

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ СИНТЕЗА ЧАСТОТНО-ИЗБИРАТЕЛЬНОЙ ЦЕПИ С ОПТИМАЛЬНЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ С ПОМОЩЬЮ АЛГОРИТМА ОПТИМАЛЬНОГО СИНТЕЗА ПО ЗАДАННОМУ КРИТЕРИЮ

Дубовик И. А.

Кафедра автоматики, радиолокации и приёмо-передающих устройств, Военная академия Республика Беларусь
Минск, Республика Беларусь
E-mail: duba-77@mail.ru

В данной докладе показан пример решения задачи синтеза частотно-избирательной цепи с оптимальными характеристиками с помощью алгоритма оптимального синтеза по заданному критерию

ВВЕДЕНИЕ

Проектирование устройств с оптимальными частотными характеристиками является одной из важнейших радиотехнических проблем. Чаще всего требуемая реакция цепи задаётся в форме графика или таблицы, а наиболее подходящую функцию цепи необходимо получить по заданной идеальной характеристике [1]. Для решения данной задачи используются аппроксимирующие функции (АФ).

По полученным результатам в [2], можно сделать вывод о том, что для улучшения одного параметра АФ зачастую необходимо ухудшить другие. Это обусловлено низкими вариативными свойствами аппроксимирующей функций. Из-за этого разработчику приходится отказываться от выбранной АФ или увеличивать ее порядок, что приводит к усложнению реализации функции. Таким образом, проблема аппроксимации является первым шагом в синтезе частотно-избирательных цепей.

СИНТЕЗ ЧАСТОТНО-ИЗБИРАТЕЛЬНОЙ ЦЕПИ С ПОМОЩЬЮ АЛГОРИТМА ОПТИМАЛЬНОГО СИНТЕЗА ПО ЗАДАННОМУ КРИТЕРИЮ

Частотно-избирательную цепь, возможно синтезировать различными способами. Это обстоятельство предоставляет возможность использовать, для выбора из совокупности вариантов, наилучший по некоторому признаку, что позволит осуществить оптимальный синтез [3]. Существует множество параметров частотно-избирательной цепи, которые целесообразно оптимизировать. Однако совершенно очевидно, что принцип оптимизации неизбежно должен присутствовать в самой постановке проблемы синтеза, т.е. решение задачи аппроксимации. Только при этом условии можно осуществить оптимальный синтез цепи.

Для решение задачи аппроксимации был разработан алгоритм (рисунок 1). Данный алгоритм позволяет осуществить оптимальный синтез частотно-избирательной цепи за счет вы-

бор наиболее подходящей АФ, которая наилучшим образом воспроизводит требуемые характеристики цепи по отношению к другим АФ на основании критерия, по которому оптимизируется частотно-избирательная цепь. В качестве критериев в алгоритме используются такие критерии как: минимизация порядка частотно-избирательной цепи, минимизация величины неравномерности ГВЗ и минимизация ошибки аппроксимации при заданных значениях параметров АФ.

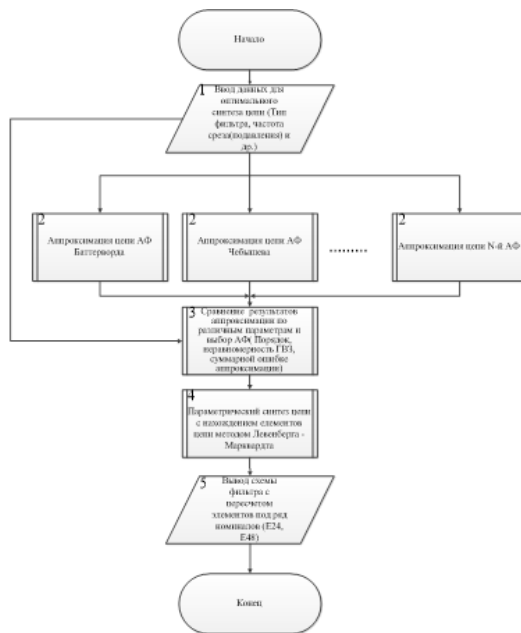


Рис. 1 – Алгоритм оптимального синтеза частотно-избирательной по заданному критерию

Работа алгоритма начинается с ввода необходимых параметров для его работы (тип фильтра (НЧ, ВЧ, ПП, ПЗ), частота среза, частота подавления, искажение в ПП, коэффициент подавления, граничные частоты и (для ПП или ПЗ типов частотно – избирательных цепей), критерий или критерии по которым будет осуществляться оптимальный синтез, доп. параметры для АФ). После ввода входных параметров осуществляется аппроксимация требуемой характеристики.

