

Министерство образования и науки Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра общей физики

Компьютерное моделирование усилителя мощности в диапазон 2 – 4 ГГц

АВТОРЕФРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТА

Студента 2 курса 252 группы

Направления 03.04.02 «Физика»
код и наименование направления (специальности)
физического факультета
наименование факультета, института, колледжа

Архипова Александра Владимировича
фамилия, имя, отчество

Научный руководитель

Профессор, д.т.н., профессор
должность, уч. степень, уч. звание

дата, подпись

А.Л. Хвалин
инициалы, фамилия

Заведующий кафедрой

Профессор, д.ф.-м.н., профессор
должность, уч. степень, уч. звание

дата, подпись

А.А. Игнатъев
инициалы, фамилия

Саратов 2017 год

Введение

В настоящее время при проектировании устройств, работающих в СВЧ диапазоне, широко используются системы автономного проектирования (САПР) некоторые из которых включают в себя большой набор инструментов, позволяющих при моделировании устройства провести его параметрическую оптимизацию, целью которой является получение наилучшего варианта набора параметров среди возможных альтернатив. В результате удачной оптимизации на выходе получается модель устройства с, очевидно, лучшими выходными параметрами, что сказывается на конечном, реальном воспроизведении устройства, например, простоте или дешевизне его производства.

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

Целью и задачами данной выпускной квалификационной работы магистра является:

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

Основные понятия параметрической 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:

$$Y = F(X, Q) \quad (1)$$

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

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

Требования к проектируемому объекту возможно представить в виде системы неравенств:

$$x_i^- \leq x_i \leq x_i^+, i \in [1, n] \quad (2)$$

$$y_j^- \leq y_j \leq y_j^+, j \in [1, m] \quad (3)$$

где x_i^-, x_i^+ – значения i -й варьируемой переменной, определяющие область её возможных значений, y_j^-, y_j^+ – предельные допустимые значения выходного параметра Y_j .

Так как присутствует функциональная связь, ограничения в (3) равны системе

$$\{g_j(X), j \in [1, m]\} = g(X) \geq 0 \quad (4)$$

где $g(X)$ – m -мерная векторная функция.

Далее полагаем, что ограничения на параметр q , заданные на интервале $[q_{min}, q_{max}]$, следовательно, условие (4) определяет множество допустимых значений вектора X

$$D_g = \{X | g(x) \geq 0\} \quad (5)$$

Ограничения (3) определяют следующее множество допустимых значений вектора X :

$$D_x = \{x | x_i^- \leq x_i \leq x_i^+, i \in [1, n]\} \quad (6)$$

Множество, полученное пересечением множеств D_g и D_x называется *множеством допустимых значений вектора варьируемых параметров X* , а именно

$$D = D_g \cap D_x \quad (7)$$

Любой вектор варьируемых переменных $X \in D$ называется *допустимым вектором варьируемых параметров*.

Под решением задачи оптимального проектирования понимается процесс выбора варьируемых переменных $X \in D$, предоставляющих оптимальное значение некоторой функции $\Phi(X)$. Эта величина, показывающая относительное предпочтение одних значений компонент вектора X по отношению к другим значениям этих компонент, называется *критерием оптимальности*.

В зависимости от цели проектирования необходимо либо максимизировать, либо минимизировать критерий оптимальности.

Предположим, что требуется минимизировать критерий оптимальности.

Детерминированная задача оптимизации формулируется следующим образом:

$$\min_{X \in D} \Phi(X) = \Phi(X^*) = \Phi^* \quad (8)$$

где X^* – оптимальное значение вектора варьируемых параметров, $\Phi(X^*) = \Phi^*$ – наименьшее, то есть оптимальное значение критерия оптимальности $\Phi(X)$.

Стохастической задачей оптимизации называется такая задача оптимизации, где критерий оптимальности $\Phi(X)$ или ограничивающие функции $g(X)$ зависят от случайного вектора внешних параметров Q .

