**Содержание:**

1. Определение гармонических составляющих выходного тока

2. Двухтактный каскад усиления мощности

3. Энергетические соотношения в двухтактном каскаде

4. Схемы трансформаторных двухтактных каскадов

5. Безтрансформаторный каскад усиления мощности

Литература

**1. Однотактный каскад усиления мощности**

Каскады мощного усиления должны отдавать в нагрузку заданную мощность, поэтому используется весь размах характеристики транзистора (из-за больших амплитуд) с заходом на нелинейный участок. Один из основных показателей – коэффициент нелинейных искажений.

Нелинейные искажения возникают во входной (нелинейность входных характеристик) и в выходной (нелинейность выходных характеристик) цепях.

Учесть эти нелинейности позволяет сквозная характеристика , которую можно построить по точкам входной и выходной характеристик. Строится нагрузочная прямая по переменному току. Для каждой точки находятся значения *i*к и *i*б. По входной характеристике находятся значения. Для каждой точки вычисляются значения . По этим точкам строится сквозная характеристика как зависимость . По сквозной характеристике, построенной таким образом, можно определить влияние второй гармоники. Ток коллектора

.

Рассмотрим различные моменты времени.

1) Ток коллектора ;

2) Ток коллектора ;

3) Ток коллектора

Из этих уравнений можно найти значения среднего тока коллектора , амплитуду первой гармоники тока коллектора и амплитуду второй гармоники тока коллектора . Тогда коэффициент гармоник

Метод трех ординат дает сведения о влиянии только второй гармоники. Чтобы учесть гармоники более высокого порядка (третью и четвертую), пользуются методом пяти ординат, при котором на характеристике берется пять точек.

Согласование с нагрузкой осуществляется с помощью трансформатора, коэффициент трансформации которого, где и число витков соответственно в первичной и вторичной обмотках. Сопротивление нагрузки, пересчитанное к первичной обмотке , откуда , находится ниже из электрического расчета. С учетом КПД трансформатора

,.

Каскад работает в режиме А.

Ток существует во время всего периода.

В режиме В происходит отсечка тока. Ток существует только во время угла отсечки коллекторного тока. В режиме В . Реально , что соответствует режиму АВ.

Необходимо рассмотреть энергетические соотношения в каскаде. Рассмотрим семейство выходных характеристик.

1) Проведем нагрузочную прямую по постоянному току. Так как по постоянному току нагрузкой транзистора является первичная обмотка трансформатора, чье сопротивление очень мало, то прямая вертикальна

()

2) Выбираем рабочую точку О в середине характеристик.

3) Построим нагрузочную характеристику по переменному току из условия максимального использования характеристик транзистора. Наклон нагрузочной прямой определяет сопротивление нагрузки по переменному току:

,

если это значение сильно отличается от заданного , применяется трансформатор. Значение тока должно быть меньше допустимого значения для данного транзистора.

4) Коэффициенты использования коллекторного тока и напряжения:

, .

5) Колебательная мощность: .

6) Потребляемая мощность: .

7) КПД каскада: . Т. е. КПД каскада при пиковой мощности может достигать . Среднее значение КПД составляет всего 2-4%.

Потребляемую мощность можно представить в виде суммы двух составляющих: колебательной и рассеиваемой на коллекторе мощностей:

.

Потребляемая мощность – величина постоянная, максимальная рассеиваемая – в режиме молчания, когда , . Транзистор выбирается по допустимой мощности .

Основной недостаток режима А – неполное использование транзистора: .

Для рабочей схемы необходимо выбрать напряжение питания . У транзистора существует параметр – допустимое напряжение на коллекторе (). В режиме А необходимо, чтобы . Для расчета необходимо знать входное сопротивление и входную мощность транзистора. Входное сопротивление

,

входная мощность

Удвоенные значения амплитуд берутся, так как рабочая точка расположена несимметрично на характеристике.Нелинейные искажения можно определить, построив сквозную характеристику и рассчитав коэффициент гармоник методом трех или пяти ординат. В случае пяти ординат можно определить коэффициент гармоник с учетом первых четырех гармоник:

.

Для различных схем включения зависимости коэффициента гармоник от сопротивления генератора различны.

В схеме с общей базой нелинейные искажения меньше, так как в этой схеме есть отрицательная обратная связь по току на сопротивлении генератора, чем оно больше, тем глубже ОС, тем меньше нелинейные искажения. Схема с общим коллектором требует большего входного напряжения, так как напряжение в данной схеме не усиливается, малые искажения возможны при малых сопротивлениях генератора. Схема применяется в безтрансформаторных каскадах.

**2. Двухтактный каскад усиления мощности**

Свойства двухтактного каскада. Данный тип каскадов является основным для каскадов усиления мощности. Разновидности двухтактного каскада – трансформаторный и безтрансформаторный. Особенности трансформаторного каскада: 1) Каскад состоит из двух симметричных плеч;

2) Оба плеча возбуждаются противофазно:

, .