Определяется порядок, полюса АФ, для определения расположения полюсов используется аналитическое продолжение на плоскость комплексной частоты $s = \pm\sigma \pm j\omega$. После преобразования функции передачи, на плоскость комплексную частоты, находится функция коэффициента отражения из выражения (1) и вычисляются полюса и нули функции коэффициента отражения.

$$K(-s^2) = 1 - \rho(s)\rho(-s) \quad (1)$$

Используются полюса находящиеся в левой полуплоскости и нули передачи АФ находящиеся на мнимой оси комплексной плоскости. Нули передачи АФ не должны быть кратными для получения устойчивости и физически реализуемости частотно-избирательной цепи. После вычисляется функция входного сопротивления НЧП и приводится к виду выражению (2):

$$Z(s) = \frac{\alpha_0 + \alpha_1 s + \dots + \alpha_{m-1} s^{m-1}}{\beta_0 + \beta_1 s + \dots + \beta_m s^m} \quad (2)$$

для последующего вычисления КПМ (коэффициента передачи мощности) по формуле, показанной в выражении (3):

$$K_p(\omega) = \frac{4R_c Re(Z(\omega))}{(Re(Z(\omega)) + 1)^2 + Im(Z(\omega))^2} \quad (3)$$

где n – степень полинома числителя; m – степень полинома знаменателя; $Re(Z(\omega))$ – реальная часть функции входного сопротивления; $Im(Z(\omega))$ – мнимая часть функции входного сопротивления.

После аппроксимации требуемой характеристики, в зависимости от критерия (критериев) оптимизации, которые были определены на первом этапе работы алгоритма, будет выбрана одна из АФ, которая наилучшим образом воспроизводит требуемую характеристику по заданному критерию или критериям.

В случае выбора оптимального критерия "оптимизация по наименьшему порядку" рассчитанные значения порядка АФ сравниваются между собой и выбирается та АФ, которая обеспечивает наименьший порядок. Если в качестве оптимального критерия была выбрана "оптимизация по неравномерности ГВЗ" то тогда вычисляется функция ГВЗ АФ по формуле (4):

$$T(\omega) = -\partial(\alpha \tan(Im(Z(\omega))/Re(Z(\omega))))/\partial\omega \quad (4)$$

В последующей находится неравномерность функции ГВЗ в полосе $[0, \omega]$. После вычисляется максимальное и минимальное значение функции ГВЗ в этой полосе с последующим вычислением разности максимального и минимального значения по формуле (5):

$$\max(T(\omega)) - \min(T(\omega)) = \theta \quad (5)$$

где θ – неравномерность ГВЗ функции входного сопротивления частотно – избирательной цепи.

Выбирается та АФ, которая имеет минимальное значение θ по отношению к другим АФ. В случае выбора оптимального критерия "величина суммарной квадратичной ошибки аппроксимации оценивается ошибка аппроксимации по среднеквадратичному критерию в полосе пропускания и в полосе подавления.

Если выбрано несколько критериев оптимального синтеза порядок выбора осуществляется в той последовательности, который был указан на первом этапе работы алгоритма.

Выбрав АФ, которая наилучшим образом воспроизводит требуемую характеристику по отношению к другим АФ, осуществляется построение лестничной схемы с количеством плеч равных порядку функции сопротивления частотно-избирательной цепи. Для расчета элементов цепи используется метод неопределенных коэффициентов, который был описан в [2], с нахождением значения элементов цепи методом Левенберга – Марквардта. В зависимости от типа частотно-избирательной цепи (НЧ, ВЧ, ПП, ПЗ), которые были определены на первом этапе работы алгоритма, осуществляется преобразование НЧП в один из типов частотно-избирательной цепи.

Конечным итогом работы алгоритма является приведение значений элементов к элементам под ряд номиналов (Е24, Е48). В качестве проверки работоспособности алгоритма был синтезирован полосовой фильтр с параметрами: несущая частота 10МГц, полоса 4МГц, коэффициент подавления 60Дб, величина искажения 0,5 Дб, критерий: минимизация неравномерности ГВЗ. По итогам синтеза частотно-избирательной цепи была выбрана АФ Баттерворда [2]. Данная АФ обеспечивает минимальное значение неравномерности ГВЗ по отношению к другим АФ. Полученные результаты не противоречат апробированным данным [1].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Благодаря использованию алгоритма оптимального синтеза частотно-избирательной цепи по заданному критерию решается задача аппроксимации, которая является первым шагом в синтезе частотно-избирательных цепей. Решение данной задачи позволяет наиболее точно воспроизвести требуемую характеристику цепи. Таким образом, потребитель получит частотно-избирательной цепи с требуемой оптимальной характеристикой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Карни, Ш., Теория цепей. Анализ и синтез/Ш.Карни. – М. Связь, 1973. – 269 с.
2. Дубовик, И.А. Способы аппроксимаций частотных характеристик в задачах широкополосного согласования и фильтрации: дис. маг-ра тех. наук: 1-39 80 02 / И.А. Дубовик. – Минск, 2018. – 92 л.
3. Ланнэ, А.А. Оптимальный синтез линейных электрических цепей / А.А. Ланнэ. – М.: Связь, 1969. – 294 с.