

## **Лабораторная работа №5 «Двухтактный усилитель мощности»**

### **Цель работы**

Занятие посвящено исследованию основных параметров и режимов работы двухтактных бестрансформаторных усилителей мощности.

Исследование осуществляется моделированием в программе схемотехнического анализа Micro-Cap.

### **Задачи лабораторной работы**

Получить основные параметры и характеристики усилительных каскадов.

Исследовать температурную стабильность усилительных каскадов.

Исследовать цепи защиты.

### **Порядок проведения лабораторной работы**

Перед занятием студент должен изучить методические указания по выполнению лабораторной работы.

Задания практического занятия каждый студент выполняют индивидуально в классе ПЭВМ. В поле каждой схемы и на каждом графике должны быть указаны группа и номер варианта.

В ходе выполнения практического задания студент формирует отчет о работе (в программе *MS Word* или любом другом текстовом редакторе). В отчет заносятся результаты выполнения каждого пункта задания (схемы *Micro-Cap*, полученные диаграммы (графики), таблицы, расчеты, ответы на вопросы пунктов задания, выводы и т.п.) Перенос в отчет схем *Micro-Cap* и полученных диаграмм осуществляется либо средствами *Windows*, либо собственными средствами *Micro-Cap* (см. дополнительные материалы к занятию) Примерный [образец оформления отчета](#) размещен на кафедральном сайте.

По результатам работы студент оформляет отчет и готовит ответы на контрольные вопросы.

К защите представляется распечатанный отчет. После проверки отчета преподаватель проводит устный или письменный опрос для контроля усвоения основных теоретических и практических знаний по теме занятия (студенты должны знать смысл полученных ими результатов и ответы на контрольные вопросы). По результатам проверки отчета и опроса выставляется оценка за лабораторную работу.

## Рабочее задание

### 1. Простейший двухтактный усилитель мощности

1.1. Собрать или загрузить из файла схему двухтактного усилителя мощности (рис. 1.1). Указать в поле схемы группу и номер варианта (номер в журнале посещаемости).

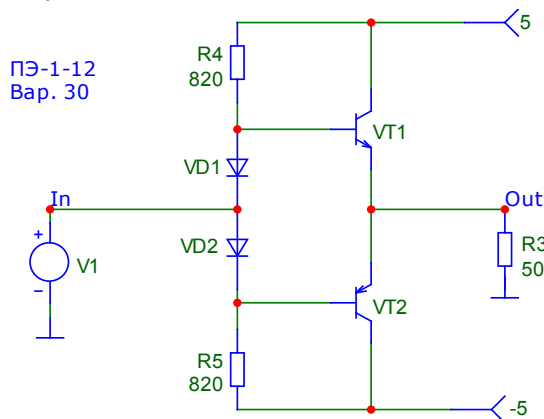


Рисунок 1.1 – Схема простейшего двухтактного усилителя мощности

Задать в источнике напряжения V1 формирование синусоидального напряжения амплитудой 3В и частотой 1 кГц.

1.2. Запустить анализ *Dynamic DC*. Вывести на схему токи ветвей. Измерить ток покоя выходного каскада  $I_{C0}$  (ток коллекторов транзисторов при отсутствии входного сигнала). Схему и результаты измерений поместить в отчет.

Пояснить, усилителем какого класса является данный усилитель.

Пояснить назначение диодов VD1 и VD2.

1.3. Запустить анализ *Transient*. Вывести на график входное, выходное напряжение (напряжение в точках In и Out), а также токи через транзисторы (токи коллекторов). Время расчета – 3 периода входного сигнала. Максимальный шаг расчета 1 мкс.

Указать на графике группу и номер варианта. Занести графики в отчет.

1.4. Запустить анализ *Transient*. Слайдером увеличивать амплитуду входного напряжения до появления заметных искажений выходного напряжения (ограничения синусоидального сигнала)). Определить максимальную амплитуду выходного неискаженного напряжения  $U_{out\_max}$ , которую можно получить в этом режиме, занести это значение в отчет.

Установить амплитуду входного синусоидального напряжения 6В. Убедиться в наличии существенного ограничения выходного напряжения. Графики и полученную максимальную амплитуду выходного напряжения. Указать на графике группу и номер варианта. Занести графики в отчет.

Объяснить причины возникновения ограничения выходного напряжения.

1.5. Запустить анализ *Transient*. Задать амплитуду источника синусоидального сигнала  $V1 = 6$  В. Убедиться в наличии заметного ограничения выходного напряжения. Зайти во вкладку графиков *Amr*. Получить график амплитудной характеристики усилителя (зависимости амплитуды выходного напряжения  $V(Out)$  от амплитуды входного напряжения  $V(In)$ ). Указать на графике группу и номер варианта. Занести график в отчет.

