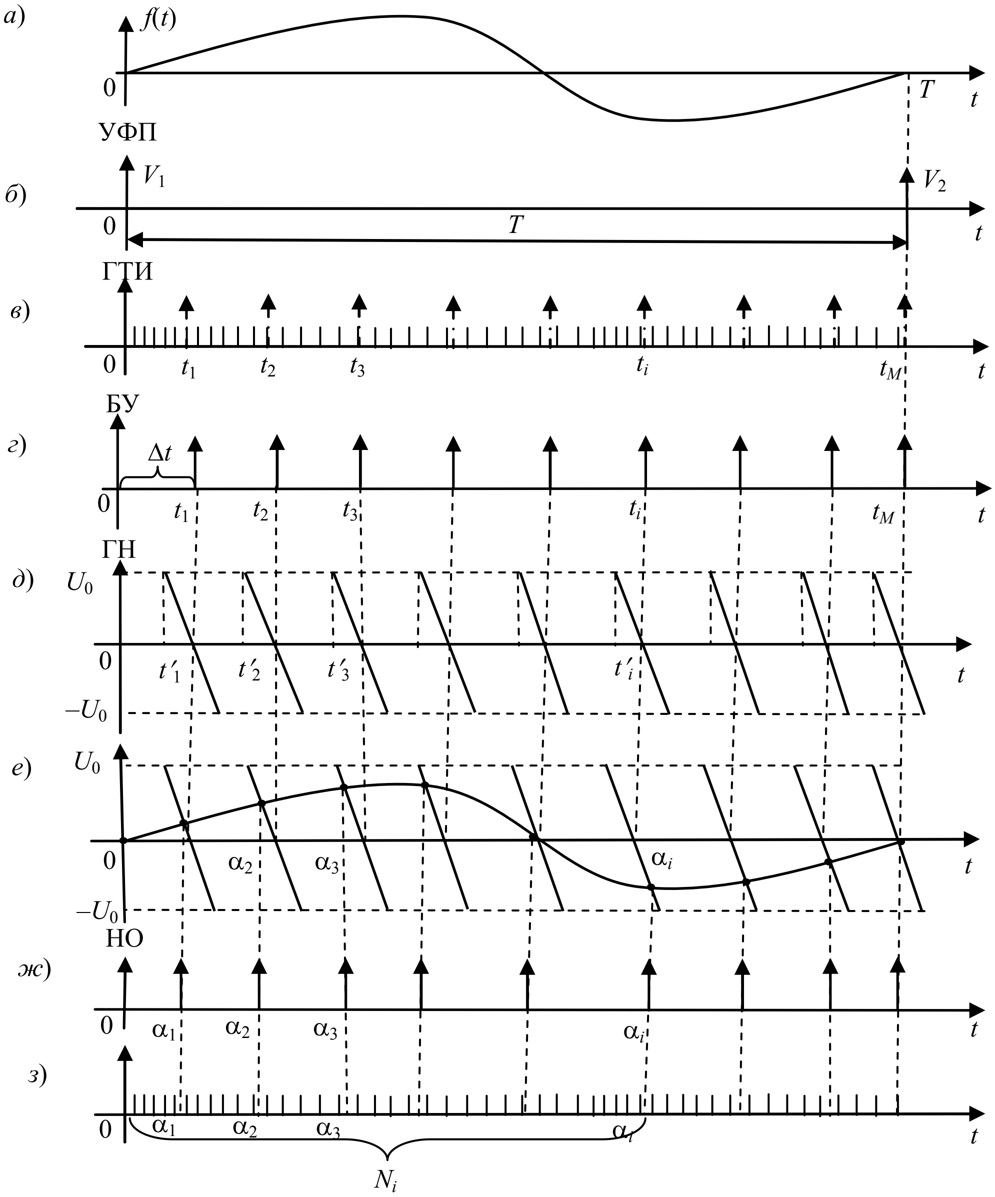

Рис. 2

Таким образом, при использовании время-импульсного преобразования алгоритм (5) сравнительно легко реализуется, так как величина $\alpha_i = t_i - \alpha f(t_i)$ вычисляется непосредственно. По мере получения значений α_i внутри исследуемого периода, согласно формуле (5), производится обработка (функциональное преобразование и суммирование), позволяющая по окончании периода исследуемого сигнала иметь на выходе значения комплексных коэффициентов $G_1 — G_n$.

Анализ работы рассмотренного устройства доказывает эффективность предложенного алгоритма, что подтверждается исключением операций комплексного умножения, характерного для алгоритма БПФ. Эффективность рассмотренного алгоритма повышается, если исследуемый сигнал относится к классу низких и инфракрасных частот.

ЛИТЕРАТУРА

Исмайлов Ш. Ю., Абдуллаев И. М., Мамедов Н. Я. Преобразование и цифровая обработка непрерывных сигналов. Баку: Элм, 2004. 183 с.

Сведения об авторах

Мамедов Нураддин Ясинович — канд. техн. наук, доцент; Азербайджанская государственная нефтяная академия, кафедра высшей математики, Баку

Абдуллаев Намик Таирович — канд. техн. наук, доцент; Азербайджанский технический университет, кафедра телевидения и радиосистем, Баку; Email: a.namik46@mail.ru

Агаева Гюнель Сяйавушевна — магистр; Азербайджанская государственная нефтяная академия, кафедра информационно-измерительной и компьютерной техники, Баку; E-mail: gunel_asoa@yahoo.com

Рекомендована кафедрой телевидения и радиосистем АзТУ

Поступила в редакцию 13.02.14 г.

УДК 004.056.53

К. А. Щеглов, А. Ю. Щеглов

МЕТОД КОНТРОЛЯ ДОСТУПА К ФАЙЛАМ НА ОСНОВЕ ИХ РУЧНОЙ И АВТОМАТИЧЕСКОЙ РАЗМЕТКИ

Предложен метод контроля доступа к файлам на основе их ручной и автоматической разметки, предполагающий исключение сущности „объект доступа“ из схемы контроля доступа.

Ключевые слова: *защита информации, защита от несанкционированного доступа, контроль и разграничение доступа.*

Введение. В работе [1] предложены принципы и методы контроля доступа к создаваемым файловым объектам, а именно — к файлам, отсутствующим на момент задания администратором разграничительной политики доступа, т.е. к файлам, создаваемым пользователями после разграничения доступа, в процессе работы системы. Реализация данных принципов позволяет исключить сущность „объект доступа“ из схемы контроля доступа, а разграничительная политика позволяет разграничить доступ к обрабатываемой на компьютере информации непосредственно между субъектами доступа (что, в конечном счете, и требуется на практике), а не контролировать доступ субъектов к объектам.

В настоящей статье предложен метод контроля доступа к файлам, основанный как на автоматической, так и на ручной (реализуемой администратором) разметке файлов, исследуется универсальность и общность метода, рассматриваются варианты его практической реализации.

Контроль доступа к создаваемым файлам на основе их автоматической разметки. Рассмотрение данного метода базируется на реализованном и апробированном авторами