

Лекция 7

Тема: Специальные усилители

1.1 Усилители мощности (выходные каскады)

Каскады усиления мощности обычно являются выходными (оконечными) каскадами, к которым подключается внешняя нагрузка, и предназначены для получения в нагрузке требуемой мощности. Энергетические показатели этих каскадов являются весьма существенными и при анализе усилителей им уделяется основное внимание.

Каскады усиления мощности отличаются большим разнообразием. Они могут выполняться на биполярных и полевых транзисторах, включенных по схеме ОБ, ОЭ (ОИ) или ОК (ОС). По способу подключения нагрузки усилительные каскады могут быть трансформаторными и бестрансформаторными.

Выходные каскады усилителей предназначены для получения в низкоомной нагрузке требуемой мощности сигнала и поэтому их характеризуют рядом энергетических параметров: выходной мощностью, КПД, коэффициентом усиления по мощности и уровнем нелинейных искажений. Для обеспечения высоких энергетических показателей усилителя мощности, амплитуды выходных напряжений и токов, а также выходная мощность усиленного сигнала должны быть близки к соответствующим предельно допустимым параметрам используемого транзистора.

По способу подключения нагрузки выходные каскады делят на трансформаторные и бестрансформаторные. Трансформаторные каскады в современных усилительных устройствах практически не применяются. В бестрансформаторных выходных каскадах используют однотипные и разнотипные транзисторы, которые соединены по двухтактной схеме с непосредственным подключением нагрузки. При этом разнотипные транзисторы имеют идентичные параметры и их называют комплементарными. В настоящее время схемы на однотипных транзисторах применяются крайне редко. Основным недостатком таких схем – один транзистор включен по схеме ОЭ, а другой – по схеме ОК, что требует искусственного выравнивания коэффициентов усиления плеч.

Основным требованием, предъявляемым к каскадам усиления мощности, является обеспечение в заданном нагрузочном сопротивлении возможно большей или заданной величины мощности сигнала. Эта мощность должна быть отдана при допустимом уровне нелинейных и частотных искажений, а также при возможно меньшем потреблении мощности от источника питания. Поэтому основными исходными данными при расчете каскада являются: мощность P_H отдаваемая в нагрузку; уровень частотных и нелинейных искажений; рабочая полоса частот ($\omega_H - \omega_B$); коэффициент полезного дейст-

вия каскада η . Усилитель мощности обычно является выходным каскадом усилительного устройства.

Сопrotивление нагрузки усилителя мощности, как правило, не превышает величину нескольких десятков или сотен Ω . Если низкоомную нагрузку, включить непосредственно в выходную цепь транзистора выходного каскада, имеющего обычно большое выходное сопротивление, то мощность сигнала в нагрузке окажется очень малой. В этом случае согласование выходного сопротивления усилительного каскада и сопротивления нагрузки осуществляется с помощью выходного трансформатора. Если нагрузка достаточно высокоомная, то она может быть включена непосредственно в выходную цепь оконечного усилительного каскада.

1. 2 Классы усиления в усилителях мощности

В зависимости от положения точки покоя на линии нагрузки по постоянному току различают три основных режима (раннее название – класс) работы транзисторов в усилителях мощности: A ; B и AB . Применяют также специфические режимы – C ; D (близкие к ключевому) и ключевой – импульсный режим.

В режиме A точку покоя транзистора на выходных характеристиках выбирают так, чтобы рабочая точка при перемещении по линии нагрузки не попала в области искажений формы выходного сигнала. Таким образом, все рассмотренные выше усилительные каскады работают в режиме A .

Энергетические параметры усилителя мощности определяют из графических построений:

– мощность в коллекторной цепи каскада ОЭ:

$$P_K = 0,5 U_{ВЫХ\ m} I_{K\ m};$$

– мощность, потребляемую от источника питания:

$$P_0 = E_K I_{КП};$$

– КПД коллекторной цепи:

$$\eta = \frac{P_K}{P_0} = 0,5 \frac{U_{ВЫХ\ m} I_{K\ m}}{E_K I_{КП}}.$$

Как следует из формул при максимальных амплитудах напряжения и тока ($U_{ВЫХ\ m} = E_K$ и $I_{K\ m} = I_{КП}$) КПД транзисторного усилителя мощности, работающего в режиме A , не превышает 50 %.