Объяснить, почему график амплитудной характеристики при больших амплитудах входного сигнала идет параллельно оси X (амплитуда выходного напряжения перестает расти).

1.6. Запустить анализ *Transient*. Задать амплитуду источника синусоидального сигнала  $V1 = 0.1$  В. Убедиться в отсутствии искажений выходного напряжения. Зайти во вкладку графиков *Rin*. Получить график входного сопротивления усилителя  $R_{in}$  (отношения амплитуды входного напряжения  $V(In)$  к амплитуде входного тока).

По полученному графику определить значение входного сопротивления  $R_{in}$  (измерение производится в конечной точке расчета, поскольку при построении графика используется отношение действующих, а не амплитудных значений, а действующее значение вычисляется не сразу, а спустя несколько периодов исследуемого напряжения).

Указать на графике группу и номер варианта. Занести график в отчет.

Объяснить, почему получилось столь малое значение входного сопротивления, несмотря на то, что используется схема с общим коллектором.

1.7. Запустить анализ *Transient*. Задать амплитуду источника синусоидального сигнала  $V1 = 1$  В. Измерить точное значение амплитуды выходного напряжения  $U_{OUT1}$  с подключённой нагрузкой (использовать все полученные значащие цифры).

Отключить нагрузочный резистор  $R3$  и измерить амплитуду выходного напряжения  $U_{OUT2}$  с отключенной нагрузкой.

Вычислить выходное сопротивление транзисторного каскада:

$$R_{OUT} = \frac{(U_{OUT2} - U_{OUT1}) \cdot R3}{U_{OUT1}}.$$

Полученный результат занести в отчет.

1.8. Подключить нагрузочный резистор. Запустить анализ *AC*. Получить амплитудно-частотные характеристики транзисторного каскада для коэффициента усиления по напряжению и коэффициенту усиления по току. Определить коэффициенты усиления  $K_u$ ,  $K_i$  в области средних частот, а также полосу пропускания усилителя (нижнюю граничную частоту  $f_n$  и верхнюю грани-

ную частоту  $f_0$ ). Указать на графиках группу и номер варианта. Графики занести и граничные частоты занести в отчет.

1.9. Запустить анализ *Transient*. Задать амплитуду источника синусоидального сигнала  $V1 = 3$  В. Вывести на графики выходное напряжение  $V(\text{Out})$ , токи коллекторов транзисторов VT1 и VT2, а также токи диодов VD1 и VD2. Постепенно уменьшать значение сопротивления нагрузки R3 до 10 Ом и наблюдать за появлением ограничения выходного напряжения. Получить графики токов и напряжений при сопротивлении нагрузки 20 Ом. Указать на графиках группу и номер варианта. Занести график в отчет.

По полученным графикам посмотреть, что происходит с токами диодов на интервалах ограничения выходного напряжения. Объяснить причины ограничения выходного напряжения при малом сопротивлении нагрузки.

1.10. Уменьшить сопротивление резисторов R1 и R2 до 400 Ом. Запустить анализ *Transient*. Вывести на графики выходное напряжение  $V(\text{Out})$ , токи коллекторов транзисторов VT1 и VT2, а также токи диодов VD1 и VD2. Занести график в отчет.

Объяснить, почему в этом случае ограничения напряжения не наблюдается.

От чего зависит минимальное сопротивление нагрузки, при котором начнется ограничение сигнала?

1.11. Запустить анализ *Transient*. Перейти на вкладку графиков *Rin* и определить значение входного сопротивления  $R_{in}$ . Сравнить полученное значение с результатами п. 1.6.

Пояснить, как меняется входное сопротивление усилителя мощности при уменьшении резисторов R1 и R2.

1.12. Запустить анализ *Dynamic DC*. Вывести на схему токи ветвей. Измерить ток через диоды в режиме покоя. Сравнить с результатами п. 1.2. Схему с токами и результаты измерений поместить в отчет.

## **2. Двухтактный усилитель мощности с источниками тока**

2.1. Собрать или загрузить из файла схему двухтактного усилителя мощности с источниками тока (рис. 1.2). Задать амплитуду источника синусоидального сигнала  $V1 = 3$  В. Указать в поле схемы группу и номер варианта (номер в журнале посещаемости).

