

## Лабораторная работа № 10

### Исследование двухтактного усилителя мощности

Цель работы – изучение принципа действия двухтактного бестрансформаторного усилителя мощности; снятие и анализ его амплитудно-частотной и амплитудной характеристик и наблюдение работы в режимах  $B$  и  $AB$ .

#### 1. Краткие теоретические сведения

Основное назначение выходных каскадов усиления (усилителей мощности) – передача потребителю заданной или максимально возможной мощности при допустимых уровнях нелинейных искажений и возможно большем КПД.

Усилители мощности бывают *однотактными* и *двухтактными*.

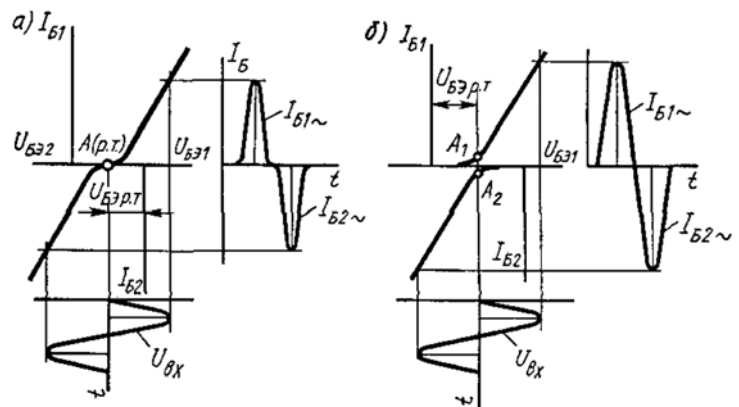
Однотактные усиливают сигнал одним транзистором в течение всего периода за один такт, могут работать только в линейном режиме  $A$  и имеют невысокий уровень нелинейных искажений. Однако режим  $A$  неэкономичен, так как ток коллектора транзистора в рабочей точке должен быть достаточно большим, чтобы можно было его под действием входного сигнала как увеличивать, так и уменьшать. Для режима  $A$  характерно также равенство тока в режиме ожидания входного сигнала среднему току при появлении этого сигнала, т.е. даже теоретический КПД однотактного усилителя составляет 40 – 50% (до 50% при использовании выходного согласующего трансформатора). Это ограничивает их применение.

*Двухтактным* называется каскад, в котором объединены два однотактных усилительных каскада, работающих на одну общую нагрузку и управляемых взаимно противофазно одним и тем же усиливаемым колебанием. В соответствии с этим двухтактный каскад состоит из двух половин, называемых плечами. Напряжение на нагрузке получают путем взаимного вычитания выходных колебаний плеч, чтобы они суммировались, несмотря на противофазное управление.

Благодаря противофазному управлению и вычитанию происходит частичная компенсация нелинейных искажений, вносимых плечами, и получаются некоторые другие преимущества. В двухтактном каскаде можно использовать не только режим  $A$ , обеспечивающий очень малые нелинейные искажения.

В режиме  $B$  рабочие точки транзисторов выбирают в самом начале входных характеристик, т.е. при отсутствии сигнала такой каскад тока не потребляет. В этом случае усилитель экономичен, его КПД достигает 70%, а нелинейные искажения выше, чем у однотактного.

При работе двухтактного усилителя в режиме  $B$  входной сигнал  $U_{BX}$  в



первый полупериод, воздействуя на

один из транзисторов, вызывает синусоидальный ток базы  $I_{B1\sim}$  (рис.10.1а). Коллекторный ток этого транзистора будет также синусоидальным, но только в течение первого полупери-

Рис. 10.1. Формы выходных токов у каскадов, работающих в режиме  $B$  (а) и режиме  $AB$  (б)

ода, другой транзистор в это время тока не проводит. Во второй полупериод входной сигнал  $U_{ВХ}$  аналогично воздействует на второй транзистор, при этом первый транзистор закрыт. Схему усилителя выполняют так, чтобы через нагрузку проходил ток, форма которого близка к синусоидальной, повторяющей форму суммарного базового тока  $I_{Б\sim}$ .

Для снижения нелинейных искажений при незначительном уменьшении КПД используют промежуточный режим  $AB$ . В этом режиме рабочие точки транзисторов выбирают при небольших токах их баз, т.е. при ожидании входного сигнала схема потребляет от источника питания небольшой ток. Режим  $AB$  широко распространен, поскольку по сравнению с более экономичным режимом  $B$  при нем значительно меньше нелинейные искажения.

Управление транзисторами двухтактного усилителя мощности в режиме  $AB$  показано на рис.10.1б. Дополнительное напряжение  $U_{ЭБ.р.т.}$ , подаваемое на эмиттерный переход, смещает входные характеристики относительно друг друга. При этом суммарный базовый ток  $I_{Б\sim}$  схемы близок к синусоидальному.

В двухтактных каскадах усилителей мощности используют все три схемы включения транзисторов: с ОБ, ОЭ и ОК.

