



060303. Резистивный двухкаскадный усилитель напряжения с бестрансформаторным двухтактным усилителем мощности

Цель работы – изучить работу схемы и основные характеристики двухкаскадного усилителя напряжения низкой частоты на транзисторах с конденсаторной связью. Изучить работу бестрансформаторного двухтактного усилителя мощности с дополнительной симметрией и двухполярным питанием на биполярных транзисторах.

Требуемое оборудование:

Модульный учебный комплекс: МУК-ОЭ1* или МУК-ОЭ2.

Приборы:

- | | |
|---|-------|
| 1. Генератор напряжений ГНЗ | 1 шт. |
| 2. Амперметр-вольтметр АВ1 | 1 шт. |
| 3. Стенд с объектами исследования СЗ-ЭМ01 | 1 шт. |
| 4. Комплект проводников | 1 шт. |
| 5. Осциллограф АСК-1021 | 1 шт. |

* Для обеспечения выполнения лабораторной работы требуется дополнительно осциллограф с полосой пропускания не менее 20 МГц

Краткое теоретическое введение

Первый каскад служит для усиления по напряжению, второй для усиления по току. Первый каскад усилителя (У) собран на транзистор n-p-n типа, включённого по схеме с общим эмиттером (ОЭ). Сигнал $u_{вх}$ поступает на переменный резистор R1 вход У (базу транзистора VT1) через разделительный конденсатор C1. С выхода первого каскада (коллектор транзистора VT1) усиленное напряжение подаётся через разделительный конденсатор C2 (C3, C4) на вход второго каскада (базы транзисторов VT2 и VT3). Выходной сигнал $u_{вых}$ через разделительный конденсатор C5 или напрямую подводится к нагрузке R16 R17, либо ВА1. Разделительные конденсаторы C1, C2 и C5 служат для исключения постоянной составляющей сигнала. Величину емкости разделительных конденсаторов выбирают такой, чтобы падение напряжения на конденсаторе в рабочем диапазоне частот У, было незначительным: на порядок меньше, чем величина напряжения передаваемого сигнала.

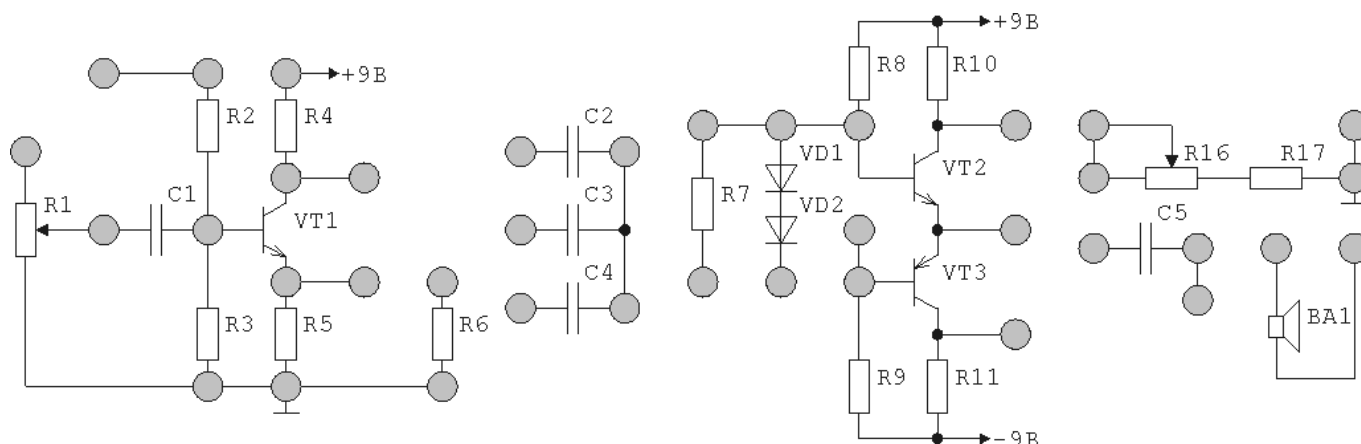


Рис. 1. Резистивный двухкаскадный усилитель напряжения

С помощью конденсатора С2 (С3, С4) осуществляется связь (конденсаторная) между каскадами. Конденсаторная связь исключает влияние режима работы по постоянному току одного каскада на другой.

