

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

Кафедра радиотехники и электродинамики

**РАСЧЕТ И АНАЛИЗ УСИЛИТЕЛЬНЫХ КАСКАДОВ НА
БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРАХ**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 4 курса 423 группы

направления 11.03.03 «Конструирование и технология электронных средств»

Ульянин Максим Вадимович

Научный руководитель
доцент кафедры, к.ф.-м.н.
дата, подпись

М.М. Слепченков

Заведующий кафедрой
д.ф.-м.н., проф.
дата, подпись

О.Е. Глухова

Саратов, 2018 год

Введение.

Транзисторы широко используются в современной электронике и микроэлектронике. Они являются основным элементом всех аналоговых и цифровых схем. На базе транзисторов выполняются практически все радиотехнические функции: усиление, преобразование радиотехнических сигналов, логические операции, а также хранение информации. Но часто один транзисторный усилитель не может удовлетворить всем спецификациям для некоторых радиотехнических устройств. В связи с этим схема проектируется с использованием нескольких каскадных одностранзисторных усилителей.

Существуют две основные методики расчета транзисторного каскада: графический и аналитический методы. Графический метод применяется, когда известны входные и выходные характеристики транзистора. Аналитический метод пригоден для расчета каскадов без использования входных и выходных характеристик и базируется в основном на использовании коэффициента усиления применяемого транзистора. В известной учебной и научной литературе материал, посвященный этой теме, не всегда представлен в удобном для проектирования виде. К тому же, в теории усилителей нет достаточно обоснованных доказательств преимущества использования того или иного метода расчета транзисторного каскада. В связи с этим проектирование широкополосных усилителей во многом основано на интуиции и опыте разработчика. При этом разные разработчики, чаще всего по-разному решают поставленные перед ними задачи, достигая требуемых результатов.

Усилители подразделяются на усилители предварительные (усилители напряжения) и усилители мощности. При этом все транзисторные каскады, как и ламповые, состоят из одного или нескольких каскадов усиления. Также все каскады усилителя обладают общими свойствами, различие между ними может быть только количественно: разные токи, напряжения различные значения резисторов, конденсаторов. В зависимости от способа подачи входного сигнала

и получения выходного сигнала усилительные схемы получили следующие названия: с общей базой (ОБ), с общим коллектором (ОК), общим эмиттером (ОЭ). Наиболее распространённой является схема с ОЭ.

Целью данной работы является исследование достоинств и недостатков применения обоих методов расчета транзисторного каскада на примере схемы с общим эмиттером. Для достижения поставленной цели в работе решались следующие задачи:

1. Расчет рабочих параметров и характеристик транзисторного усилительного каскада аналитическим и графическим методами;
2. Моделирование схемы транзисторного усилительного каскада с общим эмиттером по рассчитанным на предыдущем этапе характеристикам;
3. Проектирование печатной платы для рассматриваемых усилительных каскадов в программном пакете Sprint-Layout 5;
4. Монтаж созданных печатных плат;
5. Проведение натурального эксперимента по снятию рабочих характеристик усилительных каскадов на биполярном транзисторе для выявления конкурентных преимуществ и недостатков аналитического и графического методов определения параметров.

ВКР состоит из введения, 3-х разделов, заключения и списка литературы, содержащего 16 ссылок. Общий объём ВКР составляет 33 стр.

Названия разделов:

1. Общие сведения о принципах работы и сферы применения транзисторных усилительных каскадов.
2. Методы расчета усилительного каскада на биполярном транзисторе.
3. Расчёт и анализ усилительных каскадов на биполярных транзисторах в схеме с общим эмиттером аналитическим и графическим методами.

ВКР носит теоретический и прикладной характер, предметом исследования является усилительный каскад на биполярном транзисторе. Второй раздел посвящен описанию методов расчета, используемых при выполнении работы.

Третий раздел содержит анализ результатов численного и натурального экспериментов.

Основное содержание работы.

