

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ОПТИМИЗАЦИИ ЗАКОНА ИЗМЕНЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАТУХАНИЯ ДИНАМИЧЕСКОГО ФИЛЬТРА ВТОРОГО ПОРЯДКА ДЛЯ КОРРЕЛЯЦИОННО-ФИЛЬТРОВЫХ АНАЛИЗАТОРОВ СПЕКТРА

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

Изложены результаты исследования метода оптимизации закона изменения коэффициента затухания динамического фильтра второго порядка для спектрального анализа случайных сигналов корреляционно - фильтровым методом. Приведено упрощенное уравнение, определяющее оптимальную функцию (закон) изменения коэффициента затухания фильтра.

Эффективным направлением совершенствования классического «фильтрового» метода спектрального анализа случайных сигналов является применение корреляционно-фильтрового метода на основе динамических (нестационарных, перестраиваемых) фильтров [1, 2], основы оптимизации которых изложены в статьях [3, 4].

В данной статье приведены результаты исследования одного из методов оптимизации закона изменения коэффициента затухания узкополосного динамического фильтра 2-го порядка (УДФВП) для корреляционно-фильтрового метода спектрального анализа.

В [4] получено следующее уравнение, описывающее оптимальный закон перестройки (изменения) коэффициента затухания $\beta(\xi)$ УДФВП

$$\frac{1-\xi}{\beta^2(\xi)+(1-\xi)^2} + \frac{1+\xi}{\beta^2(\xi)+(1+\xi)^2} = \mu[\beta(\xi)]^{-3/2}, \quad (1)$$

где $\xi = \Delta\omega(t)/\Delta\omega_m$;

$\Delta\omega(t)$ - функция девиации частоты настройки УДФВП, причем при $t = 0$ $\Delta\omega(0) = -\Delta\omega_m$, при $t = T$ $\Delta\omega(T) = \Delta\omega_m$;

T - время анализа;

μ - величина, определяемая заданной относительной погрешностью измеряемой оценки спектральной плотности мощности.

Преобразуя уравнение (1), принимая в нем $\beta(\xi) \equiv \beta$ и вводя величину $u(\xi) \equiv u = 1 - \xi^2$, получим

$$f(\beta^2, u) = \frac{1}{2} \mu \beta^{-3/2}, \quad (2)$$

где

$$f(\beta^2, u) = \frac{\beta^2 + u}{4\beta^2 + (\beta^2 - u)^2}. \quad (3)$$

Уравнение (2) в неявном виде определяет зависимость $\beta(u) = \beta(1 - \xi^2)$.

Проведем анализ уравнения (3). Для этого найдем значения функции $f(\beta^2, u)$ для следующих трех значений величины u : $u = 0$; $u = u_m$; $u = 1$. Соответственно получим:

$$f(\beta^2, u)|_{u=0} = f(0) = \frac{1}{4 + \beta^2}; \quad (4)$$

$$f(\beta^2, u)|_{u=u_m} = f(u_m) = \frac{\sqrt{1 + \beta^2} + \beta}{4\beta}; \quad (5)$$

$$f(\beta^2, u)|_{u=1} = f(1) = \frac{1}{1 + \beta^2}. \quad (6)$$

На основании равенств (4), (5), (6) построим качественный график изменения функции $f(\beta^2, u)$ при изменении u в диапазоне $0 \leq u \leq 1$ для условия $\beta = \text{const}$ (рис. 1).

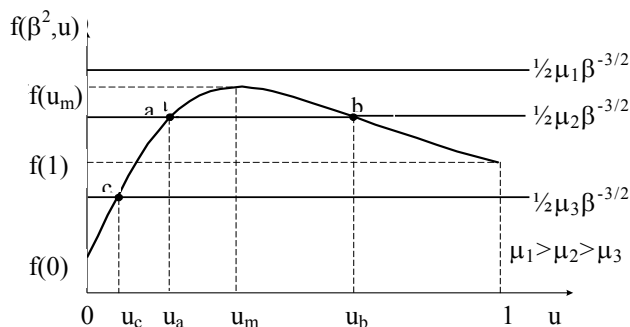


Рис. 1. Качественный график функции $f(\beta^2, u)$ при заданном значении коэффициента затухания β

Из совместного анализа графика и уравнения (2) следует, что в зависимости от значения параметра μ возможны три варианта решения уравнения.

1. При $\mu\beta^{-3/2} > 2f(u_m)$ уравнение (2) не имеет решения, так как нет пересечения прямой $0,5\mu\beta^{-3/2}$ с кривой $f(\beta^2, u)$.

