

АЛГОРИТМЫ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РАДИОПРИЕМНОГО УСТРОЙСТВА

В.В. Любчинова, В.В. Соседко, А.Г. Янишевская, И.В. Крысова (ОмГТУ)

Представлены алгоритмы этапов проектирования РПУ: определение числа поддиапазонов и их границ, определение промежуточной частоты и расчет усилителя радиочастот для радиоприемного устройства. Описана функциональность ПО «Программа расчета преселектора» и «Программа расчета усилителя».

Ключевые слова: радиоприемное устройство, число и границы поддиапазонов, промежуточная частота, усилитель радиочастот, преселектор.

Введение

Устройства, принимающие радиосигналы, встречаются в обыденной жизни практически на каждом шагу. Это и бытовые УКВ-радиоприемники, и магнитолы, и сотовые телефоны, давно и прочно вошедшие в нашу жизнь, а также другие более сложные устройства, например, радиолокационная станция (радар). Процесс проектирования таких устройств достаточно сложен, он сопровождается решением задач, связанных с моделированием и расчетами. Его автоматическая реализация в полном объеме без участия человека в общем случае невозможна, поскольку это творческий процесс, недоступный для выполнения программным обеспечением. Однако для оптимизации этого процесса, заключающегося в сокращении времени и стоимости проектирования, а также в исключении ошибок, необходимо максимально автоматизировать все этапы разработки и выстроить взаимосвязи между ними. Автоматизация работ предполагает проведение их формализации, то есть представление какого-либо процесса в виде формальной системы или последовательности действий. Далее последовательность действий служит основой для разработки алгоритма, а на основе алгоритма проводятся работы по его автоматизации с помощью разрабатываемого программного обеспечения. Задача автоматизации процессов разработки радиоприемных устройств (РПУ) на сегодняшний день не имеет решения в виде полностью автоматизированных этапов ее выполнения. Методологии автоматизированного проектирования радиоустройств, а также смешанное моделирование трактов радиоприемных устройств реализуются в ПО Advanced

Design System (ADS) [1, 2], однако далее процесс необходимо автоматизировать и интегрировать с другими стадиями разработки.

Для устранения указанных недостатков были формализованы стадии разработки РПУ, разработаны алгоритмы: определения числа поддиапазонов и их границ, определения промежуточной частоты, расчета усилителя радиочастот для радиоприемного устройства. Далее было разработано ПО, реализующее указанные алгоритмы и, тем самым, ускоряющее процесс проектирования и облегчающее труд разработчика. Кроме того, ПО позволяет оценить правильность выбора элементной базы для получения заданных параметров разрабатываемого изделия.

Структура радиоприемного устройства или радиоприемника

Самым распространенным типом современных РПУ являются супергетеродинные приемники [3] (рис. 1), к основным узлам которых относятся линейный тракт и демодулятор. Линейный тракт состоит из входной цепи (ВЦ), усилителя радиочастоты (УРЧ), образующих преселектор, а также смесителя (С), гетеродина (Г) и усилителя промежуточной частоты (УПЧ).

Принцип действия РПУ супергетеродинного типа.

На входную цепь поступает сигнал, который, проходя через усилитель радиочастоты, достигает уровня, который будет выше уровня шумов смесителя для обеспечения избирательности по зеркальному и побочным каналам. Этот сигнал поступает на один вход смесителя. На второй вход смесителя поступает сигнал с гетеродина, посредством которого происходит перестройка приемника по диапазону рабочих частот. Усилитель промежуточной частоты необходим для развязки между каскадами усиления, чтобы наводки не вызывали самовозбуждения колебаний.

Процесс проектирования радиоприемного устройства начинается с разработки схемы преселектора (входная цепь и усилитель радиочастоты) [4].

Алгоритм определения числа поддиапазонов и границ

Для радиоприемного устройства, работающего в широком диапазоне частот, общий диапазон целе-

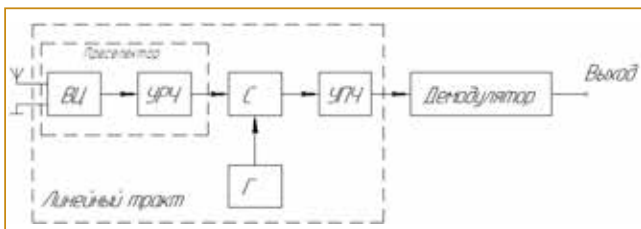


Рис. 1. Функциональная схема приемника супергетеродинного типа

1 →

2 →

3 →

Задать коэффициент перекрытия диапазона

f_{min} МГц Q_0

f_{max} МГц

Избирательность по зеркальному каналу дБ

Поддиапазоны:

f1	f2
1,5 МГц	2,3 МГц
2,21 МГц	3,44 МГц
3,31 МГц	5,17 МГц
4,96 МГц	7,75 МГц
7,44 МГц	11,62 МГц
11,17 МГц	17,43 МГц
16,75 МГц	25 МГц

