Каскады усиления мощности

Оконечным каскадом усилительного устройства является каскад усиления мощности. Каскады усиления мощности могут работать как в режиме А, так и в режиме В (АВ). В зависимости от способа связи с нагрузкой и способа построения каскады усиления мощности подразделяются на: однотактные трансформаторные и однотактные с непосредственной связью с нагрузкой, двухтактные трансформаторные и двухтактные бестрансформаторные, мостовые.

Ниже будет произведен энергетический анализ наиболее распространенных типов каскадов усиления мощности. Энергетические соотношения в каскадах определяются режимом работы усилительных элементов и формой усиливаемого сигнала. При рассмотрении энергетических соотношений будем пользоваться в основном синусоидальными (гармоническими) сигналами.

Однотактные каскады усиления мощности работают в режиме А. Схема каскада усиления мощности с непосредственной связью с нагрузкой приведена на рис. 4.29.



Рис. 4.29. Каскад усиления мощности с непосредственной связью с нагрузкой

Сопротивления *Rд1 и Rt*  образуют делитель напряжения для подачи смещения на базу с фиксированным напряжением. Номиналы сопротивлений рассчитываются из условия обеспечения требуемого режима работы транзистора. Разделительный конденсатор *Ср1* не пропускает постоянный ток цепи делителя в «сторону» источника сигнала, сохраняя постоянство тока смещения базы.

Термостабилизация рабочей точки обеспечивается терморезистором *Rt*, сопротивление которого с увеличением температуры уменьшается по закону изменения коллекторного тока.

*Rн* − сопротивление нагрузки (динамика, телефона и т.д.). Через сопротивление нагрузки протекают и постоянный, и переменный токи.

 Расчет номиналов элементов и параметров усилителя мощности производят графоаналитическим способом. С целью выявления пределов «стремления» основных энергетических параметров при анализе каскадов усиления мощности, вводят понятия коэффициентов использования по току (ψ) и по напряжению (ξ) транзистора. Коэффициент использования по току определяется как отношение амплитуды тока, протекающего через сопротивление нагрузки (он численно равен амплитуде тока коллектора транзистора *Iкm*), к току покоя транзистора: ψ *= Iкm / Iк0*. Коэффициент использования по напряжению − это отношение амплитуды напряжения коллектора к напряжению покоя транзистора: ξ *=Uкm / Uк0*.

 Расчет параметров каскада начинают с построения нагрузочной характеристики на семействе выходных характеристик транзистора для заданной мощности, выделяемой в нагрузке, или же для заданного типа транзистора.

 Расчет усилителя для заданной мощности *Рн*, выделяемой в нагрузке, выполняется в следующей последовательности:

1. По справочнику находят подходящий по энергетическим параметрам транзистор, удовлетворяющий условию:

*Р*к доп ≥ (4…5)*Р*н,

где *Р*к доп – допустимая рассеиваемая коллектором транзистора мощность.

 2. Определяют соответствие максимально допустимого напряжения коллектора транзистора рабочему напряжению *Uк доп*, имеющемуся в схеме усилительного каскада. *Uк доп* должно быть больше напряжения источника питания, т.е. *Uк доп* ≥ (1,2…1,5)*Еп*. Необходимое значение напряжения питания определяется из условия *Еп ≥ Umin* + 2*Uкm = 2 Uкm /*ξ, где амплитуда напряжения коллектора *Uкm* определяется как

.

3. По известным значениям сопротивления нагрузки и полезной мощности вычисляются напряжение и ток покоя транзистора:

*Uк0 = Еп /2, Iк0 = Uк0 /Rн.*

4*.* На семействе выходных характеристик строится нагрузочная прямая (см. п.3.6, п.3.7), где определяется рабочая точка (рис.4.30).

5. По нагрузочной характеристике (рис. 4.30) определяются реальные значения амплитуд напряжения и тока коллектора:

. .

Действующее значение тока коллектора определяется по формуле:

, где .



