ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ МОЛДОВЫ

ФАКУЛЬТЕТ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ, ИНФОРМАТИКИ И МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

КАФЕДРА МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ И ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ

**Реферат**

Тема:

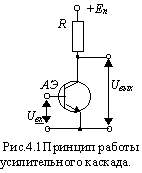
«Исследование усилительных каскадов на транзисторах»

Выполнил: ст. гр. TI-155 Буянов Евгений.

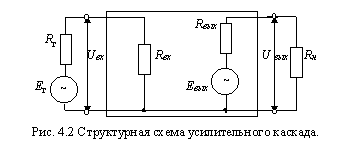
Проверил: ст. преп. Метлинский П.Н.

Кишинев 2016

Усилителем называется устройство, предназначенное для усиления мощности входного сигнала. Усиление происходит с помощью активных элементов за счет потребления энергии от источника питания. Активными элементами в усилителях чаще всего являются транзисторы; такие усилители принято называть полупроводниковыми, или транзисторными. В любом усилителе входной сигнал управляет передачей энергии источника питания в нагрузку.



Принцип действия усилительного каскада удобно пояснить с помощью схемы, приведенной на рис.4.1. Основой усилителя являются два элемента: резистор *R* и управляемый активный элемент *АЭ* транзистор, сопротивление которого изменяется под действием входного сигнала *Uвх*. За счет изменения сопротивления *АЭ* изменяется ток, протекающий от источника питания с напряжением *Eп* в цепи резистора *R* и *АЭ*. В результате будут меняться падение напряжения на резисторе, а следовательно, и выходное напряжение *Uвых.*Здесь процесс усиления основан на преобразовании энергии источника питания *Eп* в энергию выходного напряжения.



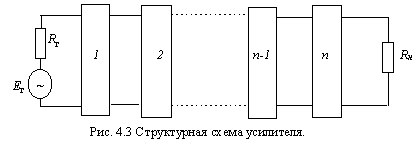
Рассмотрим структурную схему усилительного каскада, приведенную на рис.4.2. Усилитель представлен как активный четырехполюсник. Источник входного сигнала показан в виде генератора напряжения *Eг*, имеющего внутреннее сопротивление *Rг*. На выходе усилителя включен резистор нагрузки *Rн.* Ни генератор *Eг* , ни нагрузка не являются частями усилительного каскада, но довольно часто играют значительную роль в его работе. Усилитель на рис.4.2 представляется своими входным *Rвх* и выходным *Rвых*сопротивлениями.

По роду усиливаемой величины различают усилители напряжения, тока и мощности.

Удобно подразделять усилительные каскады по соотношению величин *Rвх* и *Rг*. Если в усилителе *Rвх>>Rг,*то он является усилителем напряжения. В усилителе тока *Rвх<<R*г*,* т.е. имеет место токовый вход. В усилителе мощности вход согласован с источником входного сигнала, т.е. *Rвх»Rг,*

        По соотношению между величинами *Rвых* и *Rн* также можно разделить усилители на усилители напряжения (*Rвых<<Rн*), тока с токовым выходом (*Rвых>>Rн*), и мощности, которые работают на согласованную нагрузку (*Rвых»Rн*).

Как правило усилитель состоит из нескольких усилительных каскадов (рис.4.3). Первый каскад называется входным, а последний - выходным ил



и оконечным. Входной каскад осуществляет согласование усилителя с источником входного сигнала, поэтому усилитель напряжения должен иметь большое входное сопротивление. Кроме того, крайне желательно, чтобы входной каскад имел минимальный коэффициент шума.

Выходной каскад многокаскадного усилителя чаще всего является усилителем мощности и призван работать на низкоомную нагрузку. Поэтому требуется, чтобы выходной каскад имел большую допустимую мощность, малое выходное сопротивление, высокий коэффициент полезного действия и малый коэффициент гармоник. Промежуточные каскады необходимы для обеспечения заданного усиления, т.е. основным их параметром является коэффициент усиления ( по напряжению).

