Задание Основы электроники 45 группа 6.05.2020

Уважаемая 45 группа у вас закончился предмет «Электротехника»
Прошу сдать дифференцированный зачет (и долги тоже)

Учебник:

Основы электротехники (Кузнецов М.И.) **rateli.ru**

Учебники | Электротехника Таблица 1.1 **booksite.ru**›fulltext/sindeev/text.pdf

1. Прочитать и записать конспект.
2. Сделать задание и результат прислать на электронную почту

Тема 2.3. Усилители постоянного тока (1)

Общие сведения об усилителях.

Усилитель электрических сигналов - это электронное устройство, предназначенное для увеличения мощности, напряжения или тока сигнала, подведенного к его входу, без существенного искажения его формы.
Электрическими сигналами могут быть гармонические колебания ЭДС, тока или мощности, сигналы прямоугольной, треугольной или иной формы.
Частота и форма колебаний являются существенными факторами, определяющими тип усилителя.
Поскольку мощность сигнала на выходе усилителя больше, чем на входе, то по закону сохранения энергии *усилительное устройство* должно включать в себя источник питания. Т.о., энергия для работы усилителя и нагрузки подводится от источника питания. Тогда обобщенную структурную схему усилительного устройства можно изобразить, как показано на рис. 1.

Рисунок 1. Обобщенная структурная схема усилителя.

Электрические колебания поступают от источника сигнала на вход усилителя, к выходу которого присоединена нагрузка, энергия для работы усилителя и нагрузки подводится от источника питания. От источника питания усилитель отбирает мощность ***Po*** - необходимую для усиления входного сигнала. Источник сигнала обеспечивает мощность на входе усилителя $P_{вх}$ выходная мощность $P_{вых}$ выделяется на активной части нагрузки. В усилителе для мощностей выполняется неравенство: $P_{вх} < P_{вых} < Po$. Следовательно, *усилитель* - это управляемый входным сигналом *преобразователь* энергии источника питания в энергию выходного сигнала.
Преобразование энергии осуществляется с помощью усилительных элементов (УЭ): биполярных транзисторов, полевых транзисторов, электронных ламп, интегральных микросхем (ИМС). варикапов и других.

Простейший усилитель содержит один усилительный элемент. В большинстве случаев одного элемента недостаточно и в усилителе применяют несколько активных элементов, которые соединяют по ступенчатой схеме: колебания, усиленные первым элементом, поступают на вход второго, затем третьего и т. д.
Часть усилителя, составляющая одну ступень усиления, называется ***каскадом***.

Усилитель состоит из *активных и пассивных* элементов:
- к *активным элементам* относятся транзисторы, эл. микросхемы и другие нелинейные элементы, обладающие свойством изменять электропроводность между выходными электродами под воздействием управляющего сигнала на входных электродах.
- *Пассивными элементами* являются резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности и другие элементы, формирующие необходимый размах колебаний, фазовые сдвиги и другие параметры усиления. Таким образом, каждый каскад усилителя состоит из минимально необходимого набора активных и пассивных элементов.

Структурная схема типичного многокаскадного усилителя приведена на рис. 2.

Рисунок 2. Схема многокаскадного усилителя.

Входной каскад и *предварительный усилитель* предназначены для усиления сигнала до значения, необходимого для подачи на вход усилителя мощности (выходного каскада). Количество каскадов предварительного усиления определяется необходимым усилением. Входной каскад обеспечивает, при необходимости, согласование с источником сигнала, шумовые параметры усилителя и необходимые регулировки.

Выходной каскад (каскад усиления мощности) предназначен для отдачи в нагрузку заданной мощности сигнала при минимальных искажениях его формы и максимальном КПД.

Источниками усиливаемых сигналов могут быть микрофоны, считывающие головки магнитных и лазерных накопителей информации, различные преобразователи неэлектрических параметров в электрические.

Нагрузкой являются громкоговорители, электрические двигатели, сигнальные лампы, нагреватели и т. д. *Источники питания* вырабатывают энергию с заданными параметрами — номинальными значениями напряжений, токов и мощности. Энергия расходуется в коллекторных и базовых цепях транзисторов, в цепях накала и анодных цепях ламп; используется для поддержания заданных режимов работы элементов усилителя и нагрузки. Нередко энергия источников питания требуется и для работы преобразователей входных сигналов.

Классификация усилительных устройств.

Усилительные устройства классифицируют по различным признакам.
Основными являются:
- *диапазон усиливаемых частот,*
- *функциональное назначение,*
- *характер и полоса усиливаемого сигнала.*

Основным *количественным параметром* усилителя является его коэффициент усиления (коэффициент передачи). Различают коэффициенты усиления напряжения Ku , тока Ki или мощности Kp .

