

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ ФИЛЬТРОВ

Методы цифровой фильтрации сигналов быстро развиваются в последние годы и получают все более широкое распространение. Все чаще появляется возможность заменять аналоговые устройства цифровыми, повышенная стоимость которых компенсируется их высокими эксплуатационными характеристиками.

Автоматизация некоторых этапов синтеза и анализа цифровых фильтров позволяет значительно сократить и удешевить процесс их изготовления.

Процесс расчета основных параметров цифровых фильтров, за исключением некоторых типов нерекурсивных фильтров, обычно легко автоматизируется. Гораздо труднее на стадии проектирования, до построения макета, определить величину шумов квантования, присущих цифровым фильтрам, и их влияние на реальную частотную характеристику фильтра. Эти шумы обусловлены конечной длиной разрядной сетки цифровых устройств и, следовательно, конечной точностью расчетов. Шумы вызываются тремя причинами:

- квантованием входного сигнала;
- квантованием результатов арифметических операций;
- квантованием коэффициентов фильтра.

Аналитические методы анализа шумов сложны и применимы на практике лишь при некоторых допущениях [1]. Не существует единого подхода для всех видов фильтров. Кроме того, поскольку две последние составляющие сильно зависят от структуры фильтра, процедура его расчета должна быть итеративной. С этой точки зрения, метод анализа шумов надо унифицировать, сделать одинаковым для каждой итерации, для каждой структуры.

Этому требованию вполне отвечает имитационное моделирование, которое в сочетании с аналитическими методами расчета дает целый спектр методов анализа шумов с различной степенью приближения к реальному цифровому устройству, реализующему фильтр: от наиболее детальной имитационной модели, реализованной на языке типа Ассемблера, до наиболее абстрактного аналитического расчета. Обе эти крайности характерны тем, что при максимальной точности они очень

трудоемки и малоуниверсальны.

Менее квалифицированного программирования требует имитационная модель, написанная на языке высокого уровня, например ПЛ/И. Этот язык не только обеспечивает универсальность модели, но и позволяет создать несложный интерпретатор [3], что дает возможность специалистам, не знакомым с программированием, проектировать цифровые фильтры с помощью имитационной модели.

Нами была поставлена задача создания пакета прикладных программ, реализующих имитационную модель для проектирования различных цифровых фильтров.

Первая из двух типов моделей - импульсная. Она позволяет получать АЧХ и ФЧХ фильтров и помощью процедуры Быстрого Преобразования Фурье (БПФ) по их отклику на импульсное воздействие самой различной формы. Вторая модель в точности копирует физические испытания аналоговых фильтров набором гармонических сигналов различных частот и обладает значительно меньшим быстродействием. Обе модели могут быть дополнены блоком вычисления статистических параметров шумов квантования. Шумы квантования и погрешность АЧХ, вносимая ими, определяется сравнением результатов работы имитационной модели цифрового фильтра с заданной длиной разрядной сетки и эталонного варианта модели, работающего с плавающей точкой и двойной точностью.

Моделирование арифметики с фиксированной точкой и конечной разрядной сеткой может производиться двумя методами: либо с помощью специальной процедуры квантования, либо - с помощью средств транслятора с языка ПЛ/И.

Подмножество языка ПЛ/И, реализованное в ДОС ЕС, не позволяет использовать атрибуты *BINARY FIXED*, зафиксировав десятичную точку за каким-либо разрядом, кроме старшего. Использование атрибутов *DECIMAL FIXED* (k, ℓ) дает возможность, изменяя ℓ от 1 до 7, имитировать изменение длины разрядной сетки приблизительно с 3 до 24 двоичных разрядов, что ограничивает возможности модели.

Специальная процедура квантования, моделирующая работу АЦП, позволяет менять длину разрядной сетки (т.е. квантовать результаты по заданному числу двоичных разрядов) через каждый бит до 64 двоичных разрядов. На выходе этой процедуры появляется битовая строка, выражающая в двоичном коде квантованный аргумент

процедуры и число с плавающей точкой той же разрядности, что и аргумент, содержащее тот же квантованный результат. Наличие битовой строки дает возможность выдавать на печать в двоичном коде тестовые таблицы, необходимые для наладки макетов цифровых фильтров.

Описанные типы имитационных моделей входят вместе с программами расчета цифровых фильтров в пакет прикладных программ.

С помощью программ этого пакета были рассчитаны и промоделированы цифровые рекурсивные фильтры Чебышева 8-го порядка инфранизкочастотного диапазона: $1,5 \div 2,5$; $3,0 \div 7,5$; $8,0 - 12,5$; $13,0 - 15,0$; $15,5 - 30,0$; $30,5 - 70,0$. Неравномерность в полосе пропускания для них не более $0,1$ ДБ, затухание в полосах непропускания не менее 60 ДБ на октаву. Этот набор цифровых фильтров будет применен для обработки электроэнцефалограмм в медико-биологических экспериментах.

Исследования характеристик рассчитанных фильтров проводилось на имитационной модели первого типа (синусоидальной). Частота дискретизации была выбрана равной 350 Гц, длительность тестового сигнала 5 с. В зависимости от типа фильтра в качестве тестового сигнала была использована дискретная синусоида с частотой от $0,5$ до 150 Гц.

Расчет параметров набора фильтров при объеме программы расчета 150 операторов языка ПЛ/1 занимал 8 минут машинного времени ЭВМ ЕС-1020. Расчет АЧХ одного фильтра на имитационной модели, при заданной длине разрядной сетки, занимал, в зависимости от типа фильтра, от 10 минут до 1 часа машинного времени ЭВМ М-4030. Объем программ моделирования - около 200 операторов.

При построении макета описанного набора цифровых фильтров были использованы рассчитанные на модели тестовые таблицы.

Использование в описанном случае пакета прикладных программ значительно сократило время проектирования и отладки цифровых фильтров.

Проделанная работа дает основания считать, что описанные в статье имитационные модели позволяют эффективно проектировать цифровые устройства обработки информации различных типов.

Л и т е р а т у р а

1. Г о л д Б., Р е й д е р Ч. Цифровая обработка сигналов. М., "Советское радио", 1973, с. 65-180.
2. К у к л и н Г.Н., П ш е н и ч н и к о в В.В., С о й ф е р В.А., С у х а н о в С.В., Ч и х л а д - з е Н.И. Пакет прикладных программ для проектирования цифровых фильтров. В сб.: Автоматизация экспериментальных исследований на основе применения ЭВМ. Материалы всесоюзной конференции. Новосибирск, 1977, с. 284-287.
3. П ш е н и ч н и к о в В.В. Автоматизация экспериментальных исследований. Вып. 9. Куйбышев, КуАИ, 1976.