

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

**«Расчет характеристик усилителя мощности на отечественных биполярных транзисторах в диапазоне от 1 до 2 ГГц»**

**АВТОРЕФЕРАТ МАГИСТЕРСКОЙ РАБОТЫ**

Студента 2 курса 252 группы  
направления 03.04.02 «Физика»  
физического факультета  
Краснова Дениса Алексеевича

Научный руководитель

д.т.н., профессор

\_\_\_\_\_ А.Л. Хвалин

Зав. кафедрой

д.ф.-м. н, профессор

\_\_\_\_\_ А.А. Игнатъев

Саратов, 2017

## Введение

Моделирование как методический прием, давно известный при изучении многих объектов реального и идеального мира, является не только желательным при изучении электронных схем, но и необходимым, т.к. решения, принимаемые в разработке, в силу сложности ситуаций и объектов, могут быть эффективными только при опоре на совокупную, модельную систему знаний. Оптимизация электронных схем, так же является важным и определяющим элементом проектирования, создания и обеспечения рассматриваемых схем.

Актуальностью данной выпускной квалификационной работы магистра, а так же важной задачей для создания конкурентноспособной отечественной аппаратуры является моделирование и оптимизация устройств, в основе которых лежит отечественная элементная база.

В задачи данной выпускной квалификационной работы магистра входят:

1. Моделирование усилителя мощности на основе отечественного биполярного транзистора 2Т(КТ)937Б-2, который производится ОАО «НПП «Пульсар», в САПР AWR Microwave Office.

Расчет и оптимизация основных частотных характеристик делителя мощности, каскадов усиления на основе транзистора 2Т(КТ)937Б-2, усилителя на основе двух параллельных каскадов усиления, усилителя мощности в диапазоне 1-2 ГГц.

## Усилители мощности на биполярных транзисторах

Принцип работы транзисторного усилителя основан на том, что с помощью небольших изменений напряжения или тока во входной цепи транзистора можно получить значительно большие изменения напряжения или тока в его выходной цепи.

Изменение напряжения эмиттерного перехода вызывает изменение токов транзистора. Это свойство транзистора используется для усиления электрических сигналов.

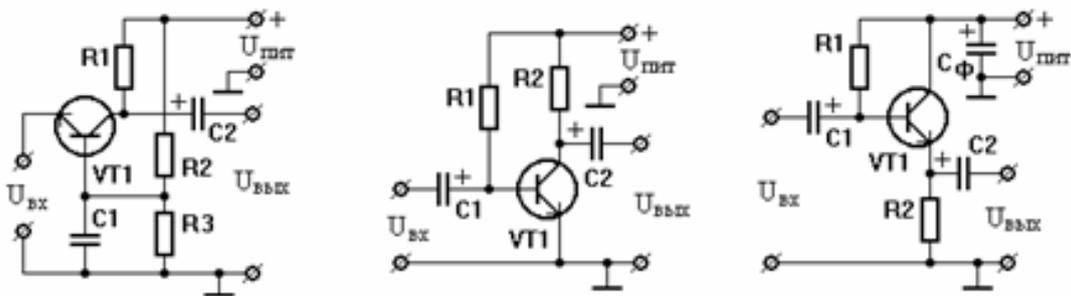


Рисунок 1. Усилители на биполярных транзисторах а) с общей базой; б) с общим эмиттером в) с общим коллектором

В данной работе в каскадах усиления используется схема включения с общей базой, среди трех выше перечисленных схем включения данная конфигурация обладает наименьшим входным и наибольшим выходным сопротивлением. Имеет коэффициент усиления по току, близкий к единице, и большой коэффициент усиления по напряжению. Фаза сигнала не инвертируется.

## Транзистор 2Т937 Б-2

Транзистор 2Т(КТ)937Б-2, который производится ОАО «НПП «Пульсар», имеет рабочий диапазон частот 0,9–5 ГГц, коэффициент усиления 3 дБ и выходную мощность 3,2 Вт.