В режиме класса A выбор точки покоя производят так, чтобы рабочая точка при движении по линии нагрузки не заходила в нелинейную начальную область коллекторных характеристик и в область отсечки коллекторного тока, т. е. в области искажений выходного сигнала. Иными словами, все рассмотренные каскады работают в режиме усиления класса A . Режим класса A используется в так называемых одноктактных каскадах усиления мощности. Каскады усиления мощности класса A обеспечивают наименьшие нелинейные искажения выходного сигнала, но обладают минимальным КПД

Они нашли применение при мощности в нагрузке не более нескольких десятков милливатт.

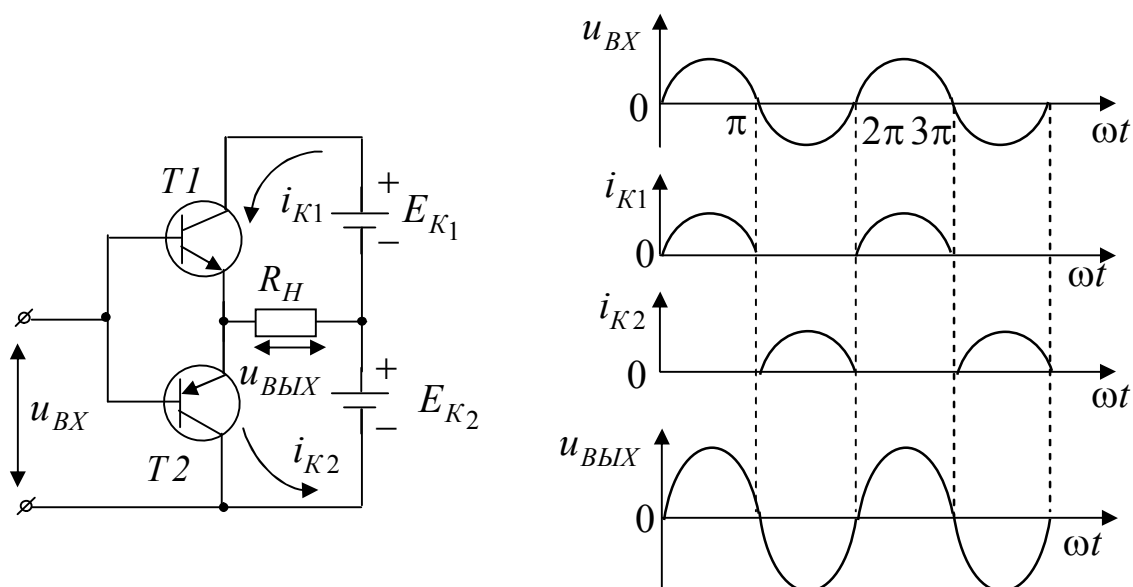
В режиме класса *B* точка покоя располагается в крайней правой части линии нагрузки каскада по постоянному току. Режиму покоя соответствует напряжение $U_{БЭ} = 0$. При наличии входного сигнала ток коллектора транзистора протекает только в течение одного полупериода, а в течение другого транзистор работает в режиме отсечки тока. В режиме класса *B* усилитель мощности выполняют по двухтактной схеме с использованием двух транзисторов. Каждый из транзисторов служит для усиления соответствующей полуволны входного сигнала. Выходной каскад при этом обладает более высоким КПД и применяется на более высокие мощности, чем однотактный.

Режим класса *AB* является промежуточным между режимами классов *A* и *B*. Он позволяет существенно уменьшить нелинейные искажения выходного сигнала, сильно проявляющиеся в режиме класса *B* вследствие нелинейности начального участка входной характеристики транзисторов. Это достигается некоторым смещением точки покоя вверх.

Каскады усиления мощности рассматриваются на биполярных транзисторах, включенных преимущественно по схеме ОЭ. На полевых транзисторах эти каскады выполняются аналогично.

1.3 Бестрансформаторный усилитель мощности на комплементарных транзисторах

К входу бестрансформаторного выходного каскада на комплементарных транзисторах (рисунок 1, а)) подводится однофазное усиливаемое напряжение $u_{ВХ}$. Оба транзистора задействованы по схеме эмиттерного повторителя и обычно запитываются от двух разнополярных одинаковых источников питания $E_{K1} = |-E_{K2}|$. Нагрузка в усилительном каскаде подключена к общей точке соединения эмиттеров транзисторов.