По ***виду*** усиливаемых электрических ***сигналов*** усилители подразделяют на усилители ***гармонических*** (непрерывных) сигналов и усилители ***импульсных*** сигналов.

По *ширине полосы* пропускания и абсолютным значениям *усиливаемых частот* усилители подразделяются на следующие типы:

- ***Усилители постоянного тока*** *(УПТ)* предназначены для усиления сигналов в пределах от низшей частоты $f_н = 0$ до верхней рабочей частоты $f_в$. УПТ усиливает как переменные составляющие сигнала, так и его постоянную составляющую. УПТ широко применяются в устройствах автоматики и вычислительной техники.

- ***Усилители напряжения***, в свою очередь подразделяются на усилители низкой, высокой и сверхвысокой частоты.

По ширине ***полосы пропускания*** усиливаемых частот различают:

- ***избирательные*** усилители (усилители высокой частоты - УВЧ), для которых действительно отношение частот $f_н / f_в$ ***≈1***;

- ***широкополосные*** усилители с большим диапазоном частот, для которых отношение частот $f_в / f_н$ >>***1*** (например УНЧ - усилитель низкой частоты).

- ***Усилители мощности*** - оконечный каскад УНЧ с трансформаторной развязкой. Для того, чтобы мощность была максимальной $\mathbf{R_{вн.\,к} = R_н}$, т.е. сопротивление нагрузки должно быть равно внутреннему сопротивлению коллекторной цепи ключевого элемента (транзистора).

По ***конструктивному исполнению*** усилители можно подразделить на две большие группы:

- усилители, выполненные с помощью дискретной технологии, то есть способом навесного или печатного монтажа,
- усилители, выполненные с помощью интегральной технологии.

В настоящее время в качестве активных элементов широко используются аналоговые интегральные микросхемы (ИМС).

Показатели работы усилителей.

К показателям работы усилителей относятся:

- входные и выходные данные,
- коэффициент усиления,
- диапазон частот,
- коэффициент искажений,
- КПД и другие параметры, характеризующие его качественные и эксплуатационные свойства.

К ***входным данным*** относятся номинальное значение входного сигнала (напряжения $U_{вх}=U_1$, тока $I_{вх}=I_1$ или мощности $P_{вх}=P_1$), входное сопротивление, входная емкость или индуктивность; ими определяется пригодность усилителя для конкретных практических применений.

Входное сопротивление $R_{вх}$ в сравнении с сопротивлением источника сигнала $R_и$ предопределяет тип усилителя; в зависимости от их соотношения различают усилители напряжения (при $R_{вх} >> R_и$), усилители тока (при $R_{вх} << R_и$) или усилители мощности (при $R_{вх} = R_и$).

Входная емкость $C_{вх}$, являясь реактивной компонентой сопротивления, оказывает существенное влияние на ширину рабочего диапазона частот.

Выходные данные — это номинальные значения выходного напряжения $U_{вых}=U_2$, тока $I_{вых}=I_2$, выходной мощности $P_{вых}=P_2$ и выходного сопротивления. Выходное сопротивление должно быть значительно меньшим, чем сопротивление нагрузки. И входное и выходное сопротивления могут быть активными или иметь реактивную составляющую (индуктивную или емкостную). В общем случае каждое из них равно полному сопротивлению Z, содержащему как активную, так и реактивную составляющие

$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2} = \sqrt{R^2 + x^2}.$$

Коэффициентом усиления называется отношение выходного параметра ко входному. Различают коэффициенты усиления по напряжению $K_u=U_2/U_1$, по току $K_i=I_2/I_1$ и мощности $K_p=P_2/P_1$.

Характеристики усилителя.

Характеристики усилителя отображают его способность усиливать с определенной степенью точности сигналы различной частоты и формы. К важнейшим характеристикам относятся *амплитудная, амплитудно-частотная, фазо-частотная и переходная*.

Рис. 3. Амплитудная характеристика.

Амплитудная характеристика представляет собой зависимость амплитуды выходного напряжения от амплитуды подаваемого на вход гармонического колебания определенной частоты $U_{вых}=ф\ (U_{вх})$(рис. 3.). Входной сигнал изменяется от минимального до максимального значения, причем уровень минимального значения должен превышать уровень внутренних помех $\boldsymbol{U_n}$, создаваемых самим усилителем. В идеальном усилителе (усилителе без помех) амплитуда выходного сигнала пропорциональна амплитуде входного $\boldsymbol{U_{вых}=K\cdot U_{вх}}$ и амплитудная характеристика имеет вид прямой линии, проходящей через начало координат. В реальных усилителях избавиться от помех не удается, поэтому его амплитудная характеристика отличается от прямой.