2. При $2f(1) \leq \mu\beta^{-3/2} < 2f(u_m)$ уравнение (2) имеет два решения относительно u - это значения u_a и u_b , соответствующие точкам a, b пересечения прямой $0,5\mu\beta^{-3/2}$ с кривой $f(\beta^2, u)$.

3. При $\mu\beta^{-3/2} \leq 2f(1)$ уравнение (2) имеет одно решение относительно u , равное u_c и определяемое точкой c пересечения прямой $0,5\mu\beta^{-3/2}$ с кривой $f(\beta^2, u)$.

Анализ областей задания величины $\mu\beta^{-3/2}$, а отсюда и параметра β , приводит к следующим результатам для приведенных вариантов решения уравнения (2).

1. При $\mu > \mu_{гр}$ и $\beta_1 > \beta_{гр}$ решением задачи оптимизации является равенство $\beta = \beta_1 = \text{Const}$, причем

$$\beta_{гр} = 1/\sqrt{3} = 0,577; \quad \mu_{гр} = \frac{\beta_{гр}}{2} \left(\sqrt{1 + \beta_{гр}^2} + \beta_{гр} \right) = 0,66.$$

Значение β_1 определяется исходя из заданного значения относительной погрешности измерения оценки СПМ [3, 4].

2. При $\mu < \mu_{гр}$ и $\beta_1 < \beta_{гр}$ имеется два решения уравнения (2):

- при $u_m < u < 1$ значение β изменяется в пределах $\beta_m < \beta < \beta_1$;

- при $u < u_m$ справедливо равенство $\beta = \beta_m = \text{Const}$.

В обоих этих случаях значение β_1 также определяется из заданного значения относительной погрешности измерения оценки СПМ, затем находят величину

$$\mu = 2\beta_1^{3/2} / (1 + \beta_1^2), \quad (7)$$

по ней значение β_m из уравнения

$$\mu^{-2}\beta_m + 4\mu^{-1}\beta_m^{3/2} - 4 = 0,$$

а затем значение u_m по формуле

$$u_m = \mu^{-1}\beta_m^{3/2} + \beta_m^2.$$

Если предположить, что $\beta_1 \ll 1$, то, используя уравнение (7), можно получить явное решение величины β относительно ξ :

$$\begin{cases} \beta = \beta_1 (1 - \xi^2)^{2/3}, & \text{при } |\xi| < |\xi_m|; \\ \beta = \beta_0 = \text{const}, & \text{при } |\xi| > |\xi_m|. \end{cases} \quad (8)$$

График зависимости $\beta(\xi)$, построенный по уравнениям (8), приведен на рис. 2.

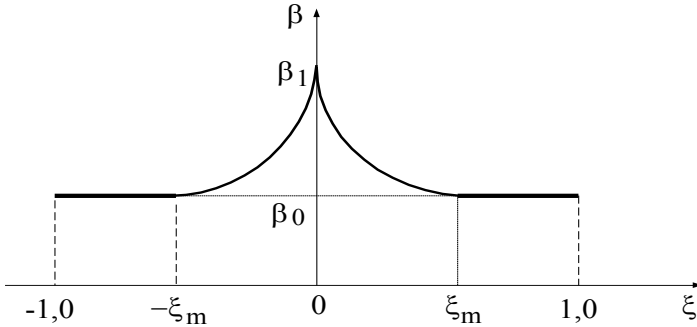


Рис.2. График зависимости $\beta(\xi)$

Таким образом, в статье получено уравнение, определяющее оптимальную функцию коэффициента затухания $\beta(x)$. Однако его исследования показывают, что для этого уравнения можно получить только асимптотическое решение, $\beta(x) \ll 1$. Однако при таком условии аппаратный анализ случайных сигналов с использованием УДФВП требует большого времени измерения (анализа).

ЛИТЕРАТУРА

1. Чинков В.Н., Тищенко В.А. Корреляционно-фильтровый метод и его место среди других аппаратных методов измерения оценки спектральной плотности мощности случайных сигналов // Український метрологічний журнал. – 1999. – Вип. 3. – С. 46 - 50.
2. Чинков В.Н., Тищенко В. А., Харченко А.Л. Динамические фильтры и их применение для спектрального анализа стационарных эргодических случайных сигналов // Праці 3-ї Міжнародної конф. «Метрологія в електроніці – 2000». – Харків. –2000. – Т.1. – С. 134 - 136.
3. 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.
4. 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.

Поступила в редколлегию 15.10.2001