В первом разделе дан краткий обзор схем включения усилительного каскада. Для биполярного транзистора различают три основных способа включения: схема с общим эмиттером (ОЭ), схема с общим коллектором (ОК) и схема с общей базой (ОБ). Для каждого способа включения транзистора существуют два основных показателя, коэффициент усиления по току $\alpha = I_{\text{ВЫХ}}/I_{\text{ВХ}}$, входное сопротивление $R_{\text{ВХ}} = U_{\text{ВХ}}/I_{\text{ВХ}}$.

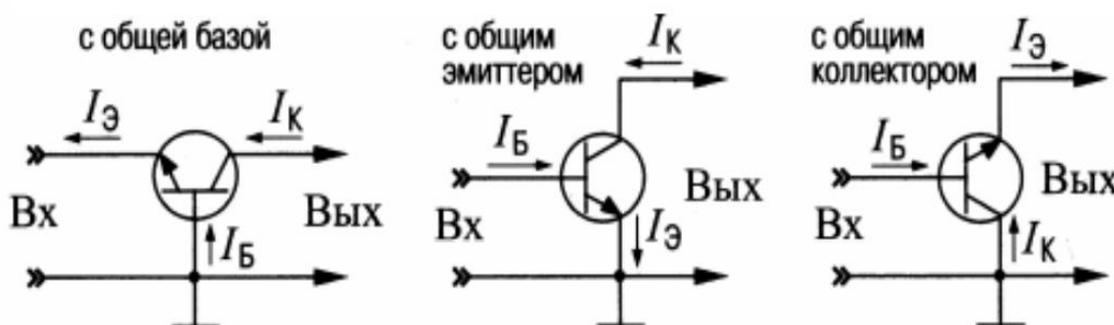


Рис. 1. Схемы включения биполярных транзисторов.

Во втором разделе описаны теоретические основы методов расчёта усилительного каскада по схеме с общим эмиттером, используемых при выполнении работы. Были рассмотрены аналитический и графический методы расчёта, в рамках которых используются статические характеристики биполярного транзистора. В рамках аналитического метода расчёт проводится с заданными параметрами, взятыми из технической документации (рис. 2), а остальные параметры находятся по соответствующим формулам. Графический метод используется при наличии семейства выходной и входной характеристик (рис. 3) биполярного транзистора, и на их основе определяются основные рабочие параметры транзистора.

LIMITING VALUES

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134).

| SYMBOL | PARAMETER | CONDITIONS | MIN. | MAX. | UNIT |
|-----------|-------------------------------|--------------------------------------|------|------|------|
| V_{CBO} | collector-base voltage | open emitter | | | |
| | BC546 | | – | 80 | V |
| | BC547 | | – | 50 | V |
| V_{CEO} | collector-emitter voltage | open base | | | |
| | BC546 | | – | 65 | V |
| | BC547 | | – | 45 | V |
| V_{EBO} | emitter-base voltage | open collector | | | |
| | BC546 | | – | 6 | V |
| | BC547 | | – | 6 | V |
| I_C | collector current (DC) | | – | 100 | mA |
| I_{CM} | peak collector current | | – | 200 | mA |
| I_{BM} | peak base current | | – | 200 | mA |
| P_{tot} | total power dissipation | $T_{amb} \leq 25\text{ °C}$; note 1 | – | 500 | mW |
| T_{stg} | storage temperature | | –65 | +150 | °C |
| T_j | junction temperature | | – | 150 | °C |
| T_{amb} | operating ambient temperature | | –65 | +150 | °C |

Рис. 2. Предельные характеристики биполярного транзистора BC547.

