

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по проведению практического занятия №7

Тема занятия:

**СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ АНАЛОГОВЫХ ПАССИВНЫХ
ФИЛЬТРОВ**

В начале этого занятия, которое проводится в дисплейном классе, следует обсудить основные вопросы, связанные с двумя этапами синтеза аналоговых фильтров высокого порядка: этапом решения задачи аппроксимации и этапом решения задачи реализации. Студентам предлагается вспомнить понятие низкочастотного прототипа, который используется на первом этапе синтеза, дать краткую характеристику трём наиболее часто используемым типам аппроксимирующих функций: по Баттерворту, по Чебышеву и по Кауэру-Золотарёву (так называемая эллиптическая аппроксимация), а также записать выражения для четырёх видов частотного преобразования.

В результате такого обсуждения студенты должны чётко представлять примерный вид АЧХ ФНЧ, ФВЧ, ПФ и РФ при различных типах аппроксимирующих функций с расстановкой граничных частот для задания на расчёт соответствующей характеристики.

Далее преподаватель должен ознакомить студентов с методикой синтеза аналоговых *RLC*-фильтров с помощью программы *Micro-Cap 10demo* и сформулировать методические указания по компьютерному исследованию их частотных характеристик. Эти методические указания сопровождаются решением конкретного примера, которое должно синхронно повторяться студентами всех бригад на своих компьютерах.

7.1. Методические указания

7.1.1. Синтез пассивных RLC- фильтров

Синтез аналоговых фильтров выполняется по командам *PassiveFilters...* (пассивные фильтры) и *ActiveFilters...* (активные фильтры на базе операционных усилителей) выпадающего меню *Design*. Обе эти команды имеют однотипные диалоговые окна для ввода задания на синтез. На данном занятии изучается методика синтеза пассивных фильтров, которая заключается в следующем.

Сначала в окне для задания параметров фильтра на закладке *Design* (Проектирование) задаются исходные данные для проектирования:

- в разделе *Type* (тип) выбирается тип фильтра:
Low-Pass – фильтр нижних частот,
High-Pass – фильтр верхних частот (ФВЧ),
Bandpass – полосовой фильтр (ПФ),
Notch – режекторный фильтр (РФ);
- в разделе *Response* (характеристика) выбирается тип аппроксимирующей функции:
Butterworth – полином Баттерворта,
Chebyshev – полином Чебышева,
Elliptic – эллиптическая аппроксимация;
- в разделе *Specifications* (детализация) задаются параметры синтезируемого фильтра.

Задание параметров фильтра может производиться в двух вариантах, которые обозначены как *Mode 1* и *Mode 2*.

В режиме *Mode 1* для ФНЧ и ФВЧ задаются:

- коэффициент передачи K_0 в полосе пропускания (*Passband Gain*), выраженный в децибелах;

- величина неравномерности АЧХ в полосе пропускания (*Passband Ripple (R)*), выраженная в децибелах;
- величина затухания в полосе задерживания (*Stopband Attenuation (A)*), выраженная в децибелах;
- граничная частота полосы пропускания (*Passband (F_c)*);
- граничная частота полосы задерживания (*Stopband (F_s)*).

Для ПФ и РФ кроме того, задаётся центральная частота фильтра (*Center Frequency(F_c)*), а вместо граничных частот полосы пропускания и полосы задерживания указываются значения ширины этих частотных областей: *Passband (PB)* и *Stopband (SB)*. При использовании режима *Mode 1* порядок синтезируемого фильтра определяется автоматически.

В режиме *Mode 2* для ФНЧ и ФВЧ задаются:

- коэффициент передачи K_0 в полосе пропускания (*Gain*), выраженный в децибелах;
- граничная частота полосы пропускания (*Passband Frequency*);
- величина неравномерности АЧХ в полосе пропускания (*Ripple*), выраженная в децибелах;
- порядок фильтра (*Order*).

Для ПФ и РФ кроме того, задаётся центральная частота фильтра (*Center Frequency*), а вместо полосы пропускания задаётся добротность фильтра Q (отношение центральной частоты к полосе пропускания).

В окне *Poles and Zeros* (полюсы и нули) выводятся значения частоты (F_0) и добротности (Q_0) полюсов передаточной функции синтезированного фильтра, а также (для РФ) значения частоты нулей (FN).

Если нажать кнопки диалогового окна *Bode*, *Step* или *Impulse*, то в открывшемся окне будут нарисованы амплитудно-частотная, переходная или импульсная характеристики идеализированного фильтра

соответственно. Кроме того, при нажатии кнопки *Bode* возможен вывод коэффициента передачи, фазы и групповой задержки или одной из этих функций в зависимости от установок в закладке *Options*.

Нажатие кнопки *OK* на этой панели вызывает построение схемы фильтра, соответствующей введённым спецификациям.

На закладке *Implementation* (Реализация) выбирается тип реализации пассивного фильтра (*Standart* или *Dual*) и указываются значения сопротивлений генератора/нагрузки (*Source/Load Resistor*). Масштабный коэффициент (*Impedance Scale Factor*) используется для изменения значений параметров всех пассивных компонентов: на него умножаются сопротивления резисторов и индуктивности катушек, на него делятся значения ёмкостей всех конденсаторов.

На панелях *Resistor Values*, *Capacitor Values* и *Inductor Values* указывается, какие значения номиналов элементов схемы следует использовать при реализации фильтра – точно рассчитанные (*Exact*) или округлённые до ближайших стандартных значений, перечень которых приведён в специальных файлах.

На закладке *Options* (Опции) выбирается формат представления численных значений номиналов компонентов (*Component Value Format*) и параметров передаточных функций фильтров (*Polynomial Format*). На панели *Plot* (Построить график) выбирается перечень характеристик, графики которых будут построены при нажатии на кнопки этой панели.

Здесь *Gain* означает построение АЧХ, *Phase* – построение ФЧХ, *Group Delay* – зависимости группового времени запаздывания от частоты. Если при выборе нескольких характеристик (например, АЧХ и ФЧХ) отмечена также позиция *Separate Plots*, то эти характеристики будут построены на различных графиках. На панели *Save To* выбирается один из двух вариантов изображения схемы фильтра:

- *New Circuit* – на новой схеме;
- *Current Circuit* – на существующей схеме.

На панели *Create* (Создать) выбирается тип реализации фильтра:

- *Circuit* – в виде принципиальной схемы;
- *Macro* – в виде макромодели.

7.1.2. Исследование частотных характеристик пассивных фильтров

Синтезированная схема фильтра должна быть исследована стандартными средствами пакета *Micro-Cap10 demo* в режиме анализа частотных характеристик (*Analysis>AC...*) и в режиме анализа переходных процессов (*Analysis>Transient...*).

Помимо расчётов АЧХ при точных значениях номиналов компонентов схемы студентам нужно оценить влияние случайного разброса номиналов на параметры частотных характеристик. Для этого предлагается провести анализ методом статистических испытаний (методом Монте-Карло).

Перед выполнением этого анализа целесообразно предложить студентам рассказать о сущности этого метода, используя материалы лекций по дисциплине «Основы компьютерного проектирования РЭС», а также описание этого режима моделирования в лабораторной работе «Исследование модели резистивного усилителя».

Последние 20-25 минут этого занятия следует посвятить консультации, связанной с выполнением студентами индивидуального расчётного задания.