

**Разработка и моделирование широкополосного усилителя для лабораторного макета
«Устройство ввода информации в оптическую систему»
П.Д. Куроптев, С.С. Лубенцов, студенты каф. СВЧМКР;
руководитель проекта - А.Ю.Попков, аспирант каф. СВЧМКР;
г. Томск, ТУСУР, РФ, kuroptevpasha@mail.ru**

Широкополосным усилителем именуется усилитель, дающий одинаковое усиление в широком диапазоне частот. В настоящее время такие усилители применяются в различных средах, от устройств связи, приема и передачи информации до радиолокации, в том числе и в лабораторных макетах университета.

Усилители мощности совершенствуются с каждым днем, изменяются их конструкция и характеристики, что приводит к необходимости замены устаревших моделей на более современные и востребованные. С такой целью был разработан макет усилителя для лабораторного макета «Устройство ввода информации в оптическую систему», который имеет улучшенные характеристиками и меньшие габариты.

К усилителю предлагались следующие требования:

- мощность - 12 Вт ;
- коэффициент усиления - не менее 20 дБ ;
- частотный диапазон - $4\text{-}200 \text{ МГц}$;
- наличие схемы термостабилизации.

Выбор транзисторов

По заданной мощности и по максимальной рабочей частоте были выбраны транзисторы: для входного каскада - *КТ913Б*, для промежуточного - *КТ930А* и для выходного - *КТ930Б*. Все транзисторы работают в режиме с фиксированной рабочей точкой. Рабочая точка была выбрана для каждого транзистора на линейном участке вольт-амперной характеристике.

Расчет схемы термостабилизации

Существует несколько вариантов схем термостабилизации. Их использование зависит от мощности каскада и от того, насколько жёсткие требования предъявляются к температурной стабильности каскада. В данном случае будем использовать активную коллекторную термостабилизацию.

Схема активной коллекторной стабилизации используется, как правило, при разработке мощных широкополосных радиопередающих устройств. Принципиальная схема каскада с активной коллекторной стабилизацией приведена на рис.1.

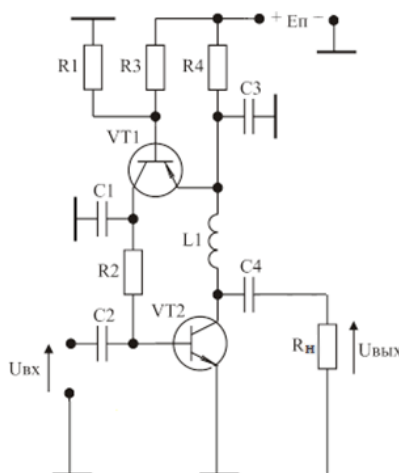


Рис.1. Принципиальная схема каскада с активной коллекторной термостабилизацией

Известно, что при условии: $U_{R4} \geq IB$, где U_{R4} – напряжение на резисторе R_4 , изменение температуры окружающей среды от $-60^\circ C$ до $+60^\circ C$ приводит к нестабильности тока покоя транзистора VT_2 не превышающей 2%. Исходя из этого, можно рекомендовать выбор напряжения на резисторе $R_4 - U_{R4} = 2B$.

Кроме того, так как напряжение на переходе база-эмиттер открытого кремниевого транзистора равно около $0,7 B$, будем полагать известными напряжения база-эмиттер транзистора $VT_1 U_{бэ1}$ и транзистора $VT_2 U_{бэ2}$.

В процессе расчетов были выбраны транзисторы для активной коллекторной термостабилизации каждого из каскадов: для входного каскада – *КТ361А*, для промежуточного и выходного – *КТ816Б*.

