

## МЕТОДИКА СИНТЕЗА ПАРАМЕТРОВ РЕКУРСИВНОГО ЦИФРОВОГО ДИНАМИЧЕСКОГО ФИЛЬТРА ВТОРОГО ПОРЯДКА ДЛЯ АНАЛИЗАТОРОВ СПЕКТРА СЛУЧАЙНЫХ СИГНАЛОВ

д.т.н., проф. В.Н. Чинков, А.Л. Харченко

*Предложена методика синтеза параметров (коэффициентов) рекурсивно-цифрового динамического фильтра второго порядка для анализаторов спектра случайных сигналов.*

У цифровых динамических фильтров (ЦДФ) коэффициенты передаточной функции должны изменяться по определенным законам, зависящим от законов изменения характеристик фильтра (центральной частоты и коэффициента затухания) [1,2]. Получим методику синтеза параметров (законов изменения или перестройки коэффициентов) рекурсивного цифрового динамического фильтра второго порядка (ЦДФВП) для спектрального анализа случайных эргодических сигналов корреляционно - фильтровым методом.

Предварительно найдем выражения для коэффициентов синтезируемого фильтра. Для этого запишем передаточную функцию ЦДФВП в виде [3] :

$$H_i(z) = \frac{1 - z^{-2}}{a_{2i}z^{-2} + a_{1i}z^{-1} + 1} b, \quad (1)$$

где  $a_{1i}$ ,  $a_{2i}$  -  $i$ -е значения коэффициентов передаточной функции фильтра,

причем 
$$a_{2i} = e^{-2\alpha_i\tau_d}; \quad a_{1i} = -2e^{-\alpha_i\tau_d} \cos(\eta_0 + \Delta\eta_i); \quad (2)$$

$\alpha_i$  -  $i$ -е значение коэффициента затухания фильтра;  $\Delta\eta_i$  -  $i$ -е значение коэффициента перестройки центральной (резонансной) частоты, определяемое равенством  $\Delta\eta_i = \Delta\omega_i\tau_d$ ;  $b$  - общий коэффициент усиления.

Учитывая, что  $\eta_0 = \omega_0\tau_d = \pi/2$  и  $\Delta\eta_i \ll 1$ , соотношение для коэффициента  $a_{1i}$  преобразуем к виду

$$a_{1i} = 2e^{-\alpha_i\tau_d} \sin \Delta\eta_i \approx 2e^{-\alpha_i\tau_d} \Delta\eta_i,$$

где принято  $\cos(\eta_0 + \Delta\eta_i) = -\sin \Delta\eta_i \approx \Delta\eta_i$  (в соответствии с разложением функции  $\sin \Delta\eta_i$  в ряд Тейлора по степеням  $\Delta\eta_i$  до линейного члена).

Дальнейшее упрощение (1) возможно, если функцию  $e^{-\alpha_i\tau_d}$  тоже разложить в ряд Тейлора по степеням малой величины  $\alpha_i\tau_d$  с точностью до линейного члена. При этом вместо (2) справедливы приближенные равенства:

$$a_{2i} \approx 1 - 2\alpha_i\tau_d; \quad a_{1i} \approx 2(1 - \alpha_i\tau_d)\Delta\eta_i. \quad (3)$$

Подставляя соотношения (3) в формулу (1), имеем

$$H_i(z) = \frac{1 - z^{-2}}{(1 - 2\alpha_i\tau_d)z^{-2} + [2(1 - \alpha_i\tau_d)\Delta\eta_i]z^{-1} + 1} b.$$

Так как в этом выражении  $\Delta\eta_i \ll 1$  и  $\alpha_i\tau_d \ll 1$ , то во втором слагаемом (в прямых скобках) знаменателя можно принять  $(1 - \alpha_i\tau_d)\Delta\eta_i \approx \Delta\eta_i$ .