Вектор X^* называется точкой локального минимума функции $\Phi(X)$, если для всех точек X , принадлежащих некоторой малой окрестности $d(X)$ точки X^* имеем

$$\Phi(X^*) \leq \Phi(X), X \in d(X^*) \in D \quad (14)$$

Значение функции $\Phi(X)$ в точке локального минимума называется *локальным минимумом функции* $\Phi(X)$. Следовательно, если точка X^* является точкой локального минимума функции $\Phi(X)$, то величина $\Phi(X^*)$ есть локальный минимум этой функции.

Точка X^* называется точкой глобального минимума $\Phi(X)$, если

$$\Phi(X^*) \leq \Phi(X), X \in D \quad (15)$$

следовательно, точка наименьшего из всех локальных минимумов называется точкой глобального минимума функции $\Phi(X)$.

Моделирование и оптимизация характеристик двухкаскадного усилителя мощности на основе отечественного биполярно транзистора 2Т937Б-2.

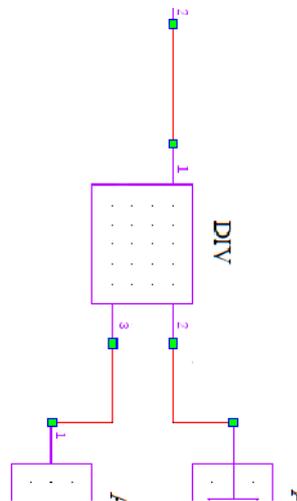


Рисунок 1. Итоговая блок-схема моделируемого устройства – усилителя мощности на базе биполярных транзисторов 2Т937Б-2.

Обозначения блок-схемы на Рисунке 1: P1 – вход; P2 – выход; VIP1, VIP2 – каскады усиления; AMP1, AMP2 – два параллельных усилителя мощности; DIV – делитель мощности на 2 канала; SUMM – сумматор мощности.

Так как транзисторы 2Т937Б-2, очевидно, имеют предельную входную мощность, то при входной мощности прибора, например, и коэффициенте усиления 1,8 – 2,35 уже после двух каскадов усиления (VIP1 и VIP2) 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 (VIPa1_1 и VIPa2_1), так же разделен делителем мощности (DS) на два параллельных канала с каскадами усиления (VIPa1_2 и VIPa2_2). После прохождения всех каскадов усиления, сигналы суммируются, сначала оба канала в усилителях AMP1 и AMP2, а

затем сумматором SUMM складываются оба сигнала выходящих от них, получая на выходе достаточно мощный сигнал.

Сначала была проведена оптимизация отдельных модулей устройства, процесс которых показан в квалификационной работе, 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.

В ходе итоговой оптимизации были получены графики зависимости основных параметров модели усилителя от заданного диапазона частот 2 – 4 ГГц – КСВ входа (P1), КСВ выхода (P2) и коэффициент усиления показанные на Рисунках 2-4. Так же получены итоговые оптимизированные значения параметров элементов схем всех модулей и двух начальных каскадов усиления VIP1 и VIP2, представленные в Приложении 2 квалификационной работы.

Полученные характеристики были сравнены с усилителем 87405B компании «Keysight Technologies» 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.

