

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

α_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 η_1 и используя график (рис.1), находим соответствующее значение θ .

3. Имея значение θ , по графикам зависимостей $\beta_0 = f(\theta)$ и $\beta_1 = f(\theta)$ (рис. 2), определяем максимальное β_0 и минимальное β_1 значения коэффициента затухания β . Моменты времени t_1 и t_2 , в которые происходит изменение β , получим из равенств: $t_1 = \frac{T}{2}(1 - \theta)$; $t_2 = \frac{T}{2}(1 + \theta)$.

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.

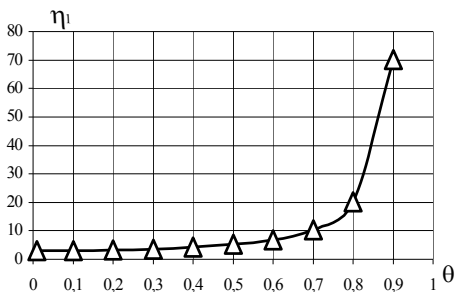


Рис. 1. График функции $\eta_1 = f(\theta)$

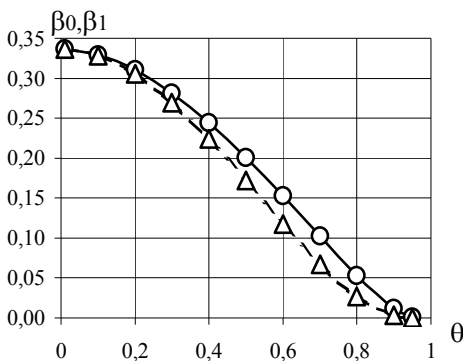


Рис. 2. Графики функций коэффициентов затухания $\beta_0 = f(\theta)$ и $\beta_1 = f(\theta)$

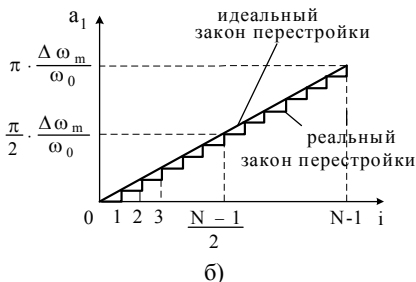
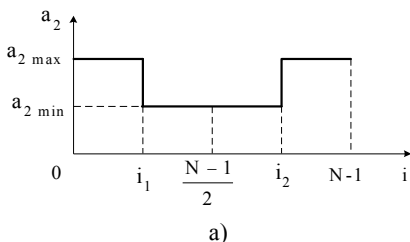


Рис.3. Графики изменения коэффициентов передаточной функции рекурсивного ЦДФВП:

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 η_2 по найденному ранее значению θ .

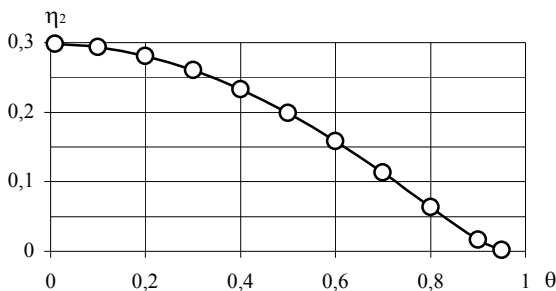


Рис. 4. График функции $\eta_2 = f(\theta)$

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.