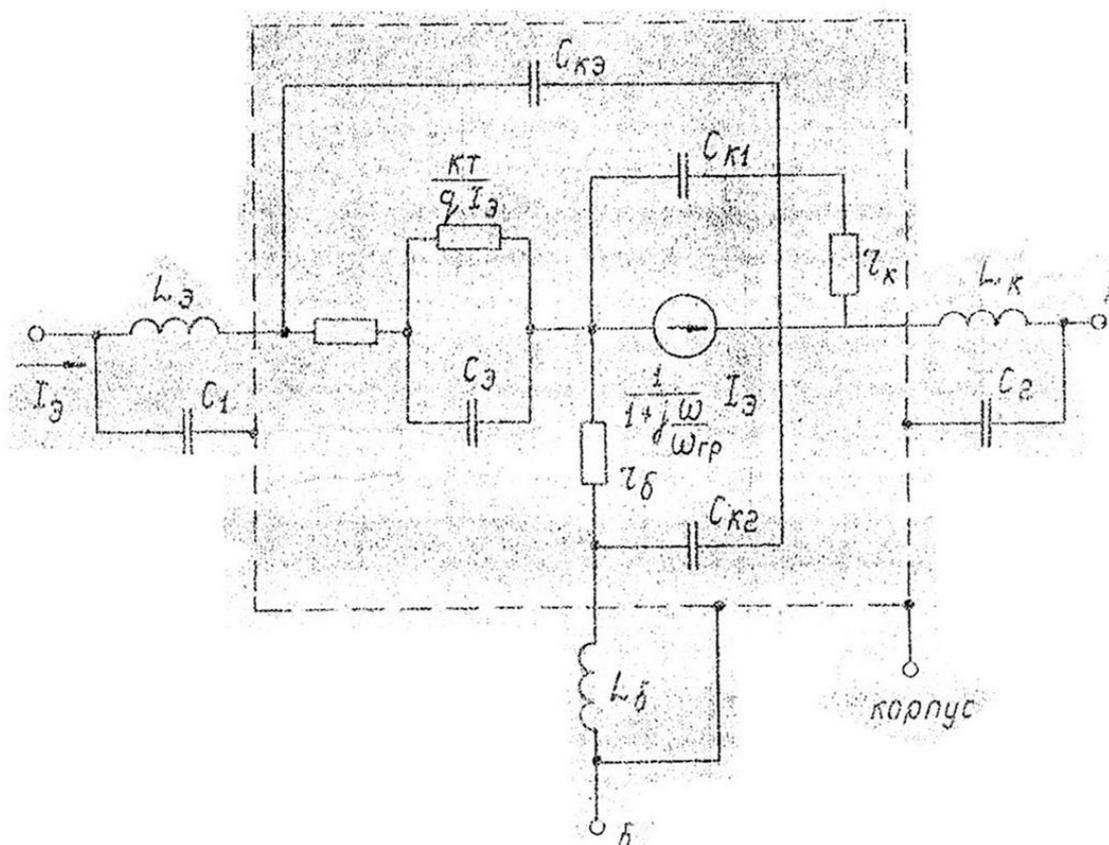


Рисунок 2. Эквивалентная схема замещения транзистора типа 2Т937 Б-2

$\Delta r = 0,30 \text{ Ом}$	$C_{к3} = 0,7 \text{ пФ}$
$r_6 = 0,5 \text{ Ом}$	$C_1 = 2 \text{ пФ}$
$r_{к} = 0,5 \text{ Ом}$	$C_2 = 1,6 \text{ пФ}$
$C_3 = 23 \text{ пФ}$	$L_3 = 0,8 \text{ мГ}$
$C_{к1} = 0,6 \text{ пФ}$	$L_6 = 0,25 \text{ мГ}$
$C_{к2} = 2,1 \text{ пФ}$	$L_{к} = 1,5 \text{ мГ}$