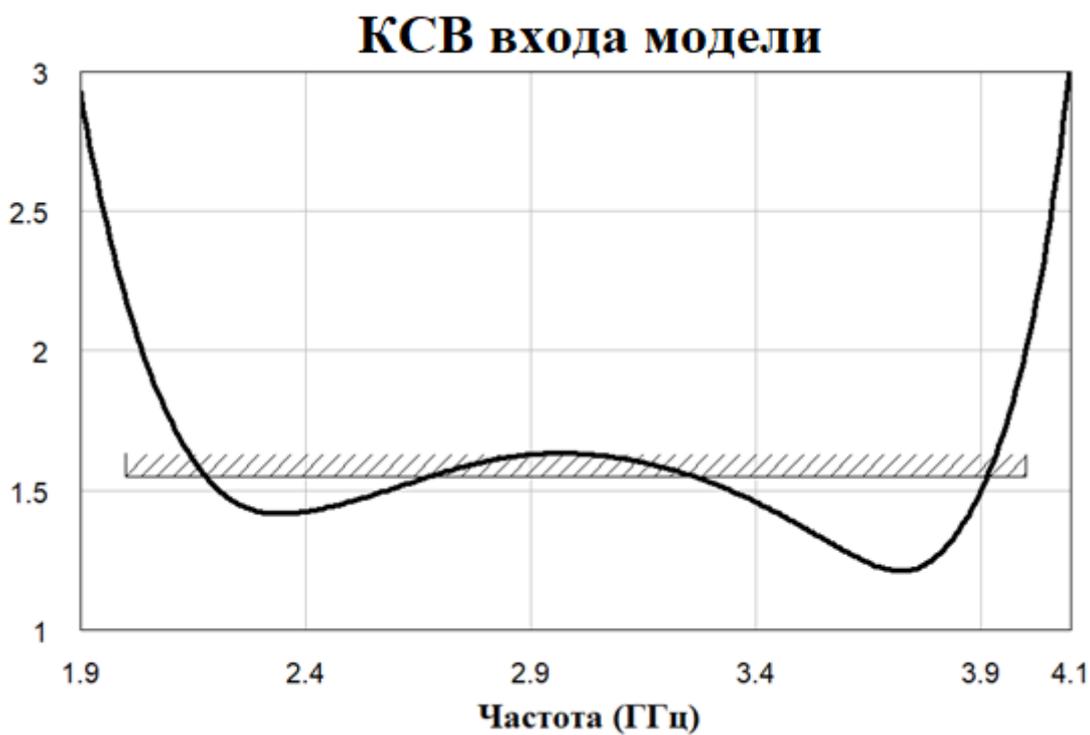


Рисунок 2. КСВ входа модели двухкаскадного усилителя мощности.

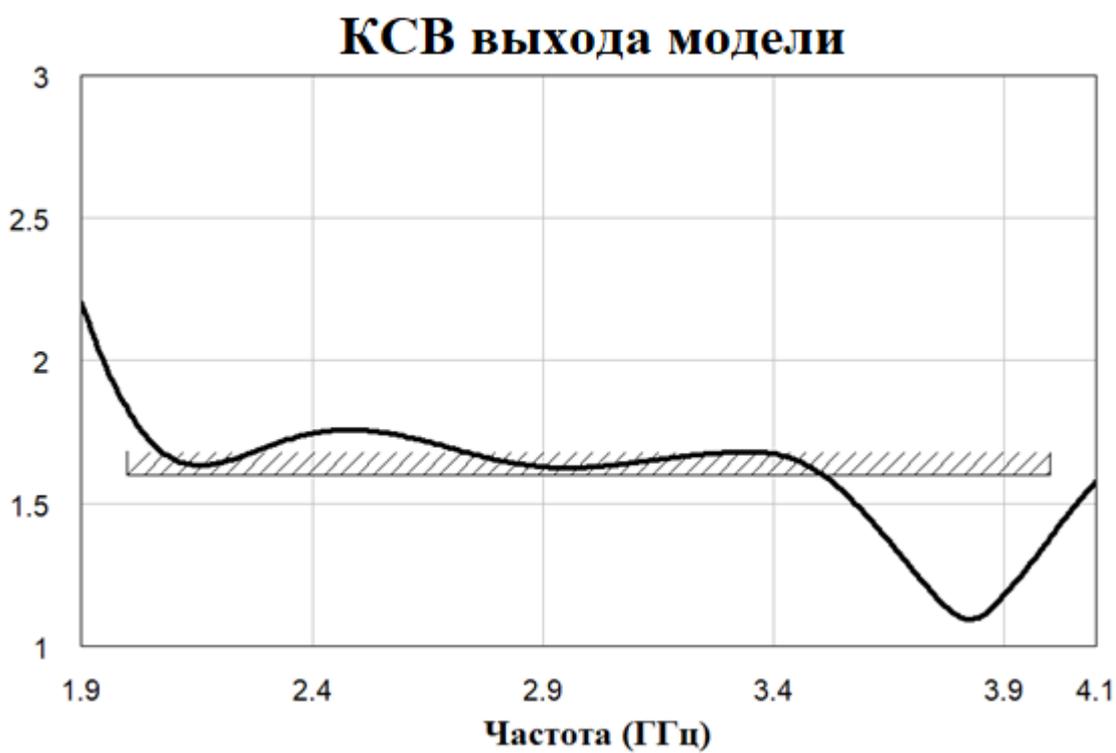


Рисунок 3. КСВ выхода модели двухкаскадного усилителя мощности.

