

УДК 621.3

АППРОКСИМАЦИЯ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЧАСТОТНЫХ ФИЛЬТРОВ

Брикун Г.А.

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

При проектировании фильтровых устройств радиоэлектронной аппаратуры возникает задача воспроизведения требуемых характеристик физически реализуемой передаточной функцией. Определение коэффициентов составляет основу решения задачи построения математической модели заданных характеристик. Построение можно осуществить с использованием известных полиномов. Однако не всегда ясно, какой из них наиболее целесообразен, если заданы достаточно жесткие требования к неравномерности затухания фильтра в полосе пропускания, коэффициенту прямоугольности и гарантированному затуханию в полосе задерживания. Кроме того, могут быть заданы жесткие требования и к линейности фазочастотной характеристики.

В работе анализируются классические решения задачи аппроксимации частотных характеристик фильтровых устройств радиоэлектронной аппаратуры и определяются требования к моделям амплитудно-частотных и фазочастотных характеристик на основе допустимых искажений сигналов.

В фильтрах расчёт обычно начинают с задания параметров фильтра, самым главным из них является амплитудно-частотная характеристика. Сначала осуществляется приведение требований заданного фильтра к требованиям прототипа фильтра нижних частот. В полосе не пропускаемого сигнала задается минимальный коэффициент подавления мешающего сигнала. Реальная амплитудно-частотная характеристика фильтра может иметь любую форму. Главное, чтобы она не пересекала границы заданных требований.

Достаточно длительное время расчет фильтра вели методом подбора амплитудно-частотной характеристики с помощью стандартных звеньев. Подобный метод назывался методом аппликации. Он был достаточно сложен и не давал оптимального соотношения качества разработанного фильтра и количества звеньев. Поэтому были разработаны математические методы аппроксимации амплитудно-частотной характеристики с заданными характеристиками.

Наиболее распространенными видами аппроксимации являются: аппроксимация по Баттерворту и аппроксимация по Чебышеву. Отличительной особенностью амплитудно-частотной характеристики фильтра Баттерворта является отсутствие минимумов и максимумов в полосе пропускания и задерживания.

Спад амплитудно-частотных характеристик на границе полосы пропускания этих фильтров равен 3 дБ. Если от фильтра требуется меньшее значение неравномерности в полосе пропускания, то верхняя частота фильтра выбирается выше заданной верхней частоты полосы пропускания. Функция аппроксимации амплитудно-частотных характеристик для фильтра нижних частот – прототипа фильтра Баттерворта ($k^2(\omega)$) представляет собой обратную зависимость от нормированной частоты так же завися от порядка фильтра. При этом реальную амплитудно-частотную характеристику разрабатываемого фильтра можно получить, умножив нормированную частоту на частоту среза фильтра.

Отличительной особенностью фильтров Чебышева является более крутой спад амплитудно-частотной характеристики и существенные пульсации амплитудно-частотной характеристики на частотах полос пропускания и подавления, чем у фильтров других типов. Неравномерность функции аппроксимации амплитудно-частотной характеристики фильтра Чебышева вызывается большей добротностью полюсов. При этом амплитудно-частотную характеристику реального фильтра Чебышева точно также, как и в фильтре Баттерворта

можно получить, умножив нормированную частоту на частоту среза разрабатываемого фильтра.

Однако есть еще один класс фильтров, амплитудно-частотная характеристика которых носит колебательный характер как в полосе пропускания, так и в полосе подавления. Это эллиптические фильтры, или как их еще называют фильтры Кауэра (в отечественной литературе часто их еще называют фильтрами Золотарева-Кауэра).

Обобщим все вышесказанное. Фильтр Баттерворта обладает самой широкой переходной полосой среди всех фильтров, но у него максимально-гладкая амплитудно-частотная характеристика. Внесение в амплитудно-частотная характеристика фильтра Баттерворта колебаний приводит к фильтрам Чебышева, переходная полоса которых уже, чем у фильтра Баттерворта. Так равноволновые колебания в полосе пропускания приводят к фильтрам Чебышева первого рода, а равноволновые колебания в полосе заграждения к фильтрам Чебышева второго рода. Внесение равноволновых колебаний как в полосу пропускания, так и в полосу заграждения амплитудно-частотная характеристика приводит к эллиптическому фильтру с минимальной переходной полосой. При этом, как мы заметили, для разной аппроксимации задаются различные исходные данные для расчета. К примеру, в фильтрах Баттеворта задается только порядок фильтра, а неравномерность в полосе пропускания и уровень подавления в полосе заграждения не задаются. В фильтрах Чебышева первого рода задаются порядок фильтра и неравномерность в полосе пропускания, а уровень подавления в полосе заграждения не задается. В фильтрах Чебышева второго рода задаются порядок фильтра и уровень подавления в полосе заграждения, а неравномерность в полосе пропускания не задается. А в эллиптическом фильтре задаются все три параметра. Кроме того, можно рассчитать любой фильтр путем задания «коридора амплитудно-частотной характеристики» и расчета порядка фильтра через уравнение.