В общем случае, ток эмиттера $i_{Э1}$ транзистора VT1, как и другие его токи, состоит из двух составляющих: постоянной $I_{ЭП1}$ и переменной $i_{Э1\sim}$ ($i_{Э1} = I_{ЭП1} + i_{Э1\sim}$). Индекс «п» здесь и в дальнейшем указывает на режим покоя (режим работы по постоянному току). Точка покоя каскада задаётся резисторами R2, R3 и R5. Делитель напряжения R2-R3 создаёт фиксированное напряжение смещения $U_{БП1}$ на базе транзистора VT1 относительно общей точки «0» схемы. Величина напряжения на базе относительно эмиттера в режиме покоя получается с учётом падения напряжения в цепи эмиттера:

$$U_{БЭП1} = U_{БП1} - U_{R5} = U_{БП1} - I_{ЭП1} \cdot R5,$$

где $U_{R5} = I_{ЭП1} \cdot R5$ – падение напряжения на резисторе R5.

Резистор R5 включён в цепь эмиттера для создания отрицательной обратной связи (ООС) по току. Благодаря введению ООС обеспечивается стабилизация точки покоя транзистора. Происходит это следующим образом: напряжение на базе $U_{БП}$ относительно общей точки «0» практически постоянно (задаётся делителем напряжения R2-R3). Поэтому изменение напряжения между базой и эмиттером в режиме покоя $U_{БЭП}$ будет определяться изменением напряжения на резисторе R5. Например, при увеличении тока эмиттера $I_{ЭП}$ в силу какого-либо дестабилизирующего фактора (например, повышение температуры окружающей среды) напряжение U_{R5} на резисторе R5 также увеличивается, а напряжение $U_{БЭП}$ – падает. Следовательно, ток базы и вслед за ним ток эмиттера уменьшаются. Таким образом, ток эмиттера возвращается (приближается) к своему первоначальному значению.

Чтобы исключить действие ООС по переменному току, снижающей коэффициент усиления каскада по напряжению, резистор R5 шунтируют конденсатором Сх (блокировочный конденсатор). Ёмкость конденсатора Сх выбирают такой, чтобы падение напряжения в цепи эмиттера от переменной составляющей тока эмиттера $i_{Э1\sim}$ стало незначительным, и им при анализе работы У можно было пренебречь. В нашем случае данный конденсатор не устанавливается.

Входное сопротивление усилителя определяется входным сопротивлением первого каскада: $R_{ВХ} = R_{ВХ.1}$, выходное сопротивление равно выходному сопротивлению второго каскада: $R_{ВЫХ} = R_{ВЫХ.2}$.

При прохождении сигнала через усилитель его форма изменяется: появляются линейные и нелинейные искажения. Основной причиной линейных искажений является зависимость коэффициента усиления У от частоты входного сигнала, что обусловлено наличием в схеме реактивных элементов, а также зависимостью параметров транзистора от частоты. Для отражения зависимости модуля коэффициента усиления У по напряжению от частоты входного гармонического сигнала служит амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) усилителя. На нижней f_H и верхней f_B граничных частотах коэффициент усиления усилителя $K_U(f)$ снижается по сравнению с областью средних частот в 1,41 раза.

Появление нелинейных искажений обусловлено нелинейностью передаточной характеристики У. При входном напряжении синусоидальной формы сигнал на выходе У, строго говоря, нельзя считать чисто синусоидальным: ввиду неизбежной нелинейности входных и выходных вольт-амперных характеристик (ВАХ) транзисторов возникают искажения формы входного сигнала. Для отражения зависимости амплитуды выходного напряжения от изменения амплитуды напряжения на входе $U_{ВЫХ} = f(U_{ВХ})$ при воздействии на вход усилителя гармонического сигнала заданной частоты служит амплитудная характеристика (АХ) усилителя.