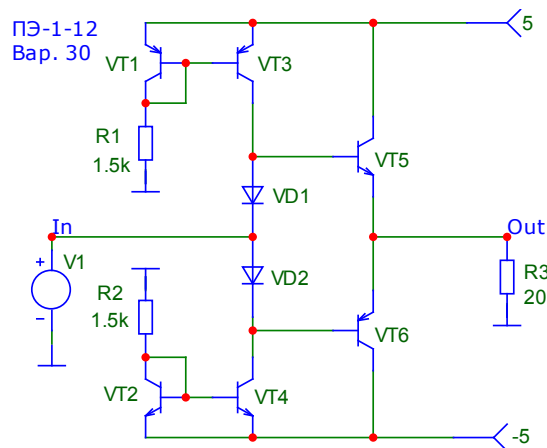


Рисунок 1.2 – Усилитель мощности с источниками тока

2.2. Запустить анализ *Transient*. Вывести на графики выходное напряжение  $V(\text{Out})$ , токи коллекторов транзисторов VT1 и VT2, а также токи диодов VD1 и VD2. Убедиться в отсутствии ограничения выходного сигнала. Указать на графиках группу и номер варианта. Занести график в отчет.

2.3. Запустить анализ *Dynamic DC*. Вывести на схему токи ветвей. Измерить ток через диоды в режиме покоя. Схему с токами и результаты измерений поместить в отчет.

Объяснить, почему даже при существенно меньшем токе покоя через диоды смещения в этой схеме не наступает ограничение выходного сигнала при сопротивлении нагрузки 20 Ом.

2.4. Запустить анализ *Transient*. Перейти на вкладку графиков  $R_{in}$  и определить значение входного сопротивления  $R_{in}$ . Измеренное значение занести в отчет.

Сравнить величину входного сопротивления схемы с источниками тока с входным сопротивлением схемы с резисторами (п. 1.11).

Объяснить, почему схема с источниками тока имеет большее входное сопротивление.

### 3. Усилитель мощности с составными транзисторами

3.1. Собрать или загрузить из файла схему двухтактного усилителя мощности с составными транзисторами (рис. 1.3). Задать амплитуду источника синусоидального сигнала  $V1 = 3$  В. Указать в поле схемы группу и номер варианта (номер в журнале посещаемости).

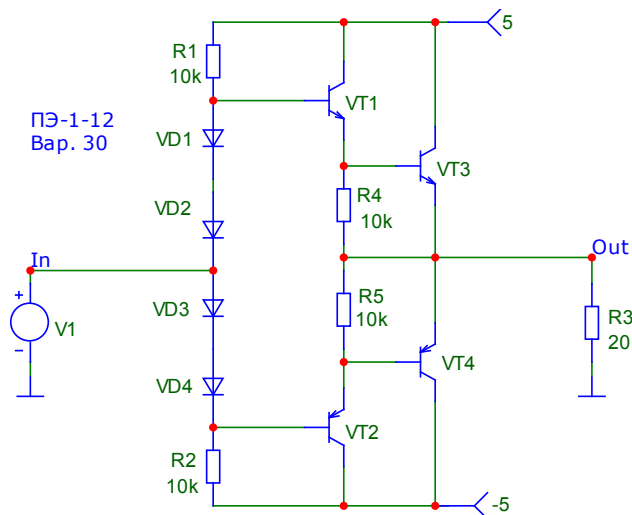


Рисунок 1.3 – Усилитель мощности с составными транзисторами

3.2. Запустить анализ *Transient*. Вывести на графики выходное напряжение  $V(\text{Out})$ , токи коллекторов транзисторов VT1 и VT2, а также токи диодов VD1 и VD2. Убедиться в отсутствии ограничения выходного сигнала. Указать на графике группу и номер варианта. Схему и графики занести в отчет.

Перейти на вкладку графиков Rin и определить значение входного сопротивления  $R_{in}$ . Измеренное значение занести в отчет.

Сравнить полученное значение с значением входного сопротивления усилителя мощности без составных транзисторов (п. 1.11).

Объяснить причины повышения входного сопротивления в усилителе мощности с составными транзисторами.

Объяснить, зачем нужны резисторы R4 и R5.

Объяснить, почему в схеме с обычными транзисторами используется два диода смещения, а в схеме с составными – четыре?

Какой существенный недостаток имеет рассматриваемая схема?

#### 4. Усилитель мощности с составными транзисторами и повышенной температурной стабильностью

4.1. Собрать или загрузить из файла схему двухтактного усилителя мощности с составными транзисторами (рис. 1.4). Задать амплитуду источника синусоидального сигнала  $V1 = 3 \text{ В}$ . Указать в поле схемы группу и номер варианта (номер в журнале посещаемости).