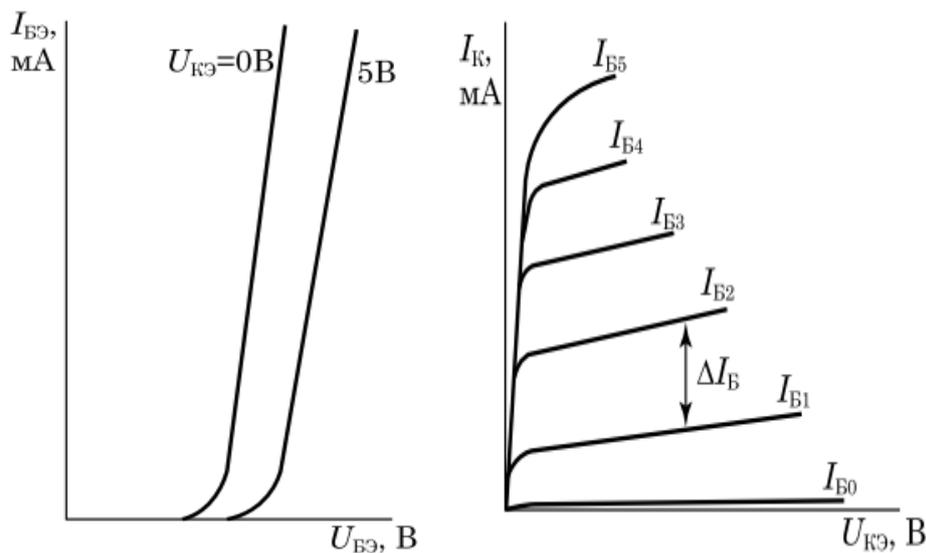


Рис. 3. Входная(слева) и выходная(справа) характеристика биполярного транзистора.

По расчетным данным, приведенным в таблице 1, был проведен натурный эксперимент и получены результаты измерений входного и выходного сигнала каскада. Результаты работы усилительного каскада на транзисторе BC547B, параметры которого рассчитаны аналитическим методом, представлены нарис.

4.

Таблица 1. Результаты вычисления параметров усилительного каскада по схеме с ОЭ двумя методами расчёта.

| Графический метод | $R_1, \text{Ом}$ | $R_2, \text{Ом}$ | $R_K, \text{Ом}$ |
|---------------------|------------------|------------------|------------------|
| | | 75146 | 5824 |
| Аналитический метод | 7484,4 | 435,6 | 720 |

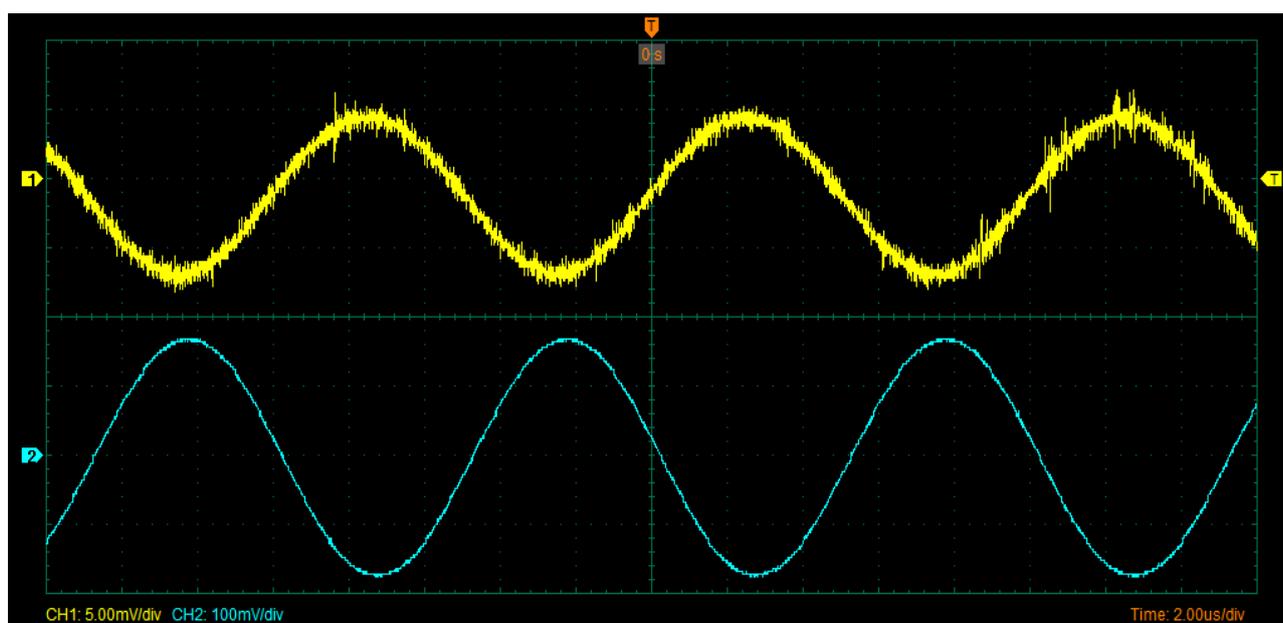


Рис. 4. Результаты работы усилительного каскада на транзисторе BC547B. Входное напряжение $U_{\text{ВХ}} = 6\text{мВ}$, выходное $-U_{\text{ВЫХ}} = 168\text{мВ}$ при частоте 100кГц .