Соединение каскадов между собой в многокаскадном усилителе может быть осуществлено различными способами. Один из широко распространенных способов для усилителей переменного тока или напряжения реализуется с помощью разделительных емкостей. Такой усилитель называется усилителем с емкостной связью. Для усилителей постоянного тока используется непосредственная (гальваническая) связь. Отметим, что непосредственная связь между каскадами широко представлена в ИС.

## 4.2 Основные параметры и характеристики

Одними из основных параметров усилителя является коэффициент усиления. Различают три коэффициента усиления: по напряжению http://tsput.ru/res/fizika/1/ANISIMOV_2/anis_04.files/image008.gif, по току http://tsput.ru/res/fizika/1/ANISIMOV_2/anis_04.files/image010.gif и по мощности http://tsput.ru/res/fizika/1/ANISIMOV_2/anis_04.files/image012.gif. Для усилителей возможны различные значения коэффициентов, но принципиально то, что *Kp* всегда должен быть больше единицы. Максимальные значения коэффициентов усиления могут достигать 106.

Общий коэффициент усиления многокаскадного усилителя равен произведению коэффициентов усиления отдельных каскадов. Так, для *Ku* можно записать http://tsput.ru/res/fizika/1/ANISIMOV_2/anis_04.files/image014.gif

Коэффициент усиления часто выражают в логарифмических единицах - децибелах (дБ):  *Ku =20lg(Uвых /Uвх )=20lgKu.*

Аналогично в децибелах можно представить *Ki* и *Kp*. Для *Kp* справедлива следующая запись:

*Kp = 20 lg(Pвых /Pвх )=20 lgKp.*

Выражение коэффициентов усиления в децибелах связано с тем, что человеческое ухо реагирует на звуковые колебания в соответствии с логарифмическим законом слухового восприятия.

Если коэффициент усиления каждого каскада выражен в децибелах, то общее усиление многокаскадного усилителя

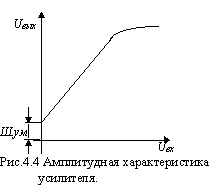
http://tsput.ru/res/fizika/1/ANISIMOV_2/anis_04.files/image016.gif.

Помимо усиления сигнала необходимо, чтобы усилитель не изменял его формы, т.е. в идеальном случае точно повторял все изменения (напряжения или тока). Отклонение формы выходного сигнала от формы входного сигнала принято называть искажениями. Искажения бывают двух видов: нелинейные и частотные.

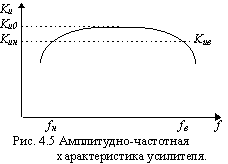
Нелинейные искажения определяются нелинейностью ВАХ транзисторов, на которых собран усилитель. Так, при подаче на вход усилителя сигнала синусоидальной формы выходной сигнал не является чисто синусоидальным, он будет содержать составляющие высших гармоник. Это просто пронаблюдать с помощью входной ВАХ биполярного транзистора, которая имеет форму экспоненты, а не прямой линии. Искажения этого вида оцениваются коэффициентом гармоник (коэффициентом нелинейных искажений) *K*г*.*

http://tsput.ru/res/fizika/1/ANISIMOV_2/anis_04.files/image018.gif, где *U1 ,U2 ,U3* - значения напряжений сигнала в выходной цепи усилителя для основной, второй и третьей гармоник соответственно.

При оценке нелинейных искажений в большинстве случаев учитывают только вторую и третью гармоники, поскольку более высокие гармоники имеют малую мощность. В многокаскадных усилителях общий *K*г можно принять равным сумме коэффициентов гармоник всех каскадов. На практике же основные искажения вносятся выходным (иногда предвыходным) каскадом, который работает на больших амплитудах сигналов.



Для приближенной оценки нелинейных искажений можно воспользоваться амплитудной характеристикой усилителя (рис.4.4), представляющей собой зависимость амплитуды выходного напряжения *Uвых*от амплитудного значения входного сигнала *Uвх* неизменной частоты. При небольших *Uвх*амплитудная характеристика практически линейна. Угол ее наклона определяется коэффициентом усиления на данной частоте. Изменение угла наклона при больших *Uвх* указывает на появление искажений формы сигнала.