Особенности безтрансформаторного каскада:

1)Транзисторы плечей – комплементарные (то есть разной проводимости и имеющие одинаковые характеристики):

 - , - ;

2) Плечи возбуждаются противофазно, инверсия фазы обеспечивается за счет разной проводимости транзисторов.

3) Оба транзистора работают поочередно, в режиме В.

Ток каждого плеча состоит из переменной и постоянной составляющих, переменные составляющие противофазны:

,

В трансформаторном каскаде переменные составляющие токов текут встречно через первичную обмотку трансформатора, образуя разностный магнитный поток, который образует виртуальный разностный ток.

В безтрансформаторном каскаде разностный ток реально существует в нагрузке:

,

постоянная составляющая разностного тока , переменная составляющая , то есть переменные токи плечей суммируются. При симметрии схемы , тогда постоянная составляющая разностного тока равна нулю.

 Двухтактные каскады обладают следующими свойствами:

1) В двухтактном каскаде отсутствует постоянный ток подмагничивания трансформатора, поэтому магнитная проницаемость сердечника трансформатора возрастает, поэтому при заданной идуктивности первичной обмотки можно уменьшить габариты трансформатора.

2) В безтрансформаторной схеме через сопротивление нагрузки не протекает постоянный ток, нагрузку можно подключать через разделительный конденсатор.

3) В разностном токе отсутствуют четные гармоники:

,

.

Переменное напряжение на базе , тогда по формулам кратных дуг можно получить выражения для токов коллектора:

,

.

Разностный ток

.

Четные гармоники противофазны, в разностном токе они компенсируются, что позволяет каскаду работать в режиме В при малых нелинейных искажениях.

В режиме В ток коллектора представляет собой последовательность косинусоидальных импульсов. У таких импульсов отсутствуют нечетные гармоники, начиная с третьей (видно из разложения в ряд), четные гармоники компенсируются, в результате остается одна первая. Противофазное плечо дает импульсы противоположной полярности, разностный ток представляет собой целую гармонику. Таким образом, в идеальном случае в двухтактном каскаде отсутствуют нелинейные искажения.

4) В источнике питания трансформаторного каскада отсутствуют нечетные гармоники:

При этом облегчаются требования к цепям развязки для уменьшения паразитной отрицательной обратной связи через цепи питания.

К недостаткам двухтактных схем можно отнести наличие в схеме двух плеч, двух транзисторов; отвода от средней точки в первичной обмотке трансформатора; необходимость выполнения условий симметрии.

**3. Энергетические соотношения в двухтактном каскаде**

Амплитуда коллекторного тока для трансформаторного каскада не должна превышать допустимого значения .

Для безтрансформаторного каскада строится нагрузочная прямая

.

Колебательная мощность

.

 Постоянный ток в одном плече можно найти из разложения косинусоидальных импульсов: . Мощность, потребляемая двумя плечами: , то есть потребляемая мощность зависит от амплитуды импульсов коллекторного тока, в режиме молчания, каскад не потребляет энергию.Коэффициент использования коллекторного напряжения: . КПД каскада

КПД каскада зависит от амплитуды импульсов коллекторного тока , максимум КПД получается при максимальной амплитуде, если , то . Средний КПД .

Мощность, рассеиваемая на коллекторе одного транзистора

Для нахождения максимума функции продифференцируем по :

Приравняем производную к нулю, откуда критический коэффициент использования напряжения . Критическое напряжение , ток . Тогда максимальная рассеиваемая мощность

Отношение колебательной и рассеиваемой мощностей:

При пиковой колебательной мощности стремится к единице, тогда , то есть , или . Транзистор выбирается из условия .

В режиме В колебательная мощность для одного транзистора ,а в режиме А – . Как видим, при одном и том же в режиме В колебательная мощность одного транзистора в раз больше, чем в режиме А. Наряду с высоким КПД это обстоятельство является основным преимуществом работы в режиме В.

**4. Схемы трансформаторных двухтактных каскадов**

Используются в основном схемы с общим эмиттером и общей базой.

1) Классическая схема с общим эмиттером (работа транзисторов в режиме А. Сопротивления R1,R2- делитель цепи смещения;Rэ- сопротивление термостабилизации, не шунтируется конденсатором, так как при симметрии плеч переменное напряжение на нем не падает из-за противофазности токов плеч. При асимметрии падение переменного напряжения симметрирует плечи (для одного плеча оно образует положительную обратную связь, для другого – отрицательную). Схема работает только в режиме А, так как в режиме В емкости заряжаются при открытых транзисторах и не успевают разрядиться при закрытых, поэтому транзисторы запираются.

2) Схема с дифференциальным каскадом. Вместо сопротивления Rэ можно включить генератор стабильного тока. Транзисторы двухтактного каскада включены по схеме с общим эмиттером. Данная схема обладает минимальной мощностью возбуждения (повышенным коэффициентом усиления), но также бльшими нелинейными искажениями по сравнению со схемой, где транзисторы включены с общей базой.