Аналогичным образом были проведены расчеты и натурный эксперимент для усилительного каскада, параметры которого получены графическим методом расчета. Результат измерений входного и выходного напряжений усилительного каскада на транзисторе BC547B представлен на рис. 5.

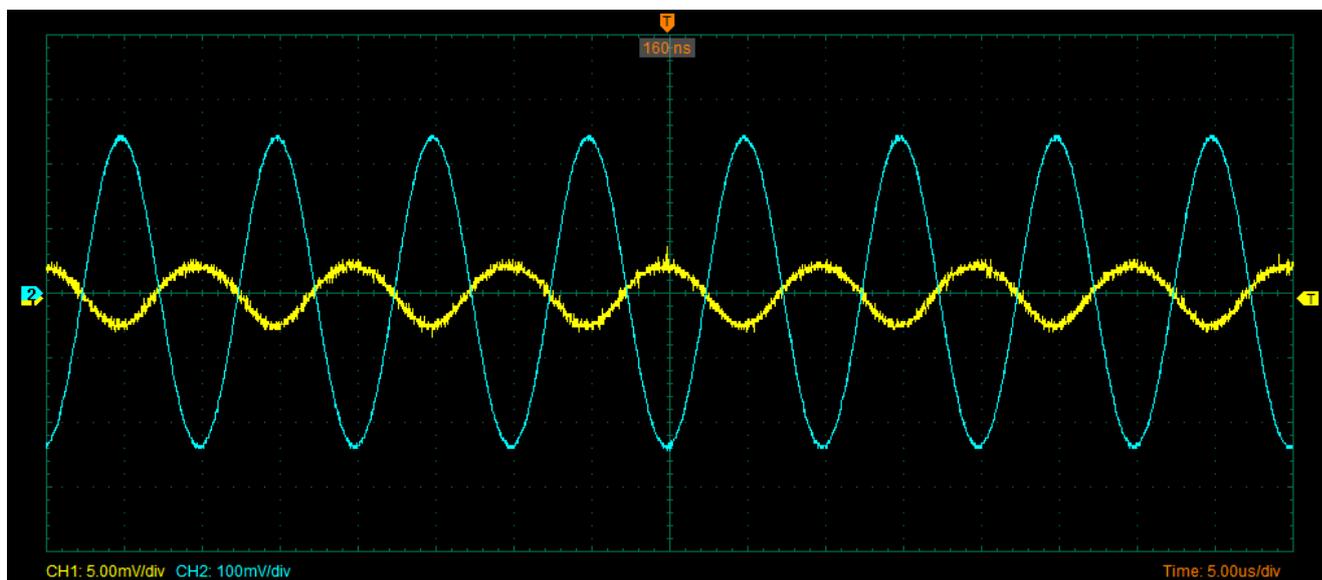


Рис. 5. Результаты работы усилительного каскада на транзисторе BC547B. Входное напряжение $U_{\text{вх}} = 3\text{мВ}$, выходное $-U_{\text{вых}} = 244\text{мВ}$ при частоте 100кГц .

Результаты измерений входных и выходных сигналов напряжения усилительного каскада, параметры которого получены графическим и аналитическим методами расчета, представлены в таблице 2.