Рис. 4.30. Нагрузочная характеристика транзистора каскада усиления мощности

 6. После выбора тока покоя коллектора на входной характеристике транзистора определяют значение тока смещения базы *Iб0* (рис. 4.31). Так как схема работает в режиме *А*, рабочая точка должна находиться в середине линейного участка входной характеристики транзистора. Тогда амплитуда напряжения базы может быть определена как

.



Рис. 4.31. Определение рабочей точки на входной характеристике транзистора

7. Расчетные значения коэффициентов усиления по напряжению и по мощности находятся как

, .

 8. Рассчитываются значения коэффициентов использования транзистора по току Ψ и по напряжению ξ:

, .

 9. Мощность, потребляемая каскадом от источника питания, постоянна и не зависит от входного сигнала:

.

 10. Мощность, отдаваемая коллектором транзистора в нагрузку, рассчитывается с использованием полученных на выходных характеристиках данных (рис. 4.30):

.

 11. Мощность, рассеиваемая коллектором транзистора:

.

 12. В конце расчетных работ определяется КПД каскада:

.

 Для теоретически предельного случая (на практике эти коэффициенты всегда меньше единицы), когда ψ и ξ равны 1, теоретически допустимый КПД каскада, работающего в режиме А, менее 25 %, т.е. η< 0,25.

 В реальных схемах η = 16−18 %, поэтому в каскадах усиления мощности режим А применяется реже, чем режим В.

Для прямоугольных сигналов КПД усилителя мощности, работающего в режиме А, достигает 50 %.

*Достоинства* однотактного каскада с непосредственной связью с нагрузкой:

1. Простота схемы, не большое число радиоэлементов;

2. Малые линейные и нелинейные искажения.

 *Недостатки*:

1. Нагрузка находится под большим напряжением источника питания, и через сопротивление нагрузки протекает постоянный ток, что не всегда желательно.
2. Маленький КПД.
3. При усилении гармонических сигналов такой каскад работает только в режиме А*.*

*Двухтактный бестрансформаторный каскад усиления мощности.*Наибольшую популярность среди каскадов усиления мощности получили двухтактные бестрансформаторные каскады. Они отличаются малыми весом, габаритами, себестоимостью, хорошей надежностью, КПД и т.д. Недостатком бестрансформаторных двухтактных каскадов усиления мощности является зависимость выходной мощности усилителя от значения напряжения источника питания. Бестрансформаторные двухтактные каскады могут работать от одного источника или от двух источников питания с заземленным средним выводом.

 Рассмотрим принцип работы и пример расчета энергетических параметров простейшего двухтактного бестрансформаторного каскада, работающего от одного источника питания (рис. 4.32). Для построения таких каскадов используются комплементарные пары транзисторов, т.е. транзисторы разных типов проводимости, но с одинаковыми параметрами. Питание каскада от одного источника питания требует введения в схему последовательно с нагрузкой разделительного конденсатора большой емкости. Этот конденсатор служит в качестве буферного источника питания нижнего плеча каскада при усилении одного из полупериодов сигнала.

 Схема каскада усиления работает следующим образом. В зависимости от знака (полярности) полупериода сигнала открывается только один из транзисторов: или нижний, или верхний. На схеме (рис. 4.33) верхний транзистор VT1 *n–p–n*, а нижний – VT2 *p–n–p*-структуры, следовательно, при поступлении положительного полупериода открывается верхний транзистор VT1, ток от источника питания проходит через открытый транзистор, разделительный конденсатор *C*р и сопротивление нагрузки *R*н к отрицательному выводу источника питания. В это время разделительный конденсатор заряжается до напряжения, равного половине напряжения источника питания. Когда «приходит» отрицательный полупериод сигнала, открывается нижний транзистор VT2, и разделительный конденсатор *С*р разряжается через открытый транзистор и сопротивления нагрузки, формируя на нагрузке сигнал отрицательной полярности. Емкость этого конденсатора должна быть достаточной для того, чтобы поддерживать постоянство амплитуд обоих полупериодов напряжения усиленного сигнала.