Наименование параметра, режим измерения	Един. Измер.	Значение параметра		
		Мин.	Тип.	Макс.
Обратный ток коллектора ( $U_{кб} = 25В$ )	мА	0,01	0,1	0,8
Обратный ток эмиттера ( $U_{эб} = 2,5В$ )	мА	0,01	0,1	0,3
Фаза коэффициента передачи тока ( $U_{кб} = 5В; f = 1ГГц; I_э = 150мА$ )	градус	7,7	8	12
Выходная мощность ( $U_{кб} = 21В; f = 5ГГц; I_к \leq 450мА; P_{вх} = 2Вт$ )	Вт	3,6	4,2	4,7
Коэффициент усиления по мощности ( $U_{кб} = 21В; f = 5ГГц; I_к \leq 450мА; P_{вх} = 2Вт$ )		1,8	2,1	2,35
Коэффициент полезного действия коллектора ( $U_{кб} = 21В; f = 5ГГц; I_к \leq 450мА; P_{вх} = 2Вт$ )	%	39	44	49
Критический ток ( $U_{кб} = 5В; f = 1ГГц$ )	мА	630	800	950
Модуль коэффициента обратной передачи напряжения в схеме с общей базой ( $U_{кб} = 10В; f = 100МГц; I_к = 80мА$ )		$0,58 * 10^{-3}$	$0,75 * 10^{-3}$	$1 * 10^{-3}$
Емкость коллекторного перехода	пФ	4,2	4,5	5,5

$(U_{кб} = 20В; f = 10МГц)$				
Емкость эмиттерного перехода $(U_{эб} = 0В; f = 10МГц)$	пФ	22,5	27	30

Таблица 1. Значения основных параметров 2Т937 Б-2

### Модель усилителя мощности

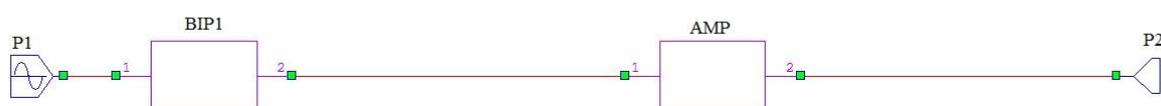


Рисунок 3. Блок-схема усилителя мощности с одним последовательным каналом

Обозначения блок-схемы на Рисунке 3: P1 – вход; P2 – выход; VIP1- биполярный транзистор; AMP1– усилитель мощности.

На рисунке 3 изображена общая блок-схема устройства, включающая в себя каскад усиления (VIP1) и усилитель мощности с параллельными каскадами усиления (AMP). В состав блок-схемы AMP входят делитель и сумматор (DS), обусловлено это предельной входной мощностью транзистора 2Т937 Б-2 и следовательно каскада усиления. Дабы избежать этого ограничения, и получить выходную мощность всего усилителя выше предельной выходной мощности транзистора и применяется эта схема включения.

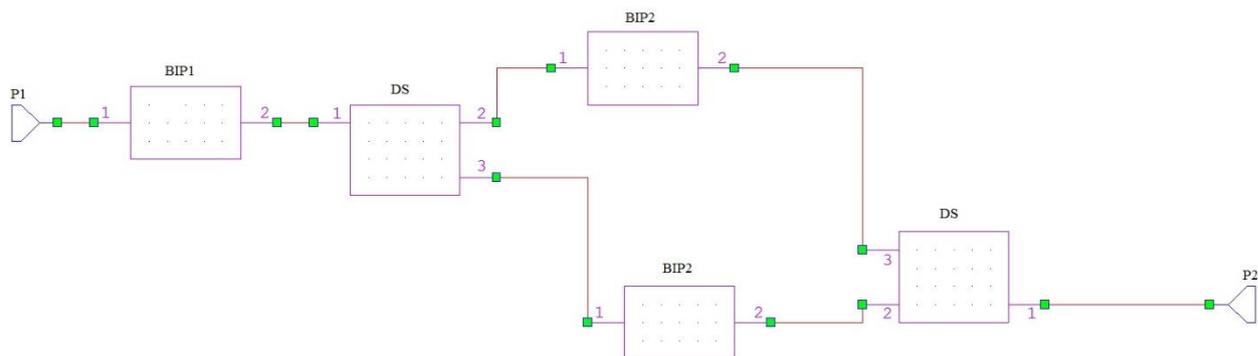


Рисунок 4. Блок-схема усилителя мощности с параллельными каскадами усиления, на блок-схеме прибора обозначен как AMP

Обозначения блок-схемы на Рисунке 4: P1 – вход; P2 – выход; VIP1, VIP2 – каскады усиления; DS – делитель-сумматор мощности.

### **Оптимизация основных частотных характеристик усилителя мощности в диапазоне 1-2 ГГц**

Оптимизация основных частотных характеристик усилителя мощности с параллельными каскадами усиления (AMP) проводилась встроенными методами оптимизации AWR Microwave Office: симплекс-методом и методом случайного поиска.