Тогда окончательно получим следующее выражение для передаточной функции  $H_i(z)$  рекурсивного ЦДФВП

$$H_i(z) = \frac{1 - z^{-2}}{(1 - 2\alpha_i\tau_d)z^{-2} + 2\Delta\eta_i z^{-1} + 1} b. \quad (4)$$

Из этой формулы запишем исходные расчетные соотношения для коэффициентов фильтра:

$$a_{2i} = 1 - 2\alpha_i\tau_d; \quad a_{1i} = 2\Delta\eta_i. \quad (5)$$

Имея эти равенства, можно переходить к методике определения законов перестройки коэффициентов  $a_{1i}$ ,  $a_{2i}$  в зависимости от законов изменения центральной частоты и коэффициента затухания фильтра. Из двух законов перестройки центральной частоты узкополосного динамического фильтра второго порядка, исследованных в [2], более проста техническая реализация линейного закона перестройки. Поэтому и примем этот закон в синтезируемом ЦДФВП для корреляционно-фильтрового анализатора спектра.

Исходными данными для определения коэффициентов фильтра являются: относительная статистическая погрешность измерения оценки СПМ  $\delta\hat{G}$ , %; время измерения (анализа)  $T$ , с или число отсчетов  $N$  входного сигнала фильтра; ширина полосы пропускания (или полоса анализа)  $\Delta\omega_m$ , рад/с и частота анализа (или центральная, резонансная частота) фильтра  $f_0$ , Гц (или  $\omega_0 = 2\pi f_0$ ) или их отношение  $\Delta\omega_m/\omega_0$ .

Методика синтеза параметров рекурсивного ЦДФВП для корреляционно - фильтровых анализаторов спектра случайных сигналов сводится к следующему.

1. По заданным значениям  $\delta\hat{G}$ ,  $N$  и  $\Delta\omega_m/\omega_0$  следует вычислить величину  $\eta_1 = 2\pi N(\Delta\omega_m/\omega_0)\delta\hat{G}$ .

2. Зная  $\eta_1$  и используя график (рис.1), находим соответствующее значение  $\theta$ .

3. Имея значение  $\theta$ , по графикам зависимостей  $\beta_0 = f(\theta)$  и  $\beta_1 = f(\theta)$  (рис. 2), определяем максимальное  $\beta_0$  и минимальное  $\beta_1$  значения коэффициента затухания  $\beta$ . Моменты времени  $t_1$  и  $t_2$ , в которые происходит изменение  $\beta$ , получим из равенств:

$$t_1 = \frac{T}{2}(1 - \theta); \quad t_2 = \frac{T}{2}(1 + \theta).$$

4. Вычисляем коэффициенты передаточной функции рекурсивного ЦДФВП, описываемой формулой (1).

Максимальное и минимальное значение  $a_{2i}$  находим из выражений:

$$a_{2\max} = 1 - \beta_1 \pi \frac{\Delta \omega_m}{\omega_0};$$

$$a_{2\min} = 1 - \beta_0 \pi \frac{\Delta \omega_m}{\omega_0}.$$

Номера отсчетов  $i$  входной числовой последовательности фильтра, в которых осуществляется изменение (перестройка) коэффициентов  $a_{2\max}$  и  $a_{2\min}$ , определяются равенствами:

$$i_1 = \frac{N-1}{2}(1-\theta);$$

$$i_2 = \frac{N-1}{2}(1+\theta).$$

Для коэффициента  $a_{1i}$  справедливо соотношение

$$a_{1i} = \frac{i}{N-1} \pi \frac{\Delta \omega_m}{\omega_0}.$$

Графики изменения (перестройки) коэффициентов  $a_2$  и  $a_1$  приведены на рис. 3: а, б – соответственно.