Таблица 2. Входное и выходное напряжения усилительного каскада, параметры которого получены графическим и аналитическим методами, при разных частотах.

| | $U_{\text{вх}}, \text{мВ}$ | $U_{\text{вых}}, \text{мВ}$ | $f, \text{кГц}$ |
|-------------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------|
| Графический метод | 3 | 244 | 100 |
| | 3 | 212 | 200 |
| | 3 | 180 | 300 |
| | 2 | 148 | 400 |
| | 2 | 124 | 500 |
| | 1,6 | 108 | 600 |
| | 1,5 | 88 | 700 |

| | | | |
|---------------------|-----|-----|------|
| | 1,5 | 76 | 800 |
| | 1,5 | 68 | 900 |
| | 1,5 | 60 | 1000 |
| Аналитический метод | 6 | 168 | 100 |
| | 6 | 152 | 200 |
| | 6 | 128 | 300 |
| | 5 | 100 | 400 |
| | 5 | 90 | 500 |
| | 5 | 80 | 600 |
| | 4 | 70 | 700 |
| | 4 | 56 | 800 |
| | 4 | 50 | 900 |
| | 4 | 44 | 1000 |

Как видно из таблицы, разница в амплитуде составляет в 1,45 раз (76мВ). Полученный результат демонстрирует тот факт, что использование графического метода расчета для оценки параметров каскада позволяет получить более высокие амплитуды выходного сигнала по сравнению с аналитическим методом. Объяснить это можно тем, что аналитический метод базируется на коэффициенте усиления h_{21} (или как указано в технической документации $datasheetsh_{fe}$), который получается на практике при определенных условиях, указанных производителем в технической документации. Так же в $datasheet$ приводится график, который показывает зависимость коэффициента усиления (h_{21}) от тока коллектора (I_K).

В качестве достоинства аналитического метода можно указать его простоту и удобство процедуры расчета, обусловленная малым числом используемых параметров при расчете.

У графического метода существует один единственный недостаток в нахождении или снятии семейства выходной и входной характеристик, так как производитель либо не предоставляет данную информацию, либо она не полная для требуемых технических задач.

Заключение.

В ходе выполнения дипломной работы были получены следующие результаты:

Освоены методики определения рабочих параметров биполярных транзисторов аналитическим и графическим методом.

Создан макет транзисторного усилительного каскада на базе импортных транзисторов серии BC547B.

Проведено теоретическое и экспериментальное исследования рабочих параметров биполярных транзисторов серии BC547B в усилительном каскаде и выполнен сравнительный анализ полученных результатов.

На основании полученных результатов можно заключить, что для разработчиков транзисторных устройств малой мощности с рабочей частотой до 100кГц предпочтительнее использовать аналитический метод расчета параметров, обладающий следующими конкурентными преимуществами:

- простота и удобство процедуры расчета, обусловленная малым числом используемых параметров при расчете;
- малое время расчета;
- универсальность.

Графический метод расчета позволяет получить более точные результаты расчета параметров транзисторов за счет смещения рабочей точки на характеристике транзистора в нужных пределах, однако является более громоздким и длительным, и требует дополнительных данных.

Библиографические ссылки:

1. Ровдо А.А. Схемотехника Усилительного каскада на биполярных транзисторах. Научное Издание. Москва: Издательский дом “Додэка-XXI”, 2002. – Серия “Конструирование схем”
2. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники: В 3 томах. Пер. с англ.- 4-е изда., перераб. и доп. – М.: Мир, 1993.
3. Родюков М.С., Коновалов Н.Н. Электроника. Расчёт усилительного каскада с общим эмиттером: методические указания, 2-е изд., испр.-М.: МГУПИ, 2011 г. 48 с.
4. Бессонов Л. А. Теоретические основы электроники. – М.: Высшая школа, 1973.
5. Амелина М.А, Амелин С.А. Схемотехническое моделирование электронных устройств Micro-CapВерсии 9,10. – Смоленск, Смоленский филиал НИУ МЭИ, 2013. -618 с., ил.
6. Пасынков В.В, Чиркин Л.К. Полупроводниковые приборы: Учебник для вузов по специальности «Полупроводники и диэлектрики»и “Полупроводниковые и микроэлектронные приборы” – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1987.
7. Гусев В.Г., Гусев В.М. Электроник: Учеб. Пособие для приборостроит. спец. Вузов. – 2-е изд., перераб и доп.- М.: Высшая школа 1991 – 622с.: ил.