а)

в)

Рисунок 1 – Бестрансформаторный усилитель мощности на комплементарных транзисторах: а) – схема; б) – временные диаграммы токов и напряжений

К входу бестрансформаторного выходного каскада на комплементарных транзисторах (рисунок 1, а)) подводится однофазное усиливаемое напряжение $u_{ВХ}$. Оба транзистора задействованы по схеме эмиттерного повторителя и обычно запитываются от двух разнополярных одинаковых источников питания $E_{K1} = |-E_{K2}|$. Нагрузка в усилительном каскаде подключена к общей точке соединения эмиттеров транзисторов.

С помощью временных диаграмм токов и напряжений (рисунок 1, б)) рассмотрим принцип действия бестрансформаторного выходного каскада. Транзисторы в схеме работают попеременно в так называемом режиме B . Например, на угловом интервале $0 \dots \pi$ при положительной полуволне входного гармонического напряжения открывается транзистор $T1$ ($n - p - n - \text{типа}$), пропуская в нагрузку импульс коллекторного тока i_{K1} . При этом на нагрузке выделяется положительная полуволна выходного напряжения $u_{ВЫХ}$.

На интервале $\pi \dots 2\pi$, когда на вход каскада поступает отрицательная полуволна входного напряжения, напряжения, открывается транзистор $T2$ ($p - n - p - \text{типа}$) и через нагрузку протекает импульс тока i_{K2} , создавая на ней отрицательную полуволну выходного усиленного напряжения $u_{ВЫХ}$.

Усилительный каскад мощности рассчитывают графоаналитическим методом, используя статические характеристики любого транзистора, например $T1$.

КПД коллекторной цепи возрастает с увеличением амплитуды выходного напряжения и при значениях $U_{Km} = E_K$ достигает предельного значения 78,5 %.

Так как оба транзистора включены по схеме эмиттерного повторителя (схему часто называют двухтактным эмиттерным повторителем), то значительно упрощается согласование выходного сопротивления усилителя с низкоомной нагрузкой. Однако в этом случае выходное напряжение не превышает входное, и усиление мощности обеспечивается только за счет усиления тока.

Основной недостаток двухтактных усилителей мощности, работающих в режиме B , – нелинейные искажения выходного сигнала из-за нелинейности начальных участков входных характеристик транзисторов. Объединенная входная характеристика двух транзисторов при этом имеет излом вблизи нуля (рисунок 2, а)). Как видно из диаграмм, эта нелинейность искажает базовые токи i_{B1} и i_{B2} вследствие чего искажаются формы коллекторных токов транзисторов и выходного напряжения. Устраняют этот недостаток введени-

ем транзисторов в промежуточный режим AB (рисунок 2, б)).

Это достигается подачей на их базы небольших отрицательных напряжений смещения, равных напряжению отпириания. Обычно источником базового смещения служат диоды, стабилитроны или транзисторы в диодном включении.

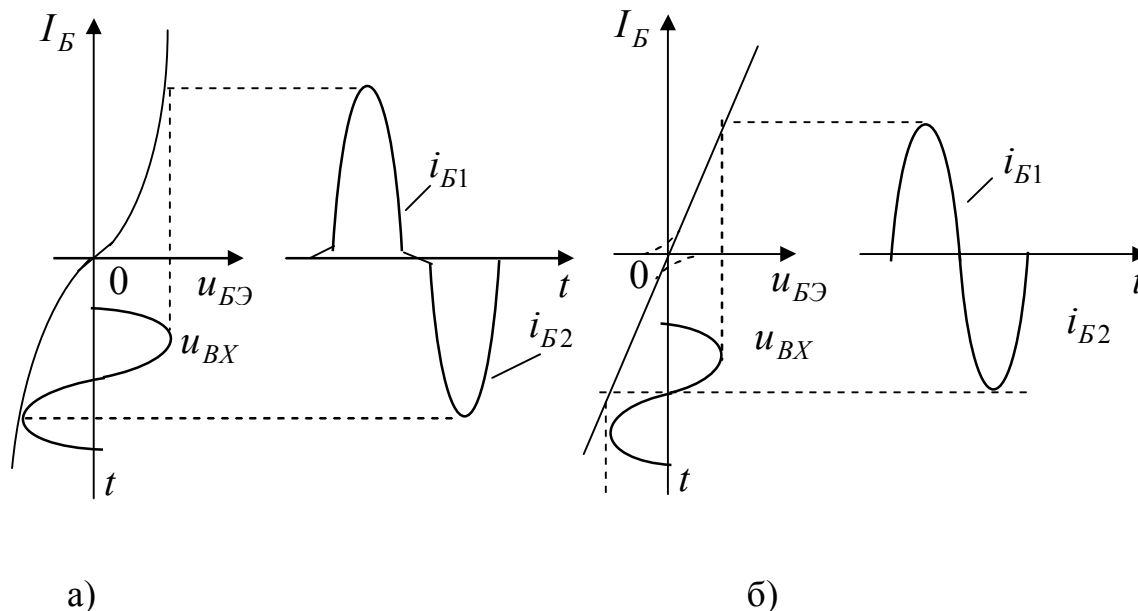


Рисунок 2 – Диаграммы работы двух транзисторов: а) – в режиме B ; б) – в режиме AB