После последовательной оптимизации всех компонентов усилителя мощности, и выявления их оптимальных параметров при работе отдельно от всей схемы усилителя, усилитель с параллельными каскадами усиления (AMP) был включен в общую схему устройства (Рисунок 3).

Далее была произведена оптимизация всего устройства тем же симплекс-методом и методом случайного поиска, и получены графики основных частотных характеристик усилителя мощности на биполярном транзисторе 2Т937 Б-2 в диапазоне частот 1-2ГГц.

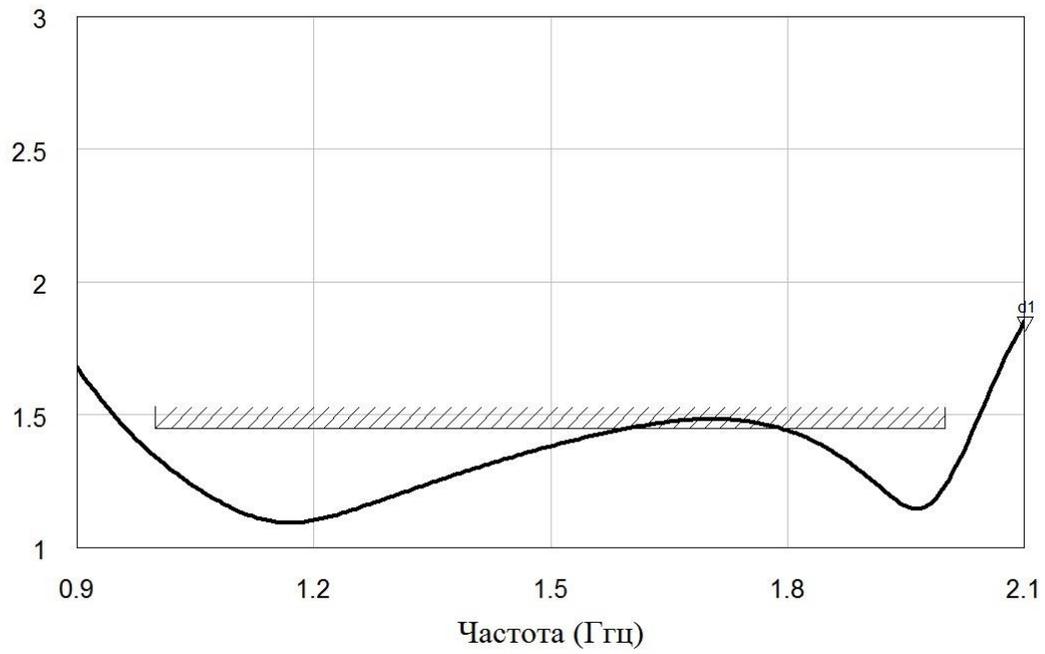


Рисунок 5. КСВ входа усилителя мощности

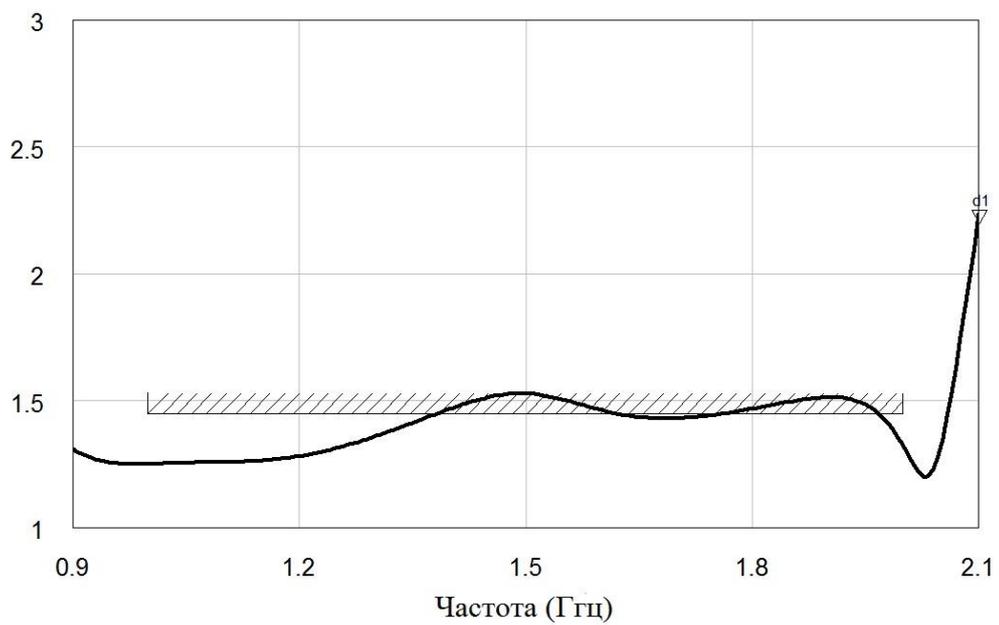


Рисунок 6. КСВ выхода усилителя мощности

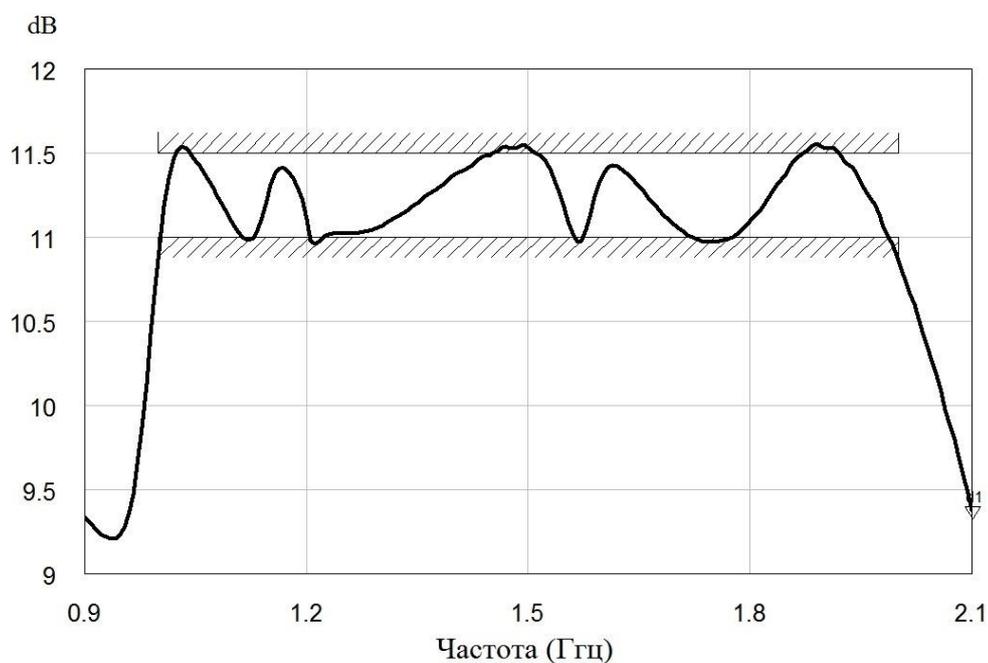


Рисунок 7. Коэффициент усиления усилителя мощности

Параметры полученные в ходе оптимизации были сравнены с параметрами усилителя мощности 87405В компании «Keysight Technologies (Agilent)». В заданном диапазоне частот 1-2 ГГц КСВ входа данного усилителя составляет 1,7 , КСВ выхода 1,9 , тогда как КСВ обоих портов смоделированного устройства составляет в среднем 1,45. Разброс коэффициента усиления у усилителя 87405В в диапазоне 1-2 ГГц составляет 1,5 дБ, тогда как у полученной модели 0,5 дБ.

## **Заключение**

В результате проведенной работы получена топология микрополосковой платы усилителя мощности на отечественном транзисторе 2Т937 Б-2, который производится ОАО «НПП «Пульсар», на подложке из поликора. Получена модель и оптимальные параметры всех элементов усилителя при помощи САПР «AWR Microwave Office», получены основные частотные параметры в диапазоне 1-2ГГц. Коэффициент усиления модели в данном диапазоне 11-11,5 дБ, выходная мощность 6-6,5 Вт при входной мощности 0,5 Вт.