Частотные искажения определяются зависимостями параметров транзисторов от частоты и реактивными элементами усилительных устройств. Эти искажения зависят лишь от частоты усиливаемого сигнала. Зависимость *Ku*усилителя от частоты входного сигнала принято называть амплитудно-частотной (частотной) характеристикой (АЧХ). С помощью АЧХ (рис.4.5) можно представить коэффициенты частотных искажений на низшей *Mн* и высшей Mв частотах заданного диапазона работы усилителя: http://tsput.ru/res/fizika/1/ANISIMOV_2/anis_04.files/image024.gif  и http://tsput.ru/res/fizika/1/ANISIMOV_2/anis_04.files/image026.gif.

Обычно допустимые значения коэффициентов частотных искажений не превышают 3 дБ. Отметим, что *Df=fв-fн* принято называть полосой пропускания усилителя.

        В усилителях звуковых частот *fн»20Гц* и *fв»15кГц;* в широкополосных усилителях *fв* может достигать десятков мегагерц; в частотно-избирательных усилителях *fн»fв* и для высокочастотных вариантов может достигать сотен мегагерц; в усилителях постоянного тока (УПТ) *fн=0*, а *fв* может составлять несколько десятков мегагерц.

        Необходимо отметить, что в усилителях имеют место фазовые сдвиги между входным и выходным сигналами, которые могут привести к появлению фазовых искажений. Фазовые искажения проявляются лишь при нелинейной зависимости фазового сдвига от частоты. Эту зависимость принято называть фазочастотной (фазовой) характеристикой (ФЧХ) усилителя. Частотные и фазовые искажения являются линейными искажениями и обусловлены одними и теми же причинами, причем большим частотным искажениям соответствуют большие фазовые искажения, и наоборот.

Помимо рассмотренных параметров и характеристик часто необходимо знать коэффициент полезного действия (КПД) усилителя, коэффициент шума, стабильность, устойчивость работы, чувствительность к внешним помехам и др. Важнейшим параметром усилителей мощности является коэффициент полезного действия *h :*

*h=Pн /P0 ,*

*Pн* - где  мощность, выделяемая на нагрузке усилителя; *P0* - мощность, потребляемая усилителем от внешнего источника питания. Величина *h* всего усилителя определяется главным образом *h*выходного каскада.

Основные параметры и характеристики усилителей зависят как от числа каскадов, так и от типа активного элемента (транзистора) и способа его включения в усилительном каскаде.

## 4.3 Расчет основных параметров усилительного каскада

В рабочем (динамическом) режиме, т.е. когда в выходную цепь транзистора включено сопротивление нагрузки, а на вход подается переменный сигнал, характеристики и параметры транзистора нельзя рассматривать вне связи со схемой.

В общем случае сопротивление нагрузки может быть реактивным, смешанным или чисто активным. Рассмотрим случай чисто активной нагрузки.

Характеристики и параметры транзистора, работающего в рабочем (динамическом), режиме называют рабочими или динамическими.

Рабочие или динамические параметры транзистора связывают малые изменения токов и напряжений транзистора в динамическом режиме. Такими параметрами являются входные и выходные сопротивления, величина которых определяет условия согласования транзистора с источником сигнала и с нагрузкой, и коэффициенты усиления тока, напряжения и мощности. Каждый из этих параметров можно определить следующим образом.

Входное сопротивление - сопротивление входной цепи транзистора для переменного входного тока, при *Rн =0*

http://tsput.ru/res/fizika/1/ANISIMOV_2/anis_04.files/image028.gif

Выходное сопротивление - сопротивление выходной цепи транзистора для переменного выходного тока при *Rн*= 0

http://tsput.ru/res/fizika/1/ANISIMOV_2/anis_04.files/image030.gif

Динамический коэффициент усиления по току http://tsput.ru/res/fizika/1/ANISIMOV_2/anis_04.files/image032.gif.