3) Схема с общей базой. Сопротивления R1, R2- делитель цепи смещения. Схема с общей базой требует на входе дополнительной мощности для возбуждения, поэтому предоконечный каскад должен также быть усилителем мощности. На выходе каскада получаем большую мощность по сравнению со схемой с общим эмиттером при меньших нелинейных искажениях, так как во входной цепи присутствует последовательная отрицательная обратная связь по току. Схемы с общим коллектором в трансформаторном варианте не рассматриваются

**5. Безтрансформаторный каскад усиления мощности**

Безтрансформаторные каскады обладают меньшими массогабаритными параметрами, в них отсутствуют линейные и нелинейные искажения за счет трансформатора.

1) Схема на комплементарных транзисторах .

Транзистор - n-p-n типа, - p-n-p типа, инверсный каскад не требуется. Транзистор открывается положительной полуволной, транзистор - отрицательной, инверсия фазы происходит в самом каскаде. Транзисторы работают в режиме В. По постоянному току транзисторы включены последовательно, по отношению к сопротивлению нагрузки Rн - параллельно, это позволяет выбирать величину нагрузки, необходимую для согласования с транзисторами. Недостаток схемы – наличие внутренней точки для подачи входного сигнала, два источника сигнала..

Транзисторы включены по схеме с общим коллектором, и схема представляет собой комплементарный эмиттерный повторитель.

Если смещение на базах транзистора отсутствует, то амплитудная характеристика нелинейная. Для устранения нелинейности на базы подают небольшой ток смещения.

2) Схема с цепью смещения. ДиодыVD1,VD2задают смещение порядка 0,7 B, смещение между базами составляет примерно 1,4 B. СопротивленияR1,R2 задают ток смещения Iсм.

Вместо диодов могут быть включены термисторы. Диоды устанавливаются на радиаторы транзисторов, выполняя, таким образом, функцию термокомпенсации.

3) Схема на составных комплементарных транзисторах.

Применяется для увеличения коэффициента усиления и увеличения входного сопротивления. На сопротивленияхR1,R2 задают падение

напряжения по 0,4 B. Напряжение на базо-эмиттерных переходах транзисторовVT1, VT2, тогда смещение между базами транзисторов VT1, VT2 составляет(0,7+0,4)2=2,2 B.Выходные транзисторы VT3, VT4находятся в запертом состоянии, на их базах по 0,4 B, открываются они только сигналом большой амплитуды. При больших мощностях трудно подобрать комплементарную пару, поэтому часто используют выходные транзисторы одинаковой проводимости.

4) Квазикомплементарная схема.

На сопротивлениях R1, R2 задают падение напряжения по0,4 B. Смещение между базами транзисторовVT1, VT2составляет 0,7\*2+0,4=1,8 B. Транзисторы VT3, VT4 одинаковой проводимости, но составные пары имеют разную проводимость, так как она определяется проводимостью входных транзисторов.При симметрии плеч через сопротивление нагрузки не протекает постоянный ток, нагрузку можно подключить через разделительный конденсатор и использовать несимметричный источник питания.

5) Квазикомплементарная схема с несимметричным источником питания.

Разделительный конденсатор Cp большой емкости (500-1000 мкФ). Такая емкость необходима при малом сопротивлении нагрузки, чтобы обеспечить искажения не больше заданных. Во время работы VT3 Cp заряжается. При закрытом транзисторе VT3 напряжение на Cp является напряжением питания для транзистораVT4, через который он разряжается. Переменные токи обоих плеч суммируются в фазе. Наличие разделительного конденсатора Cp усложняет конструкцию, но защищает сопротивление нагрузки от тока короткого замыкания в случае пробоя транзисторов, упрощает конструкцию источника питания.

Пара транзисторов VT1, VT3 образуют составной транзистор n-p-n типа, включенный по схеме с общим коллектором (эмиттерный повторитель).

Пара транзисторов VT2, VT4 образуют два каскада с общим эмиттером. Выходное напряжение каскада включено в цепь эмиттера транзистора VT2, образуя глубокую последовательную отрицательную связь по напряжению, из-за чего плечо имеет высокое входное, низкое выходное сопротивления, фаза напряжения не поворачивается, коэффициент усиления по напряжению близок к единице, то есть плечо обладает свойствами схемы с общим коллектором, таким образом, достигается симметрия плеч.

**Литература:**

1. В.Майоров, С.Майоров - Усилительные устройства на лампах, транзисторах и микросхемах

2. Расчет схем на транзисторах. Пер. с англ. – М.: Энергия, 1969

3. Цыкин Г. С. Электронные усилители – М.: Связь, 1965

4. Ксояцкас А. А. Основы радиоэлектроники – М.: В. Ш., 1988