Последовательность выполнения энергетического расчета такая же, как и для однотактного каскада. Особенность заключается лишь в выборе транзисторов с одинаковыми параметрами. Исходными данными для расчета (кроме качественных параметров) могут быть значения сопротивления нагрузки и выходной мощности усилителя, напряжения питания, тип транзистора и т.д. Расчет ведется для одного плеча каскада усиления в следующей последовательности:

1. Для заданной выходной мощности *Рн* по справочнику выбирают транзисторы по допустимой мощности (выполнение идентичности остальных параметров, условий обеспечения требуемого частотного диапазона, коэффициента гармоник и т.д. являются обязательным), рассеиваемой коллектором транзистора *Рк доп*:

.

 При выборе транзисторов необходимо учитывать их предельные эксплуатационные параметры: максимальное напряжение коллектора, допустимый ток коллектора, допустимую температуру корпуса и т.д.



Рис. 4.32. Схема двухтактного бестрансформаторного усилительного каскада, работающего в режиме *В*:

в средней точке (точка **с**) напряжение равно половине напряжения источника питания

 2. После выбора транзисторов и определения допустимого напряжение коллектора *Uк доп* находят оптимальное значение напряжения источника питания *Еп*. Оно выбирается несколько больше двойной амплитуды напряжения сигнала в нагрузке. Так как амплитуда напряжения сигнала в нагрузке равна амплитуде напряжения на коллекторе транзисторов (рис. 4.33), напряжение источника питания определяется как

*Еп* ≥ 2,2 *Uкт*.

3. Напряжение покоя коллектора выбирают примерно равным половине напряжения источника питания, т.е. *U*к0 ≅ *Еп/2*.



Рис. 4.33. Определение амплитуд коллекторного тока и напряжения

 на семействе выходных характеристик транзистора

4. Ток покоя коллектора транзистора *Iк0* в режиме *В* практически равен нулю; в реальных схемах используется режим *АВ*, тогда ток покоя определяется как

*Iк0 =(0,01 . . . 0,05)Iк т*.

5. Амплитуда импульса тока коллектора определяется по заданному значению мощности, отдаваемой коллектором в нагрузку (эта мощность и есть выходная мощность усилителя):

, где *Uк т* = *ξ Еп /*2.

Коэффициент использования по напряжению транзисторов ξ выбирается в пределах ξ = 0,8–0,85 для маломощных транзисторов и ξ = 0,85–0,9 для мощных транзисторов.

6. Средний ток, потребляемый от источника питания, определяется как

.

Из формулы следует, что в отсутствие усиливаемого сигнала каскад практически не потребляет ток от источника питания. Ток потребления от источника питания усилителем практически полностью определяется амплитудой усиливаемого сигнала.

7. Мощность, потребляемая от источника питания коллекторной цепью каскада, вычисляется по формуле:

.

8. Колебательная мощность, отдаваемая коллектором в нагрузку, определяется с учетом значений тока и напряжения коллектора, указанных на рис. 4.33:

.

Коэффициент полезного действия каскада по коллекторной цепи определяется с помощью соотношения:

.

Приведенное соотношение показывает, что КПД усилителя, работающего в режиме В не может быть больше 78%, т.к. коэффициент использования транзистора по напряжению ξ не может быть больше (или хотя бы равно) единицы.

 Реальное значение КПД каскада значительно меньше теоретического – около 50%. Однако экономичность каскадов, работающих в режиме В*,* существенно выше, чем режима А, так как когда сигнал отсутствует, каскад практически ток не потребляет, а при наличии сигнала ток потребления определяется амплитудой усиливаемого сигнала. На практике это значит, что чем больше громкость, тем больше потребляется ток, чем меньше – тем меньше ток, потребляемый каскадом, и дольше будет служить батарея питания усилителя (например, приемника или магнитофона).