Динамический коэффициент усиления по напряжению http://tsput.ru/res/fizika/1/ANISIMOV_2/anis_04.files/image034.gif.

Динамический коэффициент усиления по мощности

http://tsput.ru/res/fizika/1/ANISIMOV_2/anis_04.files/image036.gif

В случае усиления малых синусоидальных сигналов рабочие параметры можно определить как отношение амплитуд токов и напряжений.

Графическая зависимость между протекающими токами и приложенными напряжениями для транзистора, включенного  в рабочую схему, определяется динамическими характеристиками. Так же, как и в статическом режиме, можно экспериментально снять или построить входные и выходные динамические характеристики.

Практически для того, чтобы произвести полный расчет динамического режима работы и рабочих параметров транзистора, необходимо иметь два семейства статических характеристик: входные и выходные, на которых должны быть построены входная и выходная динамические характеристики, соответственно. Для построения выходной динамической характеристики на семействе статических выходных характеристик http://tsput.ru/res/fizika/1/ANISIMOV_2/anis_04.files/image038.gif, строится нагрузочная прямая. Т.к. по закону Кирхгофа

http://tsput.ru/res/fizika/1/ANISIMOV_2/anis_04.files/image040.gif

где*Eк* - напряжение источника питания в выходной цепи,

*Rн* - сопротивление нагрузки, http://tsput.ru/res/fizika/1/ANISIMOV_2/anis_04.files/image042.gif,

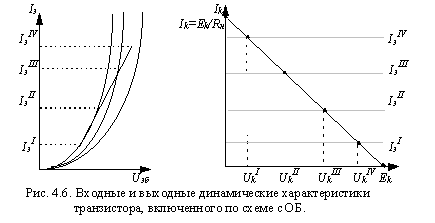
то нагрузочная прямая может быть построена по двум точкам, при условии что известны значения *Ек* и *Rн*:

1. Iвых=0 при *Uк = Eк* ,

2. Uк=0, тогда http://tsput.ru/res/fizika/1/ANISIMOV_2/anis_04.files/image044.gif.

Точки пересечения нагрузочной прямой со статическими характеристиками и определяют ход выходной динамической характеристики. Построение входной динамической характеристики на семействе входных статических характеристик http://tsput.ru/res/fizika/1/ANISIMOV_2/anis_04.files/image046.gif может быть произведено либо с помощью уравнений (при известных *Eк*и *Rн*), либо путем переноса из построенной выходной динамической характеристики. В последнем случае, для точек пересечения динамической выходной характеристики со статическими, определяются значения *Iвх* (для которого снята данная выходная статическая характеристика) и *Uвых* , полученные значения переносятся на семейство статических входных характеристик. Соединяя полученные точки плавной кривой получают входную динамическую характеристику.

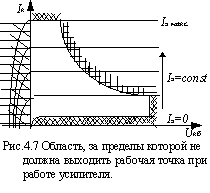
Построение выходной и входной динамических характеристик транзистора, включенного с ОБ, показано на рис.4.6.



Для некоторых транзисторов статические входные характеристики располагаются очень близко друг к  другу. В этом случае приближенно считают, что входная динамическая характеристика совпадает со статической снятой при Uк > 0,5 - 5 В.

При выборе динамического режима работы транзистора. работающего в качестве усилителя малых сигналов низкой частоты, следует помнить, что:

1. Изменения переменных токов и напряжений должно происходить только в активной области не заходя в область насыщения и отсечки.



2. Динамический режим работы транзистора ограничен максимально допустимыми значениями:

а)*Iэ макс.*-максимально допустимый ток эмиттера, определяемый мощностью эмиттерного перехода,

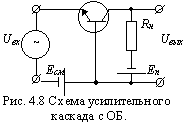
б)*Uк макс.*- максимально допустимое напряжение коллектора, определяемое напряжением пробоя,

в*) Pк. макс. доп.* - допустимая мощность рассеивания коллекторного перехода.