Бестрансформаторный двухтактный выходной каскад (рис. 1) собран на комплементарных транзисторах VT2 и VT3 (транзисторах разной проводимости: n-p-n и p-n-p). Нагрузка R16 R17, либо ВА1 включена в эмиттерную цепь транзисторов, работающих в режимах повторителей напряжения (схема с общим коллектором). Питание осуществляется от источников ± 9 В, а нагрузка подключена через конденсатор С5 достаточно большой ёмкости, либо напрямую. В

такте работы транзистора VT3 транзистор VT2 закрыт. В такте работы транзистора VT2 ток нагрузки протекает через источник питания. При этом ток $i_{к1}$, протекает через конденсатор C5.

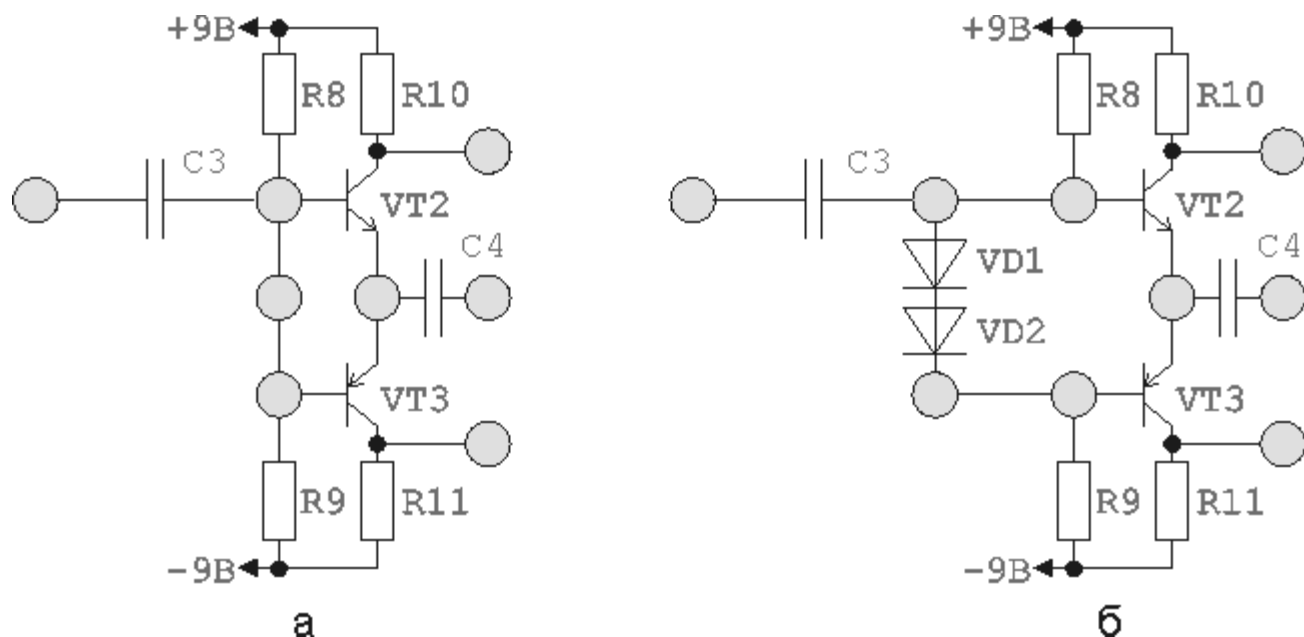


Рис. 2. Схема бестрансформаторного двухтактного усилителя, работающего в режиме класса В (а) и класса АВ (б).

В режиме покоя оба транзистора схемы рис. 2а (режим класса В) заперты, поскольку напряжения на эмиттерных переходах равны нулю. При положительной полуволне входного сигнала при любом режиме работы каскада (В или АВ) в усилении участвует транзистор VT2, а транзистор VT3 закрыт. При отрицательной полуволне сигнала транзисторы меняются ролями. Открытый транзистор работает как усилительный каскад, собранный по схеме с ОК, т.е. как обычный эмиттерный повторитель. В нагрузке проходит переменный ток в течение всего периода, а выходной сигнал практически равен входному.