Включение транзисторов с ОБ позволяет получить схему с незначительными нелинейными искажениями, хорошей температурной стабильностью и малым изменением параметров при замене транзисторов. Однако для управления такой схемой предварительный усилитель должен быть мощным, так как для управления транзисторами, включенными с ОБ, необходим ток эмиттера даже несколько больший, чем выходной коллекторный ток.

При включении транзисторов с ОЭ в  $h_{21Э}$  раз снижается мощность сигнала управления, но несколько возрастают нелинейные искажения. Замена транзистора в такой схеме вызывает изменение режима каскада по постоянному току, поэтому требуется либо подбор пары транзисторов с одинаковыми параметрами, либо дополнительные меры по восстановлению симметрии схемы, что обязательно сопровождается снижением КПД и ростом коэффициента нелинейных искажений.

При включении транзисторов с ОК схема работает с минимальными нелинейными искажениями. Сигнал управления в такой схеме велик – его мощность близка к мощности входного сигнала каскада на транзисторах с ОБ. Для этой схемы подбирают пару одинаковых транзисторов, поскольку только так можно обеспечить малые нелинейные искажения.

В настоящее время наиболее распространены двухтактные бестрансформаторные усилители мощности звуковой частоты, выполненные на транзисторах разных типов электропроводности или одного типа.

Рассмотрим работу каскада усиления мощности в режиме  $B$  (см. рис.10.2). В схеме используется кремниевый диод  $VD1$ . При положительном полупериоде переменной составляющей коллекторного напряжения транзистора  $VT1$  предварительного усилителя транзистор  $VT3$  закрывается, а транзистор  $VT2$  усиливает сигнал, используя как источник питания заряженный

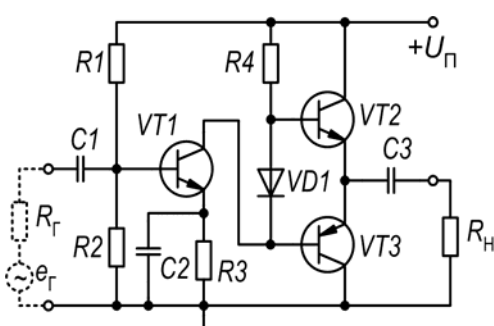


Рис. 10.2. Схема двухтактного каскада с однополярным питанием

примерно до  $0,5U_{\Pi}$  конденсатор  $C3$ . В течение этого полупериода коллекторный ток транзистора  $VT2$  проходит по цепи:  $+U_{\Pi}$ , промежуток коллектор – эмиттер транзистора  $VT2$ , конденсатор  $C3$ , резистор нагрузки  $R_H$ , корпус,  $+U_{\Pi}$ .

При отрицательном полупериоде транзистор  $VT2$  закрывается, а транзистор  $VT3$  открывается, усиливая сигнал. Коллекторный ток транзистора  $VT3$  проходит по цепи: левый электрод конденсатора  $C3$ , заряженный положительно, промежуток эмиттер – коллектор транзистора  $VT3$ , корпус, резистор нагрузки  $R_H$ , правый электрод конденсатора  $C3$ . Ёмкость конденсатора  $C3$  должна быть настолько большой, чтобы за время самого длительного полупериода (самая низкая усиливаемая частота) он разряжался незначительно.

Таким образом, через резистор  $R_H$ , на который поочередно работают два транзистора, управляемые одним сигналом, проходит переменный ток усиленного сигнала – сумма переменных составляющих эмиттерных токов транзисторов  $VT2$  и  $VT3$ . Отсюда следует, что по отношению к источнику сигнала транзисторы включены по схеме с ОК, которая усиливает мощность сигнала, повторяя его напряжение.

Включение кремниевого диода  $VD1$  увеличивает напряжение между базами транзисторов, и их рабочие точки смещаются к началу входных характеристик, т.е. каскад переходит в режим  $AB$ . Этот переход становится заметнее, если используют два (и более) последовательно включённых кремниевых диода.

Одновременно диод  $VD1$  служит для температурной стабилизации базовых цепей транзисторов. При повышении температуры входная характеристика транзистора смещается влево, что означает увеличение тока базы при постоянном напряжении на эмиттерном переходе. Однако ток базы при включении диода  $VD1$  увеличивается значительно меньше, поскольку прямое напряжение на нем при увеличении температуры также уменьшается.

Ниже приведен порядок расчета двухтактного усилителя мощности. Для двухтактного усилителя характерно то, мощность, отдаваемая одним плечом в нагрузку равна выходной мощности всего каскада.