Рис. 4. Амплитудно-частотная характеристика.

Амплитудно- **и** ***фазо-частотная*** характеристики отражают зависимость коэффициента усиления от частоты. Из-за присутствия в усилителе реактивных элементов сигналы разных частот усиливаются неодинаково, а выходные сигналы сдвигаются относительно входных на различные углы. ***Амплитудно-частотная*** характеристика в виде зависимости $K/K_{max}=ф(f)$ представлена на рисунке 4.

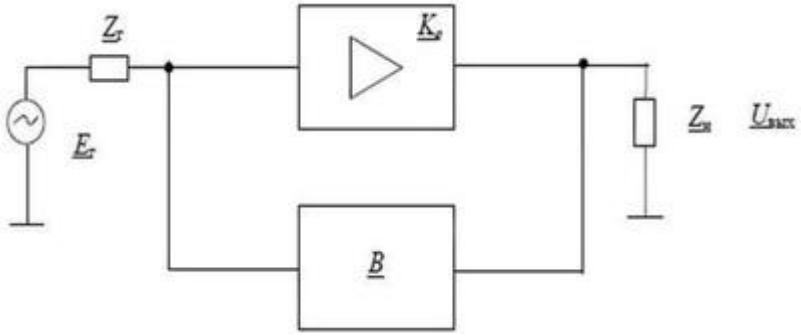
Рабочим диапазоном частот усилителя называют интервал частот, в пределах которого модуль коэффициента ***K*** остается постоянным или изменяется в заранее заданных пределах.

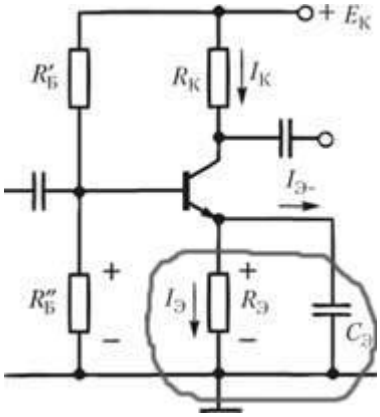
Фазо-частотной характеристикой называется частотная зависимость угла сдвига фазы выходного сигнала по отношению к фазе входного.

Обратные связи в усилителях.

Обратной связью (ОС) называют связь между электрическими цепями, посредством которой энергия сигнала передается из цепи с более высоким уровнем сигнала в цепь с более низким его уровнем: например, из выходной цепи усилителя во входную или из последующих каскадов в предыдущие. Структурная схема усилителя с обратной связью изображена на рисунке 5.

Рис. 5. Структурная (слева) и принципиальная схема с отрицательной ОС по току (справа).



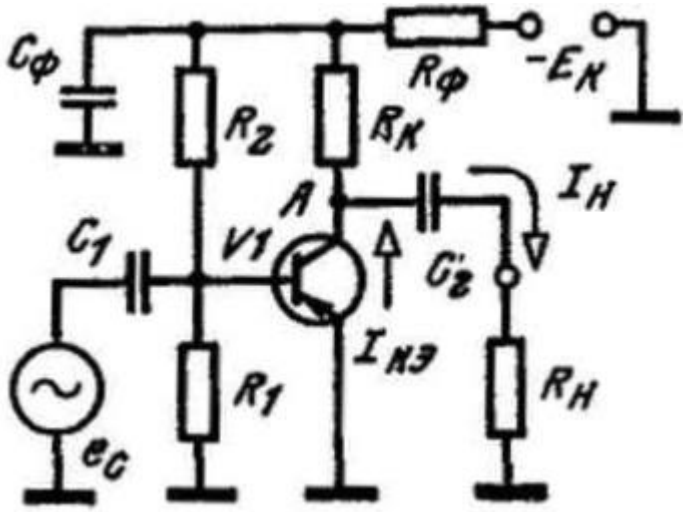


Обратная связь может возникать в схеме через паразитные цепи, такая обратная связь называется *паразитной.* Так как паразитные связи, как правило, нельзя рассчитать, а они могут существенно ухудшить работу усилителя, поэтому паразитные связи усилителя ослабляют, чтобы они практически не сказывались на его свойствах. Обратная связь возникает также благодаря конструктивным особенностям и физическим свойствам усилительных элементов. Такую обратную связь называют *внутренней,* ее учитывают при моделировании усилительных элементов.

Внешняя обратная связь, искусственно введенная и правильно построенная, вводится для изменения свойств усилителя в желаемом направлении, придания ему определенных функциональных особенностей и для улучшения основных показателей его работы. Далее, по умолчанию, речь будет идти о внешней обратной связи.