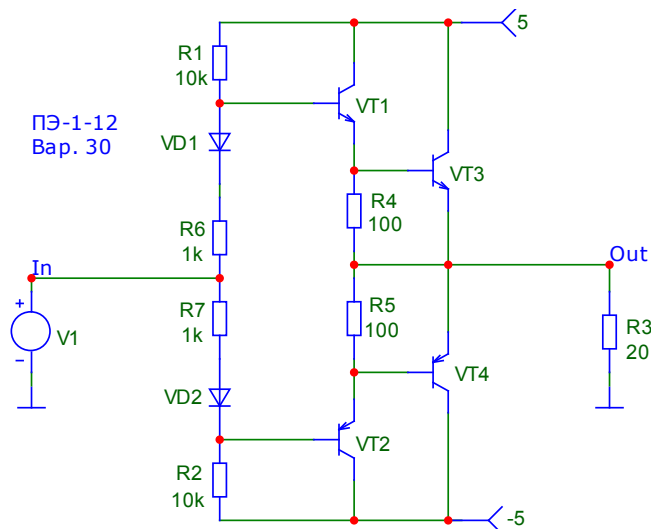


Рисунок 1.4 – Усилитель мощности с повышенной температурной стабильностью

4.2. Запустить анализ *Transient*. Вывести на графики выходное напряжение  $V(\text{Out})$ , токи коллекторов транзисторов VT1, VT2, VT3, VT4. Убедиться в отсутствии ограничения выходного сигнала. Указать на графике группу и номер варианта. Схему и графики занести в отчет.

Сравнить график выходного напряжения с графиком выходного напряжения, полученного в п. 1.17. Объяснить причины произошедших изменений

Пояснить, усилителем какого класса является каждый из транзисторов схемы.

Пояснить назначение резисторов R4 и R10.

4.3. Запустить анализ *Transient*. Установить сопротивление резисторов R6 и R7 равными нулю. Вывести на графики выходное напряжение  $V(\text{Out})$ , токи коллекторов транзисторов VT1, VT2, VT3, VT4. Указать на графиках группу и номер варианта. Графики занести в отчет

Сравнить полученный график выходного напряжения с графиком п. 3.2.

Пояснить назначение резисторов R6 и R7.

## 5. Усилитель мощности с защитой по току

5.1. Собрать или загрузить из файла схему двухтактного усилителя мощности с составными транзисторами и защитой по току (рис. 1.5). Задать амплитуду источника синусоидального сигнала  $V1 = 10 \text{ В}$ . Указать в поле схемы группу и номер варианта (номер в журнале посещаемости).

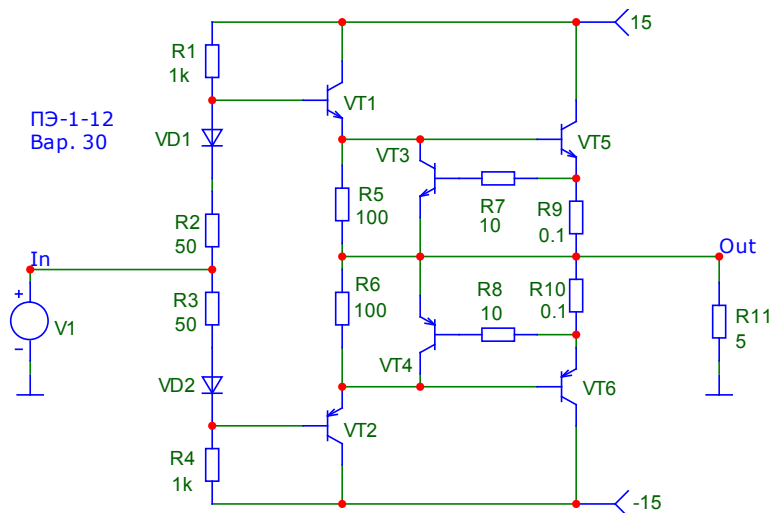


Рисунок 1.5 – Усилитель мощности с защитой по току

5.2. Запустить анализ *Transient*. Вывести на графики выходное напряжение  $V(\text{Out})$ , токи коллекторов транзисторов выходного каскада VT5, VT6 и токи коллекторов транзисторов защиты по току VT3 и VT4. Убедиться в отсутствии ограничения тока. Указать на графике группу и номер варианта.

5.3. Рассчитать сопротивление резисторов R9 и R10, при которых ограничение амплитуды тока выходных транзисторов наступит на уровне 1А.

Установить полученные значения в схему. Убедиться в наличии ограничения тока на нужном уровне. Схему и графики занести в отчет.

Пояснить назначение резисторов R7 и R8.