1.4 Избирательные усилители

Избирательные усилители предназначены для усиления узкополосных сигналов. Как правило, отношение граничных частот рабочей полосы избирательного усилителя не превышает $f_B / f_H = 1,001 \dots 1,005$. Их АЧХ должна иметь достаточно резкие, близкие к прямоугольным, спады на границах полосы пропускания.

По используемому частотному диапазону избирательные усилители делятся на два класса – резонансные и с частотно-зависимой ОС.

В одной из простейших схем транзисторного резонансного усилителя с на биполярном транзисторе с общим эмиттером нагрузкой коллекторной цепи является параллельный колебательный LC -контур (рисунок 3). Связь с последующим усилительным каскадом или нагрузкой чаще всего осуществляется через разделительный конденсатор. Может также использоваться и высокочастотная трансформаторная связь. Коэффициент усиления резонансного каскада с ОЭ определяется по формуле $K_U = h_{21} R_0 / h_{11}$, где R_0 резонансное сопротивление контура, которое заменяет сопротивление нагрузки R_{KH} .

Назначение элементов в схеме усилительного каскада рисунка 3 такое

же, как и в схеме усилительного каскада на биполярном транзисторе, включенного по схеме с общим эмиттером. В каскаде для улучшения выходных характеристик используется отрицательная последовательная обратная связь по постоянному и по переменному току, которая задается резисторами R_1 , R_2 , R_3 . Для устранения отрицательной последовательной обратной связи по переменному току, резистор R_3 , шунтируют конденсатором большой емкости C_3 . Конденсаторы C_{P1} и C_{P2} разделительные, разделяют переменные и постоянные составляющие напряжений в схеме. Резисторы R_1 и R_2 называют резисторами базового смещения. С помощью их падают смещение по напряжению на вход активного элемента, в частности транзистора T .

Резонансные усилители применяются на промежуточных и высоких частотах (свыше сотен кГц). Они выполняются обычно на интегральных микросхемах, которые содержат все элементы принципиальной схемы, кроме колебательного контура (на сравнительно низких частотах).

В диапазоне частот до нескольких десятков килогерц резонансные LC -контур не используют из-за больших габаритов конденсаторов и катушек индуктивностей. Поэтому на достаточно низких частотах применяют избирательные усилители с частотно-зависимой ОС, состоящей из RC -цепей.

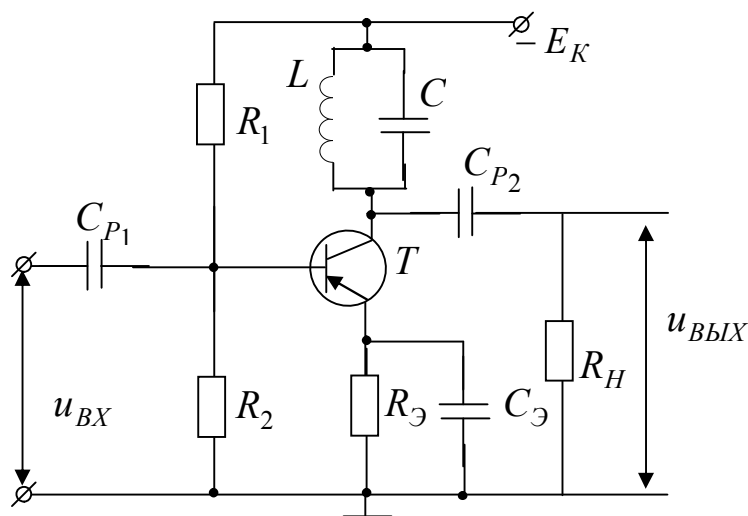


Рисунок 3 – Избирательный усилитель

1.5 Фазоинверсный каскад

Фазоинверсные каскады являются предоконечными каскадами усилителя, если окончательный каскад является двухтактным усилителем мощности. Фазоинверсный каскад должен обеспечивать на входе двухтактного усилителя мощности два одинаковых напряжения, сдвинутых по фазе на 180° .

