

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра общей физики

Компьютерное моделирование усилителя мощности в диапазоне 2–4 ГГц

АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ

студента 2 курса 2223 группы Института физики

направления 03.04.02 «Физика»

код и наименование направления

Белоножкина Сергея Асеновича

фамилия, имя, отчество

Научный руководитель,

 профессор, д.т.н., _____

должность, уч. степень, уч. звание

дата, подпись

 А.Л. Хвалин

инициалы, фамилия

Заведующий кафедрой общей физики,

 профессор, д.ф.-м.н., _____

должность, уч. степень, уч. звание

дата, подпись

 А.А. Игнатъев

инициалы, фамилия

Саратов 2021 год

Введение

Создание мощных транзисторных СВЧ усилителей с перекрытием по частоте 2:1 и более является сложной технической задачей, требующей решения ряда схемотехнических, конструкторских и технологических проблем.

Решение этих проблем открывает возможности создания в сантиметровом диапазоне полностью твердотельных широкополосных усилителей с мощностями десятки ватт для замены ЛБВ в целом ряде их традиционных применений. Базисом для эффективной работы в этом направлении является применение современных средств САПР, в том числе моделирования СВЧ устройств.

Актуальностью данной работы является создание конкурентоспособной аппаратуры, путем параметрической оптимизации устройства, в основе которого лежит отечественная элементная база.

Целью и задачами данной выпускной квалификационной работы является:

1. Компьютерное моделирование СВЧ усилителя мощности в диапазоне 2 – 4 ГГц, с двумя параллельными модулями усиления, на основе отечественного биполярного транзистора 2Т(КТ)937Б-2.
2. Расчет и параметрическая оптимизация всех сегментов модели – делителей-сумматоров, каскадов усиления и основных частотных характеристик всего устройства в САПР «AWRMicrowaveOffice».
3. Сравнение полученных основных параметров модели с параметрами зарубежного усилителя мощности, работающего в аналогичном диапазоне частот.

1. Общие сведения об усилителях

1.1 Основные свойства и характеристики усилителей.

Усилитель это устройство, преобразующее сигнал малой мощности в сигнал большей мощности за счёт энергии источника питания.

Применяемые на практике усилители являются достаточно сложными устройствами, которые содержат в себе несколько усилительных каскадов,

обеспечивающих не только усиление входного сигнала, но и согласование с источником и нагрузкой. Усилительный каскад это минимальный функциональный блок, обеспечивающий усиление сигнала. Обычно в его состав входят один или несколько усилительных элементов (электронный прибор, обеспечивающий усиление сигнала — транзистор), цепи обратной связи, элементы обеспечивающие режим по постоянному току, и т. д.

1.2 Усилительный каскад с общей базой (ОБ)

Внешнее отличие от схемы с ОЭ заключается в том, что база транзистора через блокировочный конденсатор большой емкости C_6 по переменному току соединена с общим проводом, а входной сигнал подается на эмиттер транзистора. Режим по постоянному току (рабочая точка) задается как и в схеме с ОЭ с помощью резисторов R_1 , R_2 , R_3 . Назначение конденсаторов C_1 , C_2 такое же, как и в каскаде ОЭ. Нагрузка для переменного тока, как и в случае каскада с ОЭ, образуется параллельным сопротивлением $R_{кн}$.

Ввиду малости входного сопротивления каскад с ОБ используются, в основном, как нагрузка каскада с малым выходным сопротивлением (каскадов с ОЭ или ОК).

Основными достоинствами каскада с ОБ являются хорошие частотные свойства. При включении транзистора по схеме с ОБ граничная частота возрастает по сравнению с каскадом с ОЭ. Также из – за того, что база транзистора при включении с ОБ соединена с общей точкой, то исключается паразитная обратная связь через емкость р-п перехода база – коллектор. Каскад ОБ широко применяется в усилителях и генераторах дециметровых и сантиметровых волн.

2. Технические характеристики биполярного транзистора 2Т937Б-2

Транзисторы 2Т937Б-2 предназначены для применения в усилителях и генераторах в диапазоне частот 0,9...5 ГГц в схеме с общей базой в составе

гибридных интегральных микросхем. Они используются для работы в электронной аппаратуре специального назначения. Выпускаются в металлокерамическом корпусе с полосковыми выводами. Маркируются цифробуквенным или цветовым кодом на корпусе транзистора.

Модель Гуммеля-Пуна - это модель биполярного транзистора, в которой по сравнению с моделью Эберса-Молла учитывается ряд дополнительных эффектов, что повышает точность моделирования. Однако для использования модели Гуммеля-Пуна требуется больший объем исходных данных - в модели число параметров увеличено до 25. Если пользователь не располагает такими данными, то в программах анализа, используемых на схемотехническом уровне, предусмотрен переход к использованию модели Эберса-Молла.

В модели Гуммеля -Пуна учитываются влияние уровня инжекции на коэффициент усиления, эффект Кирка - расширение базы в область коллектора, эффект Эрли - модуляция ширины базы.

3. Основные понятия методов оптимизации

Проектирование технических объектов всегда включает в себя элементы оптимизации – желание получить наилучший вариант из числа возможных альтернатив. Это желание реализуется перебором вариантов структуры устройства (структурный синтез) и управлением значений параметров устройства при заданной структуре (параметрическая оптимизация).

