

КРАТКИЕ НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 621.372.54.037.372.001.24

А. А. ЛАННЭ, Е. К. ТАВАСТШЕРНА, А. О. ТАЛАНОВ,
Д. А. УЛАХОВИЧ, П. В. ЯКОВЛЕВ

ПАКЕТ ПРОГРАММ ПО РАСЧЕТУ И АНАЛИЗУ ЦИФРОВЫХ ФИЛЬТРОВ ДЛЯ ПЕРСОНАЛЬНОГО КОМПЬЮТЕРА ТИПА IBM PC

Цель сообщения — представление нового пакета программ, именуемого FD-1 (Filter Design-1), предназначенного для расчета оптимальных передаточных функций широкого класса цифровых фильтров и анализа их частотных и временных характеристик.

В реальных проектах целесообразной является постановка задачи конструирования передаточной функции, минимизирующей погрешность аппроксимации АЧХ. Наличие многочисленных «неоптимальных» процедур — это не более, чем попытки упростить решение задачи либо ускорить вычислительные процедуры, либо найти вариант решения в условиях, когда оптимальность получить практически невозможно. Однако во всех случаях использование «неоптимальных» методов — это компромисс, так или иначе связанный с «изменой» целям проекта.

Пакет FD-1 включает: программу расчета передаточных функций цифровых фильтров; программу анализа частотных и временных характеристик цифровых фильтров; интерфейсную оболочку, содержащую графический редактор для задания требований к АЧХ.

Программа расчета передаточных функций фильтров позволяет:

1. Рассчитывать коэффициенты оптимальных по Чебышеву нерекурсивных фильтров с линейной ФЧХ и произвольной АЧХ. Вычисления производятся по методике, предложенной в статье Е. К. Тавастшерной, П. В. Яковлевым «Расчет нерекурсивных цифровых фильтров...» (с. 24 ... 29), основанной на комбинации модифицированного алгоритма последовательных чебышевских интерполяций (алгоритма Ремеза) и метода выравнивания максимумов. Программа надежно рассчитывает фильтры до 250-го порядка, но это не означает, что не может быть получено решение для фильтров более высоких порядков: на с. 28 вышеупомянутой статьи приведен пример рассчитанного данным методом ФНЧ 298-го порядка. Имеется возможность расчета фильтров-корректоров, многополосных фильтров, дифференциаторов, интеграторов, преобразователя Гильберта.

2. Рассчитывать передаточные функции рекурсивных фильтров с произвольной АЧХ по оригинальной методике [1]. Последняя основана на численном расчете по заданной АЧХ и доопределенной на всей частотной оси соответствующей ей ФЧХ. Для этого применено дискретное преобразование Гильберта. Далее составляется переопределенная система аппроксимационных уравнений, которая решается методом наименьших квадратов. Для уменьшения погрешности результирующей АЧХ используется специальный прием сканирования линейной составляющей ФЧХ. Сведение нелинейной задачи оптимизации к решению ряда систем линейных уравнений позволило заметно сократить время расчетов. Порядки числителя и знаменателя получаемой передаточной функции одинаковы.

3. Конструировать передаточные функции рекурсивных фильтров на основе билинейного z -преобразования частоты аналоговых фильтров.

прототипов: Беттерворта, Чебышева 1-го рода, Чебышева 2-го рода, Золотарева—Кауэра. Вычисления производятся по стандартным методикам [2, 3]. Высокая скорость вычислений достигается применением аналитических расчетных соотношений. Необходимая точность расчета для фильтров Золотарева—Кауэра обеспечивается численным интегрированием эллиптических интегралов вместо использования рядов θ -функций. Из соображений реализационной целесообразности установлено ограничение порядка рассчитываемых фильтров $N \leq 60$. При достижении порядков, больших 60, пользователю предлагается другой метод расчета, при котором порядок существенно ниже.

По полученной передаточной функции реализуется цифровой рекурсивный фильтр в виде каскадного соединения звеньев первого и второго порядков.

Все вычисления производятся с двойной точностью.

Программа анализа частотных и временных характеристик фильтров позволяет:

1. Одновременно с заданной АЧХ вывести на экран характеристику ГВП или фазочастотную.
2. Получить импульсную характеристику и карту нулей и полюсов передаточной функции.
3. Вывести на экран полученные коэффициенты фильтров и передаточные функции рекурсивных звеньев.
4. Представить структуру рекурсивного фильтра по звену с выводом в отдельное окно схемы звена, номер которого задается пользователем. При этом предъявляются на выбор три варианта структуры данного звена: канонические формы 1, 2 и неканоническая, причем возле каждого символа умножения указывается соответствующий коэффициент.