При известных величинах $U_{кэ02}$ и $I_{к02}$ определим необходимые элементы схемы по следующим формулам:

$$E_n = U_{кэ02} + U_{R4} \quad (1)$$

$$R_4 = \frac{U_{R4}}{I_{к02}} \quad (2)$$

$$R_2 = \frac{U_{кэ02} - U_{кэ01} - U_{бэ2}}{I_{к01}} \quad (3)$$

$$R_1 = \frac{E_n - U_{R4} - U_{бэ1}}{I_\delta} \quad (4)$$

$$R_3 = \frac{U_{R4} + U_{бэ1}}{I_\delta} \quad (5)$$

Конденсатор C_1 служит для разрыва петли активной обратной связи на высоких частотах, где обратная связь начинает носить комплексный характер и возможно самовозбуждение схемы. Дроссель L_1 необходим для того, чтобы на частотах сигнала коллекторная цепь транзистора VT_2 не шунтировала нагрузку.

Значения емкостей C_1 и C_3 можно принять в диапазоне $0,1 \dots 1 \text{ мкФ}$. Примем $C_1 = 0,1 \text{ мкФ}$, $C_3 = 1 \text{ мкФ}$.

Величина индуктивности дросселя выбирается таким образом, чтобы переменная составляющая коллекторного тока не ответвлялась в коллекторную цепь. Для этого величина реактивного сопротивления дросселя XL должна быть много больше сопротивления нагрузки:

$$|j \cdot \omega \cdot L_1| = 10 \cdot R_n \quad (6)$$

Отсюда, величину дросселя можно найти по формуле:

$$L_1 = \frac{10 \cdot R_n}{2 \cdot \pi \cdot f_n} \quad (7)$$

Расчет цепи согласования 3-го порядка

Используя справочные данные транзисторов и соотношения определим значения C_1 , C_2 и L_3

$$L_{ex} = L_\delta + L_3 \quad (8)$$

$$R_{ex} = r_\delta \quad (9)$$

$$C_{вых} = C_k \quad (10)$$

$$L_{вых} = L_k \quad (11)$$

$$R_{ex} = \frac{U_{кэ\max}}{I_{k\max}} \quad (12)$$

Денормируя их, получим необходимые данные.

Рассчитаем значения элементов каждого из каскада и занесем данные в таблицу 1.