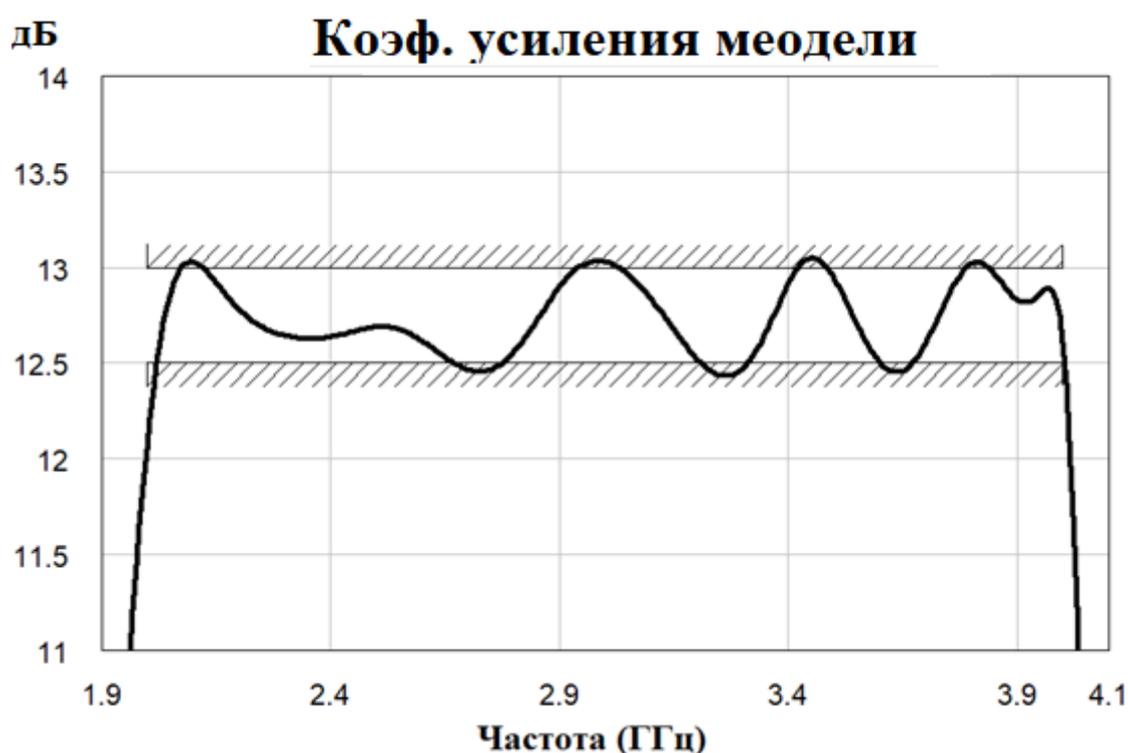


Рисунок 4. Коэф. усиления модели двухкаскадного усилителя мощности.

Закключение

В ходе проведенной выпускной квалификационной работы магистра получена топология микрополосковой платы двухкаскадного СВЧ усилителя мощности в диапазоне 2 – 4 ГГц, с двумя параллельными модулями усиления, на основе отечественного биполярного транзистора 2Т(КТ)937Б-2, который производится ОАО «НПП «Пульсар», на поликоровой подложке, а также произведен расчет и параметрическая оптимизация основных частотных характеристик полученного устройства в САПР «AWR Microwave Office». В итоге получены оптимизированные параметры элементов схем модели, представленные в Приложении 2, 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.