На рис. 4.7 показана область, за пределы которой не должна выходить рабочая точка при работе транзистора в качестве усилителя.

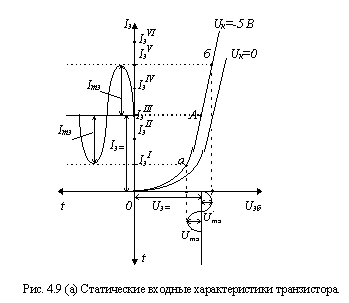
3. Если ставится условие работы без нелинейных искажений, т.е. условие точного воспроизведения на выходе транзистора формы сигнала, поданного на вход, то изменения переменных токов и напряжений должны происходить на участке выходной динамической характеристики, для которого изменения выходного тока прямо пропорциональны изменениям входного тока. Кроме того, т.к. нелинейные искажения в транзисторах в очень большой степени определяются нелинейностью входной динамической характеристики, необходимо, чтобы изменения переменных токов и напряжений лежали бы на прямолинейном участке входной динамической характеристики.

В соответствии с этими условиями определяются значения сопротивления нагрузки *Rн* и постоянных напряжений, подаваемых на эмиттерный и коллекторный переходы.

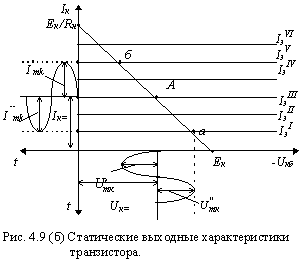


В качестве примера рассмотрим одиночный каскад усилителя на транзисторе (рис.4.8).

В данной схеме используется фиксированное смещение от отдельного источника *Eсм*, с помощью которого задается положение рабочей точки на входной динамической характеристике. Величина *Rн* составляет, как правило, несколько кОм, что значительно меньше выходного сопротивления, а *Ek* - порядка 10В.



Предположим, что статические характеристики транзистора показаны на рис.4.9а,б,  и что заданы *Rн*и *Eк*.



Выходную динамическую характеристику можно построить по двум точкам. Считаем , что входная динамическая характеристика совпадает со статической, снятой при *Uк=-5В.* Если задано условие получения минимальных нелинейных искажений, то изменения переменных токов и напряжений на динамических характеристиках не должны выходить за пределы участка*аб* рис.4.9.

Участок динамической характеристики, в пределах которого происходят изменения переменных токов и напряжений, называется рабочим участок.

Если на вход транзистора подается синусоидальный сигнал вида :

http://tsput.ru/res/fizika/1/ANISIMOV_2/anis_04.files/image058.gif

то для того, чтобы обеспечить работу на выбранном рабочем участке а б , на вход надо подать переменный сигнал с амплитудой

http://tsput.ru/res/fizika/1/ANISIMOV_2/anis_04.files/image060.gif

и постоянную составляющую тока http://tsput.ru/res/fizika/1/ANISIMOV_2/anis_04.files/image062.gif

Iэ= и *Imэ* , то из графика можно определить постоянные составляющие *Uэ=* , *Iк=*, *Uк=*и амплитуды переменных составляющих составляющие *Umэ*, *Imk*, *Umk* .

Тогда легко можно рассчитать:

1. Динамический коэффициент усиления по току http://tsput.ru/res/fizika/1/ANISIMOV_2/anis_04.files/image064.gif

2. Динамический коэффициент усиления по напряжению http://tsput.ru/res/fizika/1/ANISIMOV_2/anis_04.files/image066.gif

3. Динамический коэффициент усиления по напряжению

http://tsput.ru/res/fizika/1/ANISIMOV_2/anis_04.files/image068.gif

4. Входное сопротивление переменному току http://tsput.ru/res/fizika/1/ANISIMOV_2/anis_04.files/image070.gif:

5. Выходное сопротивление переменному току http://tsput.ru/res/fizika/1/ANISIMOV_2/anis_04.files/image072.gif.