При отсутствии входного сигнала ток в сопротивлении нагрузки практически отсутствует. При работе усилителя в режиме АВ (рис.2б) небольшие начальные токи, протекающие через транзисторы VT2 и VT3, взаимно вычитаются. Эти токи обусловлены смещением, созданным падением напряжения на диодах VD1 и VD2. Параметры транзисторов VT2 и VT3 идентичны, поэтому напряжения на их базах относительно эмиттеров равны $+U_D / 2$ и $-U_D / 2$. Через транзисторы протекает одинаковый ток, а в сопротивлении нагрузки он отсутствует.

Напряжение смещения, необходимое для работы каскада в режиме В, задаётся с помощью делителя, состоящего из резисторов R8, R9. Напряжение смещения, необходимое для работы каскада в режиме АВ, задаётся с помощью делителя, состоящего из резисторов R8, R9 и двух последовательно соединённых диодов VD1 и VD2, либо резистора R7. Диоды обеспечивают требуемое падение напряжения при заданном токе делителя и в то же время имеют малое дифференциальное сопротивление, что необходимо для уменьшения сопротивления по переменному току. Благодаря этому можно считать, что базы транзисторов по переменному току соединены непосредственно между собой. Кроме того, использование диодов повышает температурную стабильность каскада.

Рекомендуемое задание к работе

1. Измерить напряжения и токи на транзисторе VT1 в режиме покоя.

Задать рабочую точку усилителя. С этой целью подключить в верхнюю точку делителя R2-R3 с источником питания +9В.

В режиме покоя можно измерить напряжения на резисторах в цепях коллектора и эмиттера первого каскада. Затем, зная сопротивления, найти токи коллектора и эмиттера.

2. Измерить напряжения и токи на транзисторах VT2 и VT3 в режиме покоя.

а) Задать рабочую точку второго каскада усилителя. С этой целью соединить базы транзисторов VT2 и VT3 (делитель R8-R9).

В режиме покоя можно измерить напряжения на резисторах в цепях коллектора и эмиттера первого каскада. Затем, найти токи коллекторов и эмиттеров.

б) Задать рабочую точку второго каскада усилителя. С этой целью соединить базы транзисторов VT2 и VT3 с помощью диодов VD1 и VD2.

В режиме покоя можно измерить напряжения на резисторах в цепях коллектора и эмиттера первого каскада. Затем, найти токи коллекторов и эмиттеров.

с) Задать рабочую точку второго каскада усилителя. С этой целью соединить базы транзисторов VT2 и VT3 с помощью резистора R7.

В режиме покоя можно измерить напряжения на резисторах в цепях коллектора и эмиттера первого каскада. Затем, найти токи коллекторов и эмиттеров;

Пронаблюдайте нелинейные искажения входного сигнала («полка») без нагрузки и с нагрузкой.

3. *Определить коэффициент усиления по напряжению $K_U = U_{ВЫХ.}/U_{ВХ.}$, где $U_{ВХ.}$ и $U_{ВЫХ.}$ – входное и выходное напряжение (действующее или амплитудное) каскада.*

Подайте напряжение с генератора переменного напряжения (ГПН) на переменный резистор R1. Сравнить K_U с отношением R4 к R5.

4. *Снимите амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) усилителя.*

Подключите к входу усилителя ГПН, а к выходу – осциллограф;

Изменяя частоту входного сигнала усилителя в диапазоне от 1 кГц до 1 МГц, измеряйте напряжение на его выходе. При этом не должно наблюдаться нелинейных искажений.

Повторите измерения АЧХ при подключенной нагрузке R16 R17, при разных значениях сопротивления.

5. *Снимите амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) усилителя, при различных номиналах ёмкостной связи C2, C3, C4.*

Аналогично пункту 4.

6. *Пронаблюдайте усиление второго каскада усилителя по току.*

Подключите к входу усилителя ГПН, а к выходу – осциллограф;

Подключите к выходу усилителя нагрузку R16 R17.