Неканоническую структуру рекомендуется использовать при реализации фильтра на цифровых сигнальных процессорах семейства TMS 320 [4].

Таблица 1

Параметры	FD-1	DFDP
Рекурсивные фильтры		
Билинейное Z-преобразование	Есть	Есть
Максимальный порядок фильтра	60	40
Произвольная АЧХ	Есть	Нет
Карта нулей и полюсов	Есть	Есть
Структура фильтра и его звеньев	Есть	Нет
Нерекурсивные фильтры		
Симметричная импульсная характеристика	Есть	Есть
Несимметричная импульсная характеристика	Есть	Нет
Максимальный порядок фильтра	250	129
Классические фильтры	Есть	Есть
Многополосные фильтры (максимальное число полос)	12	10
Произвольная АЧХ	Есть	Нет
Метод окна (Кайзера)	Нет	Есть
Общие параметры		
Задание требований:		
графическое	Есть	Нет
табличное	Есть	Нет
в абсолютных единицах	Есть	Есть
в дБ	Есть	Нет
Квантование коэффициентов	Есть	Есть
Анализ частотных и временных характеристик	Есть	Есть
Режим «сканирующий курсор»	Есть	Нет
Генератор кодов ТМ 32010	Нет	Есть

5. Выполнить перечисленные расчеты для фильтра, коэффициенты которого вводятся из подготовленного файла или с клавиатуры.

Интерфейсная оболочка обеспечивает графическое и табличное задание на экране дисплея требований к АЧХ и ее коррекцию с помощью драйвера «мышь» или клавиатуры, причем графический и табличный метод сопряжены. Это означает, что при задании требований в виде таблицы автоматически будет получен соответствующий график, который можно тут же вывести на экран, и наоборот: по заданному на экране дисплея графику программа формирует таблицу. Для удобства анализа всех характеристик реализованы режимы «линза» и «сканирующий курсор», позволяющие изучать «тонкое» поведение характеристики в какой-либо ее области, вплоть до конкретной точки.

Особенности формулирования требований на расчет, пояснения и различные рекомендации даны в соответствующих разделах достаточного обширного справочного сопровождения (Help'a). Кроме того, пакет FD-1 обеспечивает хранение задаваемых требований и результатов расчета в собственной библиотеке и вывод результатов расчета и анализа на графическую печать (используется матричный принтер).

Сравнение пакета FD-1 с известными аналогами.

Наиболее близким из известных авторам аналогичных пакетов является пакет программ DFDP (версия 1.11) [5], перед которым FD-1 имеет ряд преимуществ, что видно из табл. 1.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Поляк М. Н., Неелова О. Л., Таланов А. О. Синтез цифровых фильтров по методу наименьших квадратов // Радиоэлектроника.— № 5.— 1989.— С. 33—38. (Изв. высш. учеб. заведений).
2. Parks T. M., Burrus C. S. Digital Filter Design // J. Wiley & Sons. Inc., 1987.— 342 p.
3. Справочник по расчету и проектированию ARC-схем / Под ред. А. А. Ланнэ.— М.: Радио и связь, 1984.— 368 с.
4. Digital Signal Processing Application with the TMS 32020 Family. Ed. Lin. K. Englewood Cliffs.— No. 1: Prentice-Hall.— 1987.— 725 с.
5. Digital Filter Design Package (DFDP), Atlanta Signal Processors Inc. (ASPI), 770 Spring St. NW, Suite 208, Atlanta, GA 30308, 404/892—7256 (1984).

Поступила в редакцию 12.04.91.

УДК 621.372.542:621.301

В. А. СУЧИЛИН

СИНТЕЗ ДВУМЕРНЫХ НЕРЕКУРСИВНЫХ ЦИФРОВЫХ ФИЛЬТРОВ ПО КРИТЕРИЮ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БАЛАНСА

В работе [1] описана методика синтеза в классе одномерных нерекурсивных цифровых фильтров (НЦФ), в рамках которой использован критерий энергетического баланса

$$\mu = \int_R |H(e^{i\omega})|^2 d\omega / \int_{-\pi}^{\pi} |H(e^{i\omega})|^2 d\omega, \quad (1)$$

подлежащий максимизации, где R — область прозрачности фильтра. Там же было показано, что вычисление коэффициентов НЦФ может быть сведено к частичной проблеме собственных значений симметрической положительно определенной матрицы вида

$$\omega_{nm} = 1/2\pi \int_R \exp(-i\omega(n-m)) d\omega.$$

Целью работы является обобщение методики синтеза [1] в классе 2-мерных НЦФ.

Критерий энергетического баланса, как выражение избирательности 2-мерного фильтра (далее НЦФ) с частотной характеристикой