Обозначим n -мерным вектором $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ внутренние параметры устройства, m -мерным вектором $Y = (y_1, y_2, \dots, y_m)$ выходные параметры, а l -мерным вектором $Q = (q_1, q_2, \dots, q_l)$ внешние параметры.

Следовательно, в самом общем виде модель объекта проектирования можно представить в следующем виде:

$$Y = F(X, Q)$$

где F – векторная функция, которую можно задать разными способами – с помощью, таблиц, формул, графиков, алгоритмов вычислений и пр.

При известных и фиксированных внешних параметрах Q

$$Y = F(X)$$

Такая модель называется *детерминированной моделью объекта проектирования* (значения Y однозначно определяются значениями X).

Если внешние параметры Q модели являются случайными величинами, такая модель называется *вероятностной моделью объекта проектирования*.

Управляемые при оптимизации параметры называются *варьируемыми параметрами* или переменными. Их также обозначают вектором X – *вектор варьируемых параметров* или вектор переменных.

4. Компьютерное моделирование усилителя мощности с параллельными каналами усиления.

Целью данной выпускной квалификационной работы магистра являлось моделирование усилителя мощности в СВЧ диапазоне частот 2 – 4 ГГц с двумя параллельными каналами усиления в САПР «AWRMicrowaveOffice».

Схема каскадов усиления, спроектированная в САПР «AWRMicrowaveOffice», состоит из набора основных элементов программы – простых микрополосковых линий передач (например, TL2), варьируемые параметры которых – это их длина (L – length) и ширина (W – width), микрополосковых тройников (например, TL3) и микрополосковых пересечений (например, TL1), варьируемые параметры которых – это ширина портов ($W1$ – $W4$), а также элементов сопротивления (R), индуктивности (L) и ёмкости (C) параметры которых так же варьируются. Так же одним из варьируемых параметров является ток эмиттера I_1 . Остальные элементы и их параметры, такие как, например, ёмкость коллекторного перехода (паразитная ёмкость), на схеме обозначенная C_{ce} , остаются неизменными при оптимизации.

5. Итоговая схема оптимизации

Так как транзисторы 2Т937Б-2, очевидно, имеют предельную входную мощность, то при входной мощности прибора, например, $P_{вх} = 2\text{Вт}$ и коэффициенте усиления 1,8 – 2,35 уже после двух каскадов усиления (ВР1 и ВР2) выходная мощность будет превышать допустимую, что может повредить транзистор при последующем усилении сигнала. Поэтому для последующего усиления сигнал разветвляется делителем мощности (DIV) на два симметричных канала ведущих к параллельно подключенным двухкаскадным усилителям мощности (AMP1 и AMP2), в которых, в свою очередь, после очередного каскада усиления (ВРa1_1 и ВРa2_1), так же разделен делителем мощности (DS) на два параллельных канала с каскадами усиления (ВРa1_2 и ВРa2_2). После прохождения всех каскадов усиления, сигналы суммируются, сначала оба канала в усилителях AMP1 и AMP2, а затем сумматором SUM складываются оба сигнала выходящих от них, получая на выходе достаточно мощный сигнал

Сначала была проведена оптимизация отдельных модулей устройства, процесс которых показан выше, для подгонки параметров близких к целям оптимизации всего моделируемого устройства. Если проводить оптимизацию параметров всего устройства сразу, то из-за слишком далеких от оптимальных параметров отдельных модулей, функция оптимизации скорее всего заикнется и не выдаст желаемого результата. Поэтому были сначала выявлены оптимальные параметры делителя-сумматора DS, который является частью двух крупных модулей схемы – параллельных каналов усиления AMP1 и AMP2, далее оптимизировались сами каналы и затем связывающие их модули – делитель DIV и сумматор SUM.

Полученные характеристики были сравнены с усилителем 87405В компании «KeysightTechnologies» работающем в диапазоне частот от 10 МГц до 4 ГГц. КСВ входа данного усилителя в рассматриваемом диапазоне 2 – 4 ГГц в среднем составляет 2,2, а КСВ выхода – 1,9, что несколько хуже, чем

полученные параметры смоделированного устройства – КСВ входа в среднем 1,55 и КСВ выхода 1,6.

Заключение

В ходе проведенной выпускной квалификационной магистерской работы были рассмотрены основные параметры усилителей и технические характеристики биполярного транзистора 2Т937Б-2, получена модель двухкаскадного СВЧ усилителя мощности в диапазоне 2 – 4 ГГц, с двумя параллельными модулями усиления, на основе отечественного биполярного транзистора 2Т(КТ)937Б-2, а также произведен расчет и параметрическая оптимизация основных частотных характеристик полученного устройства в САПР «AWRMicrowaveOffice»: оптимизация делителя, оптимизация канала усиления. В итоге полученный коэффициент усиления модели в диапазоне 2 – 4 ГГц составляет 12,5 – 13 дБ. При входной мощности, например, в 0.5 Вт, выходная мощность составит около 9 – 10 Вт. КСВ входа устройства в среднем составляет 1,55 и КСВ выхода 1,6.