

ЭТАПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЦФ

Существует много методов расчёта как НЦФ, так и РЦФ, т. к. в общем случае отсутствуют аналитические процедуры для расчёта ЦФ, удовлетворяющие требованиям к их частотным характеристикам или к другим характеристикам и параметрам. Методы расчёта зависят от типа фильтра (НЦФ или РЦФ) и его порядка, а также от предъявляемых к нему требований. Требования как для аналоговых, так и для цифровых фильтров часто (но не всегда) задаются в частотной области. **Расчёт ЦФ сводится к определению коэффициентов правой части уравнения (2) или (5) по**

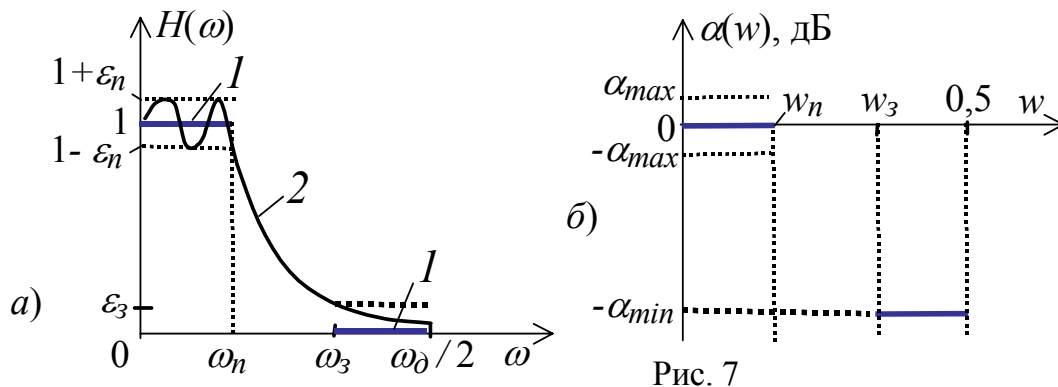


Рис. 7

заданным требованиям к частотным характеристикам (в данной работе к АЧХ) фильтра.

Задача проектирования ЦФ по заданным требованиям к АЧХ решается в несколько этапов:

1. Формулировка требований к АЧХ фильтра.
2. Формулировка задачи аппроксимации заданной АЧХ ЦФ.
3. Расчет разрядностей отсчётов входного сигнала, коэффициентов фильтра и разрядностей регистров оперативной памяти ПЭВМ.
4. Схемная реализация фильтра на базе специализированного процессора или в виде программы для ПЭВМ.
5. Проверка работоспособности синтезированного фильтра (проверка устойчивости (для рекурсивных фильтров), снятие его частотных и временных характеристик и анализ процесса обработки входных сигналов).

В данной работе ограничимся рассмотрением двух методов проектирования **избирательных ЦФ нижних частот** по заданным требованиям к АЧХ без ограничений на ФЧХ. Проектирование **нерекурсивного** фильтра выполняется на основе аппроксимации идеальной АЧХ фильтра (кривая 1, рис. 7, а) модифицированным гармоническим рядом Фурье, а при расчёте и моделировании **рекурсивного** фильтра использован аналоговый метод низкочастотной аппроксимации Чебышева (кривая 2, рис. 7, а) с последующим расчётом цифрового фильтра посредством билинейного преобразования. Фильтры должны быть устойчивы и физически реализуемы.

Исходными данными для расчёта ЦФ являются граничные частоты ω_n и ω_s полос пропускания и задерживания, допуски на отклонение АЧХ от номинального уровня (равного единице) в полосе пропускания ε_n и от

нулевого уровня в полосе задерживания ε_3 , а также частота дискретизации входного аналогового сигнала ω_∂ .

На практике граничные частоты и частотные диапазоны задаются в герцах ($f = \omega/2\pi$). Например, проектируется цифровой фильтр нижних частот с полосой пропускания от 0 до 4,8 кГц и полосой задерживания от 19,2 кГц до 24 кГц. Частота дискретизации 48 кГц. Допуски на отклонение АЧХ от номинального уровня в полосе пропускания $\varepsilon_n = 0,109$ и в полосе задерживания $\varepsilon_3 = 0,01$. На рис. 7, а показаны требования к АЧХ проектируемого фильтра, где жирными линиями показаны номинальные уровни (АЧХ идеального фильтра) в полосе пропускания (1) и в полосе задерживания (0), пунктирными линиями - допуски на отклонения от АЧХ. Требования к АЧХ в переходной полосе в диапазоне частот $\omega_3 - \omega_n$, как правило, не задаются. С уменьшением ε_n , ε_3 и $\omega_3 - \omega_n$ качество фильтра улучшается.

Требования к АЧХ ЦФ при решении аппроксимационной задачи обычно трансформируются в требования к его **характеристике (коэффициенту) затухания α** в децибелах (дБ) при нормированной циклической частоте $w \in (0; 0,5)$ (рис. 7, б)

$$\alpha(w) = -20 \lg |H(w)|,$$

т. е. исходными данными являются $w_n = \omega_n/\omega_\partial = f_n/f_\partial = 4,8/48 = 0,1$; максимальное отклонение коэффициента затухания от номинального уровня в полосе пропускания

$$\alpha_{\max} (\text{дБ}) \leq -20 \lg(1 - \varepsilon_n) \leq -20 \lg(1 - 0,109) \leq 1 \text{ дБ};$$

$w_3 = \omega_3/\omega_\partial = f_3/f_\partial = 19,2/48 = 0,4$; верхняя граница коэффициента затухания (гарантированное затухание сигнала) в полосе задерживания

$$\alpha_{\min} (\text{дБ}) \geq -20 \lg(\varepsilon_3) \geq -20 \lg(0,01) \geq 40 \text{ дБ}.$$

Кроме этого, дополнительно могут быть заданы требования к иным характеристикам фильтра (монотонности или равномерности ослабления в полосе пропускания или задерживания, требования к линейности ФЧХ и др.), влияющим на качество обработки сигналов.

Естественно, что невозможно построить цифровой фильтр с идеальной амплитудно-частотной характеристикой. К ней можно только приблизиться, аппроксимируя заданную идеальную АЧХ полиномиальной или дробно-рациональной функцией. Решив аппроксимационную задачу, определяют параметры N , M , a_n и b_m системной функции $H(z)$ цифрового фильтра, АЧХ $H'(w)$ которого воспроизводит заданную АЧХ $H(w)$ с требуемой точностью, т. е. $H'(w) \approx H(w)$ при $0 \leq w \leq w_n$ и $w_3 \leq w \leq 0,5$.

Ввиду того, что задача аппроксимации требуемой АЧХ не рекурсивных и рекурсивных фильтров решается разными методами, программное обеспечение выполнено в виде двух программ (DNF.exe и DRF.exe), работающих в режимах проектирования и функционирования НЦФ и РЦФ