Наиболее просто осуществить инверсию с помощью каскада с трансформаторным выходом. Вторичная обмотка выполняется с выводом средней

точки (рисунок 4). Расчет такого каскада не отличается от расчета трансформаторного каскада усилителя мощности, работающего в режиме *A*. Нагрузкой плеча вторичной обмотки является входное сопротивление одного плеча двухтактного усилителя мощности, а коэффициент трансформации определяется как отношение числа витков половины вторичной обмотки к числу первичной.

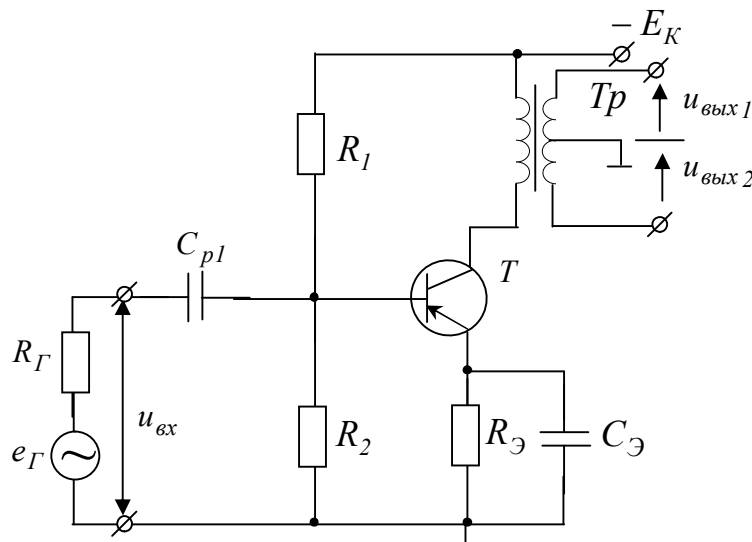


Рисунок 4 – Схема фазоинверсного каскада с трансформаторным выходом

Основными недостатками трансформаторного инверсного каскада являются большие вес, габариты и стоимость, а также наличие дополнительных нелинейных искажений. Поэтому часто между предоконечным и окончательным каскадами помещают так называемый фазоинверсный каскад с разделенной нагрузкой.

Фазоинверсный каскад (каскад с разделенной нагрузкой) предназначен для получения двух выходных сигналов, имеющих сдвиг по фазе в 180° . Схема фазоинверсного каскада приведена на рисунке 4.

Она получается из схемы ОЭ при отключении конденсатора $C_Э$ и подключении второй нагрузки R_{H2} через C_{p3} к $R_Э$. Выходные сигналы снимаются с коллектора и эмиттера транзистора. Сигнал $u_{ВЫХ2}$, снимаемый с эмиттера, совпадает по фазе с входным сигналом $u_{ВХ}$ (рисунок 5), а сигнал $u_{ВЫХ1}$, снимаемый с коллектора (рисунок 5), находится с ним в противофазе.

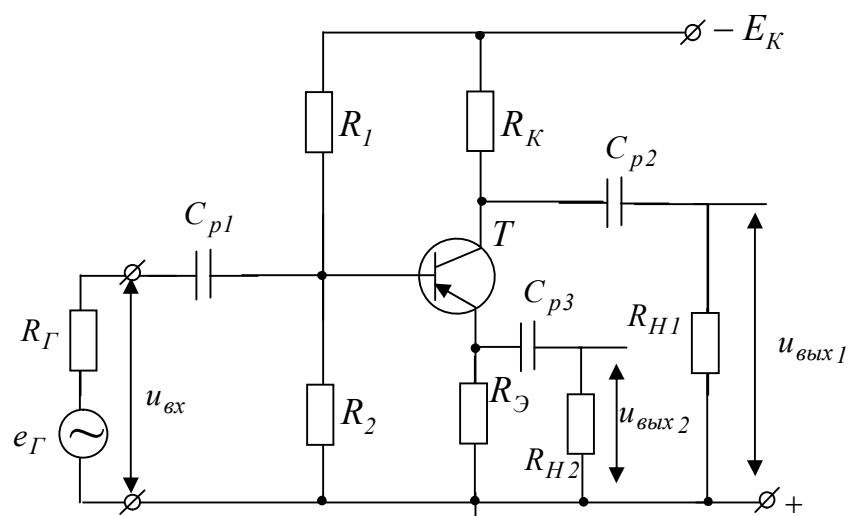


Рисунок 2.5 – Схема фазоинверсного каскада