Рассчет числа поддиапазонов

$K_d = 16,6666666666667$ $N_{pd} = 7$

Определение структуры преселектора

$f_{pr} = 900$ кГц

Количество контуров преселектора $n = 2$

f_{min} (гетеродина) 2,4 МГц

f_{max} (гетеродина) 25,9 МГц

Рис. 2. Окно программы «Расчет преселектора»

сообразно разбить по типам волн на несколько диапазонов, которые для повышения точности РПУ далее делятся на поддиапазоны. При этом необходимо учесть перекрытие поддиапазонов. Например, в [5] диапазон рассчитывается без перекрытия, поэтому значения крайних частот поддиапазонов для обеспечения перекрытия необходимо изменить. Расчеты выполняются в рабочей среде MATLAB.

Определяется коэффициент перекрытия диапазона. Далее определяется число поддиапазонов и коэффициент перекрытия для каждого поддиапазона с максимальной и минимальной частотами диапазона. После этого рассчитываются граничные частоты поддиапазонов.

Рассчитывается подавление зеркального канала, оперируя эквивалентной добротностью нагруженных контуров преселектора, промежуточной частотой, максимальной частотой принимаемого сигнала и числом контуров преселектора.

Если промежуточная частота задана, определяется расстройка зеркального канала.

Алгоритм определения промежуточной частоты
Для заданной промежуточной частоты определяется обобщенная расстройка зеркального канала при верхней и нижней настройке гетеродина с учетом эквивалентного затухания контуров.

Если промежуточная частота попадает в диапазон рабочих частот, необходимо увеличить число контуров преселектора. Тракт промежуточной частоты должен обеспечить избирательность по соседнему каналу [6].

Для определения коэффициента усиления линейного тракта рассчитывают чувствительность приемника, оперируя постоянной Больцмана K , абсолютной температурой T (равна 290 К), внутренним сопротивлением антенны, коэффициентом шума РПУ, превышением мощности сигнала над мощно-

стью шумов на выходе РПУ, полосой пропускания РПУ [7]. Для выполнения требования к подавлению зеркального канала необходимо выбрать подходящее значение промежуточной частоты.

Алгоритм расчета усилителя радиочастот

Расчет усилителя начинается с выбора транзистора, который обеспечит наибольшее усиление полезного сигнала в рабочем диапазоне частот. Выбирается схема соединения и рассчитывается значение коэффициента усиления для выбранного транзистора. При расчетах используются справочные параметры транзистора и емкостные параметры транзистора. На следующем шаге рассчитываются

индуктивность контура, оперируя промежуточной частотой и емкостью контура. Далее рассчитывается характеристическое сопротивление и определяется собственная проводимость контура в зависимости от его добротности.

На следующем шаге рассчитывается полоса пропускания, эквивалентная проводимость контура и полоса пропускания одного контура; определяются коэффициенты связи и собственная емкость контура. Используя эти величины, рассчитывается коэффициент усиления и проверяется корректность расчета.

После этого определяются собственная проводимость контура, резонансный коэффициент усиления каскада, коэффициент усиления по мощности и нормальный коэффициент усиления.

Разработанное программное обеспечение

На основании предложенных алгоритмов были разработаны: «Программа расчета преселектора» и «Программа расчета усилителя».

В программе расчета преселектора реализован расчет поддиапазонов и промежуточной частоты (рис. 2).

1) Пользователь вводит значения минимальной (F_{min}) и максимальной (F_{max}) частот, значение коэффициента перекрытия диапазона и избирательность по зеркальному каналу. При этом эквивалентная добротность нагруженных контуров преселектора (Q_0) определяется техническим заданием.

2) Поддиапазоны и промежуточная частота рассчитывают параллельно и независимо друг от друга. При нажатии на кнопку «Расчет числа поддиапазонов» производятся расчеты по соответствующему алгоритму (коэффициент перекрытия диапазона K_d и число поддиапазонов N_{pd}). Полученные значения граничных частот каждого поддиапазона (F_1 и F_2) выводятся в правой части программы.

