

УДК 621.3

**Методы синтеза цифровых частотных фильтров**

Жиркова К. Ю.

Научный руководитель – к.т.н., доцент БУЛОЙЧИК Е. В.

Термин «фильтр» как в аналоговой, так и в цифровой технике понимается как устройство, преобразующее входной сигнал в выходной с подавлением или усилением частотных составляющих сигнала из заданной полосы частот.

Процесс разработки цифровых фильтров можно разделить на следующие этапы:

- определение требований к фильтру (задание спецификации);
- выбор типа и определение коэффициентов фильтра;
- выбор структурной формы реализации;
- анализ влияния ошибок, вызванных конечной разрядностью представления данных;
- программная, аппаратная, или программно-аппаратная реализация фильтра.

Второй этап проектирования представляет собой собственно синтез фильтра и заключается в нахождении коэффициентов уравнения 1 по заданной спецификации фильтра:

$$y(n) = - \sum_{m=1}^M a_m y(n-m) + \sum_{k=1}^N b_k x(n-k),$$

где  $a_m$ ,  $b_k$  – некоторые постоянные коэффициенты.

В данной работе были исследованы следующие методы проектирования цифровых частотных фильтров:

- метод инвариантного преобразования импульсной характеристики;
- метод билинейного преобразования;
- метод на основе дискретизации частотной характеристики;
- оконный метод (или метод взвешивания);
- оптимизационный метод.

Был освещен широкий спектр методов разработки фильтров как с бесконечной (БИХ-фильтры), так и с конечной импульсной характеристикой (КИХ-фильтры). При этом необходимо было решить такие задачи, как выбор наиболее предпочтительной системы (с конечной или бесконечной импульсной характеристикой), а также выбор наиболее удобного и наиболее точного метода синтеза частотных фильтров.

Выбор между КИХ- и БИХ-фильтрами зависит от достоинств и недостатков каждого из этих типов с точки зрения конкретной задачи. БИХ-фильтры, например, имеют то преимущество, что в их рамках можно разработать большое число частотно-избирательных фильтров с помощью компактной формулы. Иными словами, как только задача проектирования сформулирована в терминах, подходящих для данного метода, то легко вычисляется порядок искомого фильтра, на котором достигается указанный набор спецификаций, а его коэффициенты (или полюса и нули) определяются прямой подстановкой в систему соответствующих уравнений. Такая упрощенная процедура дает возможность ручного проектирования БИХ-фильтров и позволяет написать прямые неитерационные компьютерные программы, облегчающие разработку БИХ-фильтров. К сожалению, упомянутые методы ограничены частотно-избирательными фильтрами, а с их помощью удастся получить лишь АЧХ. Если требуется другая форма АЧХ или необходимо аппроксимировать предписанную фазу или групповую задержку, то прибегают к алгоритмической процедуре.

С другой стороны, КИХ-фильтры могут иметь (обобщенную) линейную фазу. Однако компактной проектной формулы для разработки КИХ-фильтров не существует. Хотя оконный метод довольно прост для применения, могут потребоваться некоторые итерации для достижения данного набора спецификаций. Оконный метод, как и большинство других алгоритмов, предоставляет возможность аппроксимировать практически любую функцию,

связанную с комплексно частотной характеристикой, быть может, с чуть большими трудностями, чем при проектировании фильтров нижних частот. Кроме того, решение задачи проектирования КИХ-фильтров поддается лучшему контролю, нежели аналогичная задача для БИХ-фильтров, поскольку для них существует критерий оптимальности аппроксимации, применимый в большом числе практических ситуаций.

Экономические вопросы занимают не последнее место при реализации фильтров. Экономическая сторона проектирования измеряется обычно в терминах сложности аппаратного оборудования, микропроцессоров или скорости вычислений. Эти факторы более или менее напрямую зависят от порядка фильтра, обеспечивающего данные спецификации. Если не принимать в расчет фазу, то, как правило, данные параметры АЧХ наиболее эффективно реализуются БИХ-фильтрами. Однако во многих случаях линейная фаза, которую могут обеспечить КИХ-фильтры, вполне оправдывает дополнительные затраты. Более того, узкоспециализированные цифровые процессоры сигналов, или микрокомпьютеры, обладают арифметическими возможностями, разработанными для накопления сумм произведений, как это нужно в КИХ-фильтрах.

Итак, при проектировании цифровых фильтров необходимо учитывать множество иногда противоречивых требований. Очевидно, что окончательный выбор зачастую зависит от инженерной оценки таких вопросов, как набор спецификаций, метод реализации фильтра и программные средства, с помощью которых будет осуществляться проектирование.