

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЦИФРОВОГО ФИЛЬТРА ФУРЬЕ ПРИ ЧАСТОТАХ, ОТЛИЧНЫХ ОТ ПРОМЫШЛЕННЫХ

Диордица В.В.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Румянцев В.Ю.

В наше современное время, компьютеры и компьютерные системы используются во многих сферах, но, сами же компьютеры работают с информацией, представленной в цифровой форме (т. е. дискретной). С появлением компьютеров, также появились и новые виды обработки информации – цифровые фильтры, которые улучшают качество сигнала и снижают действие различных шумов, помех, наводок (высших гармоник), которые являются искажениями в сигнале.

Задача фильтра – снизить воздействие этих самых высших гармоник в сигнале.

В энергетике РБ сейчас наиболее часто используются различные релейные защиты, с использованием цифровых фильтров, построенных на преобразованиях Фурье. Примерами таких защит могут являться микропроцессорные реле, производства БЭМН, типов МР-300, МР-500, МР-600, МР- 700, МР-741, МР-801. Указанные цифровые реле являются многофункциональными (реализуют функции защиты, автоматики, индикации, контроля, местного и дистанционного управления), особой примечательностью подобных реле, это возможность и простота их программирования.

Таким образом, их можно сконфигурировать как угодно, настроить на работу с любыми частотами, отличными от промышленных.

С целью облегчения понимания данного материала, я буду проводить аналогию с звуковыми сигналами (у которых частоты имеют спектр от 20 Гц – 20 кГц).

Вообще, многие сигналы удобно анализировать, раскладывая их на синусоиды (гармоники). Тому есть несколько причин. Например, подобным образом работает человеческое ухо. Оно раскладывает звук на отдельные колебания различных частот. Кроме того, можно показать, что синусоиды являются «собственными функциями» линейных систем (т. к. они проходят через линейные системы, не изменяя формы, а могут изменять лишь фазу и амплитуду).

Преобразование Фурье – это разложение функций на синусоиды. Существует несколько видов преобразования Фурье:

1. Непериодический непрерывный сигнал можно разложить в интеграл Фурье;
2. Периодический непрерывный сигнал можно разложить в бесконечный ряд Фурье;
3. Непериодический дискретный сигнал можно разложить в интеграл Фурье;
4. Периодический дискретный сигнал можно разложить в конечный ряд Фурье.

Компьютер способен работать только с ограниченным объемом данных, следовательно, реально он способен вычислять только последний вид преобразования Фурье.

Вычисление преобразований Фурье требует очень большого числа умножений (около  $N$  в квадрате) и вычислений синусов. Существует способ выполнить эти преобразования значительно быстрее: примерно за операций умножения.

Этот способ называется быстрым преобразованием Фурье (БПФ). Он основан на том, что среди множителей (синусов) есть много повторяющихся значений (в силу периодичности синуса). Алгоритм БПФ группирует слагаемые с одинаковыми множителями, значительно сокращая число умножений. В результате быстрое действие БПФ может в сотни раз превосходить быстрое действие стандартного алгоритма (в зависимости от  $N$ ). При этом следует подчеркнуть, что алгоритм БПФ является точным. Он даже точнее стандартного, т.к. сокращая число операций, он приводит к меньшим ошибкам округления.

Эффект от умножения спектров сигналов при свертке называется фильтрацией. Когда спектры умножаются как комплексные числа, происходит умножение амплитуд гармоник исходного сигнала и ядра свертки. Таким образом, мы получаем возможность изменять спектр сигнала. Это очень полезная операция. Например, в звукозаписи изменение спектра

сигнала позволяет очищать запись от шумов, компенсировать искажения сигнала различными устройствами звукозаписи, менять тембры инструментов, акцентировать внимание слушателя на отдельных партиях. Также фильтрация является составным компонентом многих других, более сложных процессов.

В общем случае, фильтр меняет в спектре сигнала и амплитуды гармоник, и их фазы. Однако фильтры можно проектировать так, чтобы они не меняли фазу сигнала. Такие фильтры называются фильтрами с линейной фазой. Это означает, что если они и меняют фазу сигнала, то делают это так, что все гармоники сигнала сдвигаются по времени на одну и ту же величину. Таким образом, фильтры с линейной фазой не искажают фазу сигнала, а лишь сдвигают весь сигнал во времени.

Основное свойство любого фильтра – это его частотная и фазовая характеристики. Они показывают, какое влияние фильтр оказывает на амплитуду и фазу различных гармоник обрабатываемого сигнала. Если фильтр имеет линейную фазу, то рассматривается только частотная характеристика фильтра. Обычно частотная характеристика изображается в виде графика зависимости амплитуды от частоты (в децибелах).

В зависимости от общего вида частотной характеристики можно выделить следующие распространенные типы фильтров: НЧ-фильтры, ВЧ-фильтры, полосовые фильтры, которые пропускают или подавляют сигнал только в определенной частотной полосе. Существуют и другие типы фильтров с более сложными частотными характеристиками.

Обычно в задачах фильтрации сигнала для фильтра задается требуемая частотная характеристика. Целью является построить фильтр, отвечающий заданным требованиям, и провести фильтрацию. Часто бывает невозможно построить в точности заданный фильтр. Тогда строится фильтр, близкий по характеристикам к заданному.

Часто к фильтрам предъявляются более сложные требования. Например, фильтр может иметь несколько частотных полос пропускания и непропускания. Причем для полос пропускания могут быть заданы разные коэффициенты усиления, а для полос непропускания – разные коэффициенты подавления. Иногда требуемая частотная характеристика фильтра задается вообще произвольной кривой.

Существует множество способов построения фильтров с заданной частотной характеристикой. Мы кратко рассмотрим один из них. Это проектирование фильтров с линейной фазой с помощью взвешивающих окон. Этот способ является универсальным, т.к. позволяет получить фильтр с любой заданной частотной характеристикой. В то же время он достаточно прост и широко применяется. (Будет рассмотрен пример).

Прогресс шагает вперед, а вместе с ним и новые инновации, цифровые вычислительные мощности компьютеров растут, растёт база данных компьютеров, а это всё означает, что качество цифровых фильтров улучшается, они становятся более точными, более быстрыми, более совершенными (близки к идеальным). Ведь, в последнее время цифровые фильтры всё чаще реализуются программным способом на ЭВМ. В программу вписывают все необходимые математические модели, алгоритмы, параметры и т.п., а сами же фильтры реализуются на микропроцессорах. А сам анализ Фурье является фундаментом для многих других методов обработки цифрового сигнала.

В данной работе я на примере звукового сигнала показал принцип функционирования цифрового фильтра Фурье, но, также данный принцип может применяться и в других областях повседневной жизни: электроэнергетике, программировании, фоторедактировании, видеоредактировании и любых других.