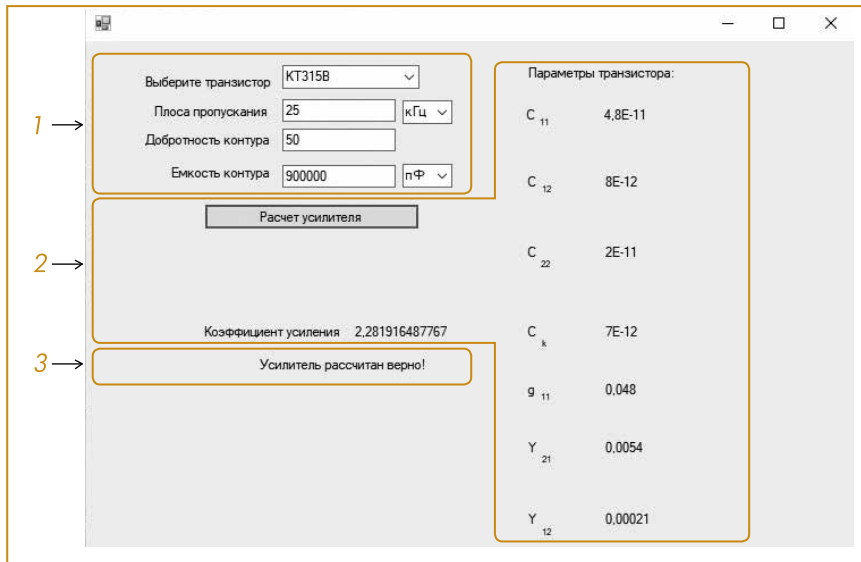


Рис. 3. Окно программы «Расчет усилителя»

3) При нажатии на кнопку «Определение структуры преселектора» производится расчет промежуточной частоты и граничных частот гетеродина. Зная эти данные, инженер быстрее определит, какую схему выбрать для входной цепи, входящей в преселектор. Также данные, рассчитанные в этой программе, сохраняются в файл и будут использованы программой расчета усилителя.

Программа расчета усилителя позволяет определить оптимальные параметры усилителя (рис. 3)

1) Пользователь выбирает из перечня транзистор, вводит значение полосы пропускания, выбирает порядок значения частоты, вводит значение емкости контура, значение эквивалентной добротности контура ($Q\omega$). Значение промежуточной частоты берется из программы для ее расчета, и считывается из файла, в который было сохранено это значение из программы расчета преселектора.

2) При нажатии на кнопку «Расчет усилителя» пользователь в правой части окна программы отображаются данные о параметрах выбранного транзистора, а под кнопкой «Расчет усилителя» - рассчитанное значение коэффициента усиления.

3) Сообщение «Усилитель рассчитан верно!» говорит о том, что транзистор подобран правильно. Если появляется сообщение «Неверный выбор транзистора», это означает, что с выбранным транзистором невозможно получить требуемый коэффициент усиления, который будет меньше либо равен резо-

Радио - это средство развлечения, которое позволяет миллионам людей слушать ту же самую шутку в одно и то же время, и при этом оставаться одиночками.

Томас Стернз Элиот

нансному коэффициенту усиления каскада при выбранном транзисторе. В этом случае необходимо подобрать другой транзистор.

Заключение

Предложенные алгоритмы определения числа поддиапазонов и их границ, определения промежуточной частоты и расчета усилителя радиочастот, а также программы, их реализующие, дополняют существующие наработки в области проектирования РПУ и позволят организовать комплексный процесс разработки РПУ, что существенно ускорит процесс разработки радиоприемного устройства и облегчит труд разработчика.

Список литературы

1. Руководство пользователя системы Advanced Design System (ADS). Автоматизированное проектирование аналоговых радиотехнических устройств в системе Advanced Design System (ADS). http://cmpo.vlsu.ru/reason/wp8/index_r.html.
2. Учебник по ADS на русском! <https://community.keysight.com>
3. Stagner C., Conrad A., Osterwise Ch., Beetner D.G. and Grant S. A Practical Superheterodyne-Receiver Detector. Using Stimulated Emissions // IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. 2011. May
4. Tohidian M., Madadi I., Staszewski R.B. A Fully Integrated Discrete-Time Superheterodyne Receiver // IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) systems. 2016. Vol. 25. № 2.
5. Буга Н.Н., Фалько И.А., Чистяков Н.И. Радиоприемные устройства // М.: Радио и связь, 1986. 320 с.
6. Поляков В.Т. Радиолобителям о технике прямого преобразования // М.: Патриот, 1990. 264 с.
7. Жуковский А.П. Радиоприемные устройства // М.: Высш. Школа. 1989. 342 с.

*Любчинова Виктория Витальевна - преподаватель,
Соседко Виталий Владимирович — канд. техн. наук, доцент,
Янишевская Анна Генриховна — д-р техн. наук, проф.,*

*Крысова Ирина Викторовна - канд. техн. наук, доцент кафедры "Инженерная геометрия и САПР" ОмГТУ.
E-mail: vikache13@gmail.com, vvs1976@yandex.ru, yanish@mail.ru, omsk11@rambler.ru*