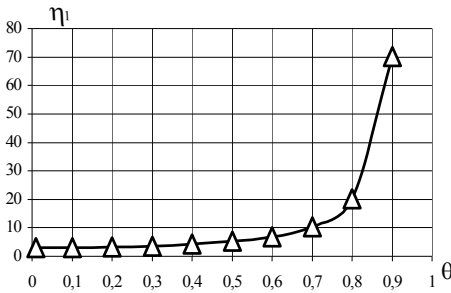


Рис. 1. График функции  $\eta_1 = f(\theta)$

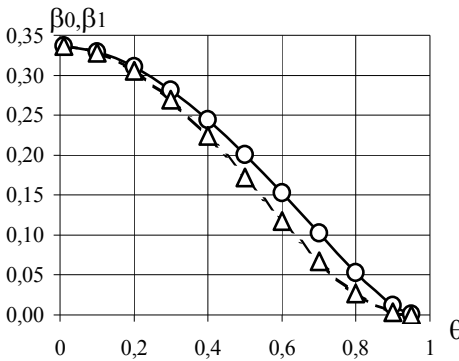


Рис. 2. Графики функций коэффициентов затухания  $\beta_0 = f(\theta)$  и  $\beta_1 = f(\theta)$

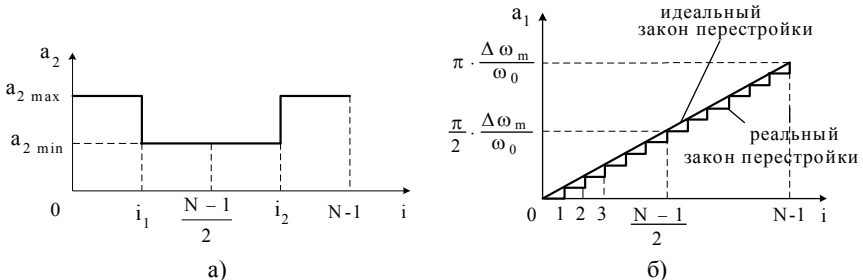


Рис.3. Графики изменения коэффициентов передаточной функции рекурсивного ЦДФВП:  
а – для коэффициента  $a_2$ ; б – для коэффициента  $a_1$

5. Из графика зависимости  $\eta_2 = f(\theta)$  на рис. 4 возможно определение погрешности аппроксимации идеальной функции спектрального окна  $\eta_2$  по найденному ранее значению  $\theta$ .

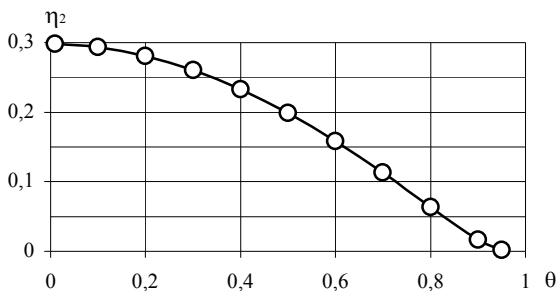


Рис. 4. График функции  $\eta_2 = f(\theta)$

Таким образом, приведенная методика синтеза параметров рекурсивного ЦДФВП справедлива для кусочно - ступенчатого закона изменения его коэффициента затухания (в частном случае – постоянного значения коэффициента затухания) и линейного закона изменения центральной частоты при постоянном коэффициенте передачи.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Харченко А.Л., Чинков В.Н. *Формулировка и методы решения задачи оптимального синтеза динамического узкополосного фильтра второго порядка для спектрального анализа случайных сигналов* // *Український метрологічний журнал*. – 2000. – Вип. 1. – С. 11 - 14.
2. Чинков В.Н., Харченко А.Л. *Методы оптимизации законов изменения коэффициентов затухания узкополосного динамического фильтра второго порядка для спектрального анализа эргодических случайных сигналов корреляционно-фильтровым методом* // *Український метрологічний журнал*. – 2001. – Вип.2. – С. 15 - 18.
3. Чинков В.Н., Харченко А.Л. *Теоретические основы применения цифровых динамических фильтров в анализаторах спектра* // *Український метрологічний журнал*. – 2001. – Вип. 4. – С. 22 - 24.

Поступила 14.01.2002

**ЧИНКОВ Виктор Николаевич**, Заслуженный деятель науки и техники Украины, Заслуженный изобретатель Украины, доктор техн. наук, профессор, профессор ХВУ. В 1962 году окончил ХПИ. Область научных интересов – цифровая обработка информации.

**ХАРЧЕНКО Александра Леонидовна**, в 1976 году закончила ХПИ. Область научных интересов – цифровая обработка информации.