Максимальная мощность рассеяния на коллекторе транзистора одного плеча усилителя

$$P_{K\max} = 2P_H / \pi^2, \quad (10.1)$$

где  $P_H$  – выходная мощность на сопротивлении нагрузки  $R_H$ . Максимальный коллекторный ток транзистора одного плеча

$$I_{K\max} = \sqrt{2P_H / R_H}, \quad (10.2)$$

Напряжение источника питания одного плеча усилителя

$$U_{\Pi} = I_{K\max} \cdot R_H + U_{KЭ\text{ост}}, \quad (10.3)$$

где  $U_{KЭ\text{ост}}$  определяется по выходной динамической характеристике для тока коллектора, равного  $I_{K\max}$ . Обычно напряжение питания каскада принимают на 1...2 В больше расчётного значения. По значениям  $P_{K\max}$ ,  $I_{K\max}$  и  $U_{\Pi}$  из справочника выбирают комплементарные транзисторы, например, КТ315 и КТ361, КТ814 и КТ815, КТ816 и КТ817, КТ818 и КТ819, КТ825 и КТ827 и др.

Мощность, отбираемая каскадом от источника питания

$$P_0 = 2U_{\text{П1}} \cdot I_{\text{Кср.}} = \frac{2}{\pi} U_{\text{П1}} I_{\text{Кmax}} \quad (10.4)$$

где  $I_{\text{Кср.}}$  – средний ток коллектора. Двойка в формуле (10.4) учитывает второе плечо усилителя мощности. В случае однополярного питания напряжение питания  $U_{\text{П}} = 2U_{\text{П1}}$ .

Коэффициент полезного действия

$$\eta = \frac{P_{\text{H}}}{P_0} \times 100\% \quad (10.5)$$

где  $P_{\text{H}} = \frac{U_{\text{Hmax}}^2}{2R_{\text{H}}}$  – максимальная выходная мощность.

По выходной динамической характеристике определяют максимальную амплитуду тока базы  $I_{\text{Бmax}}$ , а по входной характеристике – максимальную амплитуду напряжения  $U_{\text{БЭmax}}$ .

Усредненное входное сопротивление транзистора

$$R_{\text{ВХср}} = \frac{U_{\text{БЭmax}}}{I_{\text{Бmax}}} \quad (10.6)$$

Входное сопротивление плеча

$$R_{\text{ВХ}} \approx R_{\text{ВХср}} + R_{\text{H}} \cdot h_{21\text{Э}}^{VT2(3)} \quad (10.7)$$

Входная мощность каскада

$$P_{\text{ВХ}} = 0,5(U_{\text{БЭmax}} + I_{\text{Кmax}} R_{\text{H}}) I_{\text{Бmax}} \quad (10.8)$$

Коэффициент усиления по мощности

$$K_{\text{P}} = \frac{P_{\text{H}}}{P_{\text{ВХ}}} \quad (10.9)$$

Расчёт предварительного каскада выполняется по стандартной методике.

## 2. Задания к лабораторной работе

### **Задание 1:** Расчёт выходного каскада двухтактного усилителя мощности

- изучить принципиальную схему исследуемого усилителя (рис.10.2);
- рассчитать двухтактный выходной каскад усилителя мощности, используя заданные преподавателем параметры.

### **Задание 2:** Расчёт предварительного усилителя

Расчёт предусилителя проводится по методике, изложенной в МУ к Л.Р. № 4.

Указания:

- при расчёте предусилителя необходимо иметь в виду, что потенциал коллектора транзистора  $VT1$  и потенциал левой обкладки конденсатора  $C3$  должны быть приблизительно равны  $U_{\text{П}}/2$ , рабочий ток коллектора транзистора  $VT1$  должен быть больше  $I_{\text{Бmax}}$ ;
- задать сопротивление резистора  $R3 = (0,01 \dots 0,05)R4$ .

### **Задание 3:** Исследование усилителя мощности

- зарисовать эпюры входного и выходного напряжений, соответствующих линейному

- участку передаточной характеристики, в режиме  $B$  (диод  $VD1$  отсутствует);
- б) в соответствии с рис.10.2 подключить диод  $VD1$  и выполнить пункт а);
- в) последовательно с диодом  $VD1$  подключить ещё один диод и выполнить пункт а);
- г) построить АЧХ и ФЧХ усилителя, работающего в режиме  $AB$ ;
- д) изменяя входное напряжение построить передаточную характеристику усилителя, работающего в режиме  $AB$ .

### 3. Контрольные вопросы

1. Перечислить основные требования к усилителям мощности.
2. Почему одноконтурные усилители мощности используют редко?
3. Какая схема называется двухконтурным усилителем мощности?
4. Перечислить основные достоинства двухконтурной схемы.
5. Чем объясняется экономичность двухконтурных усилителей мощности, работающих в режиме  $B$ ?
6. Каков принцип работы двухконтурного каскада?
7. Почему в усилителях мощности применяют режим  $AB$ ?
8. Как задают режимы  $B$  и  $AB$ ?
9. Что называется искажением типа «ступенька». При каких условиях оно возникает?
10. Пояснить назначение элементов исследуемого усилителя.
11. Чем определяется напряжение питания выходного каскада усилителя мощности?