Таблица 1. Значения элементов усилителя

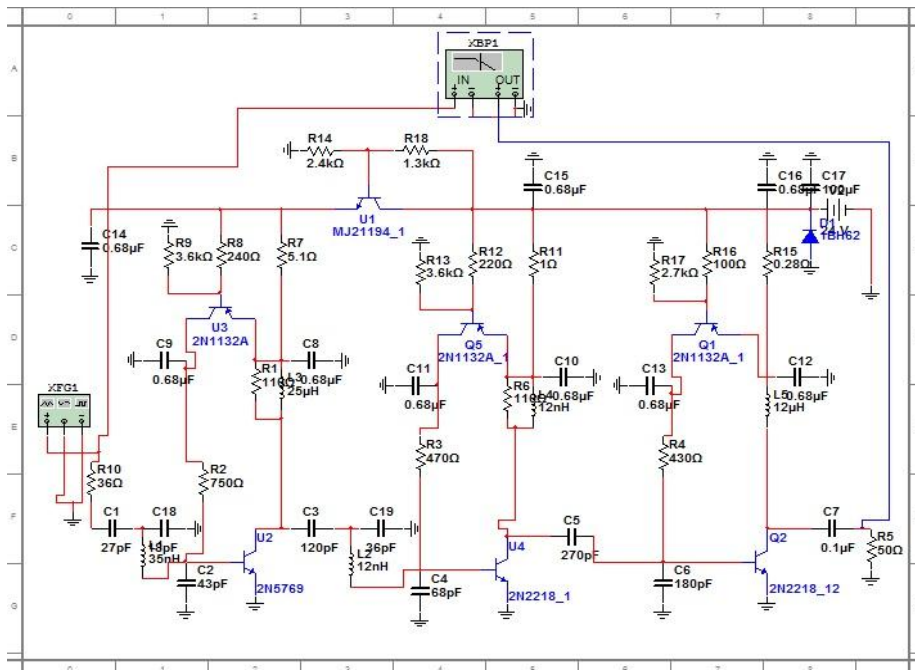
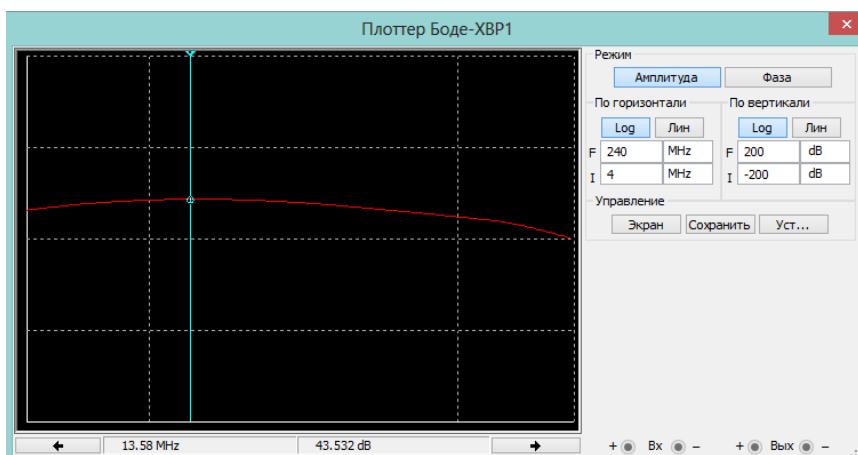
каскад/значения	$R_1, \text{кОм}$	$R_2, \text{Ом}$	$R_3, \text{Ом}$	$R_4, \text{Ом}$	$C_1, \text{нФ}$	$C_2, \text{нФ}$	$L_1, \text{мкГн}$	$L_3, \text{нГн}$
выходной	3.6	750	240	5.1	27	35	25	35
промежуточный	3.6	470	220	1	120	36	12	12
входной	2.7	430	100	0.28	270	180	12	0.001

Стабилизация напряжения питания

Для стабильности работы схемы в цепи питания включим диод *КД213А*, а также конденсатор C_{15} - для предотвращения сгорания схемы в случае, если с источника питания будет подано отрицательное напряжение. Транзистор *КТ817Б* и сопротивления R_7 и R_8 предназначены для того, чтобы на входной каскад подавалось требуемое напряжение питания. Конденсаторы C_1 , C_9 и C_{14} предназначены для того, чтобы предотвратить протекания в цепи питания переменного тока.

Моделирование

Моделирование производилось в системе *Multisim 11.0*, где была собрана схема, представленная на рисунке 1 и получена амплитудно-частотная характеристика, изображенная на рисунке 2.

Рис.1. Схема усилителя в *Multisim 11.0*Рис.2. Амплитудно-частотная характеристика усилителя в *Multisim 11.0*

Неравномерность характеристики обусловлена тем, что в процессе моделирования в системе Multisim 11.0 отсутствовали нужные модели транзисторов и были выбраны менее мощные аналоги.

Рассчитанный усилитель имеет следующие технические характеристики:

1. Рабочая полоса частот: $4\text{МГц}-240\text{МГц}$;
2. Коэффициент усиления - 40 дБ ;
3. Амплитуда выходного напряжения - $U_{\text{вых}}=10\text{В}$;
4. Напряжение питания - $E_n=24\text{В}$.

Таким образом, был рассчитан и промоделирован широкополосный усилитель для лабораторного макета «Устройство ввода информации в оптическую систему»

Список использованных источников

1. Бородин Б.А., Ломакин В.М., Мокряков В.В. и др.; Под ред. Голомедова А.В. Мощные полупроводниковые приборы. Транзисторы: Справочник – М.: Радио и связь, 1985. – 560с., ил.
2. Титов А.А. Транзисторные усилители мощности МВ и ДМВ – М.:СОЛОН-ПРЕСС, 2006. – 328с., ил.