Передача сигнала с выхода на вход усилителя осуществляется с помощью четырехполюсника *В.* Четырехполюсник обратной связи представляет собой внешнюю электрическую цепь, состоящую из пассивных или активных, линейных или нелинейных элементов. Если обратная связь охватывает весь усилитель, то обратная связь называется *общей:* если обратная связь охватывает отдельные каскады или части усилителя, называется *местной.* Таким образом, на рисунке представлена структурная схема усилителя с общей обратной связью.

Модель усилительного каскада.

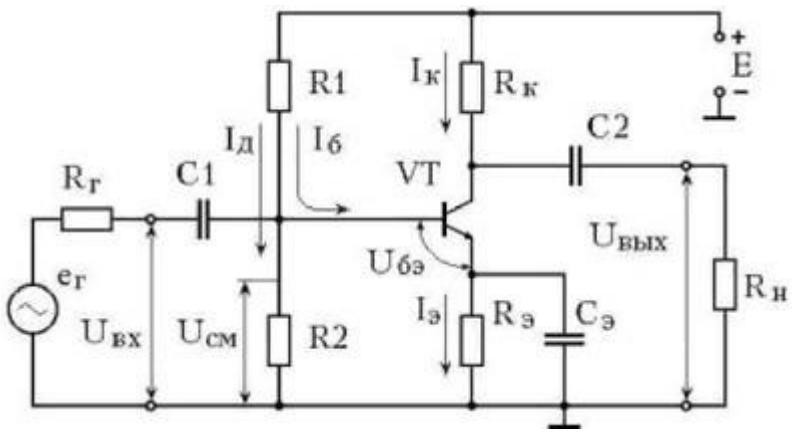


Усилительный каскад - конструктивное звено усилителя - содержит один или более активных (усилительных) элементов и набор пассивных элементов. На практике, для большей наглядности, сложные процессы исследуют на простых моделях.

Один из вариантов транзисторного каскада для усиления переменного тока приведен на рисунке слева. Транзистор ***V1*** *p-n-p* типа включен по схеме с общим эмиттером. Входное напряжение база - эмиттер создается источником с ЭДС E_c и внутренним сопротивлением R_c источника. В цепи базы установлены резисторы R_1 и R_2. Коллектор транзистора соединен с отрицательным зажимом источника $E_к$ через резисторы $R_к$ и $R_ф$. Выходной сигнал снимается с выводов коллектора и эмиттера и через конденсатор C_2 поступает в нагрузку $R_н$. Конденсатор ***Сф*** совместно с резистором ***Rф*** образует ***RC***-звено фильтра (*положительную обратную связь - ПОС*), который требуется, в частности, для сглаживания пульсаций питающего напряжения (при маломощном источнике $E_к$ с большим внутренним сопротивлением). Так же, для большей стабильности устройства, в цепь эмиттера транзистора ***V1*** (*отрицательная обратная связь - ООС*) можно дополнительно включить ***RC***-фильтр, который будет препятствовать передачи части выходного сигнала обратно на вход усилителя. Таким образом, можно избежать эффекта самовозбуждения устройства. Обычно искусственно созданная ***внешняя ООС*** позволяет добиться хороших параметров усилителя, однако это справедливо в общем случае только для усиления постоянного тока или низких частот.

Усилитель напряжения. Схема усилителя низкой частоты на биполярном транзисторе.

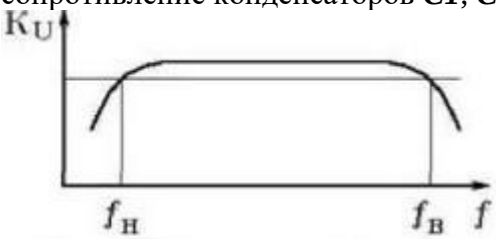
Усилительный каскад на биполярном транзисторе, включенном по схеме с ОЭ, является одним из наиболее распространенных асимметричных усилителей. Принципиальная схема такого каскада, выполненная на дискретных элементах, изображена на рисунке ниже.



В этой схеме резистор ***Rк***, включенный в главную цепь транзистора, служит для ограничения коллекторного тока, а также для обеспечения необходимого коэффициента усиления. При помощи делителя напряжения ***R1R2*** задается начальное напряжение смещения на базе транзистора VT, необходимое для режима усиления класса А.

Цепь ***RэСэ*** выполняет функцию эмиттерной термостабилизации точки покоя; конденсаторы ***С1*** и ***С2*** являются разделительными для постоянной и переменной составляющих тока. Конденсатор ***Сэ*** шунтирует резистор ***Rэ*** по переменному току, так как емкость ***Сэ*** значительна.

При подаче на вход усилителя напряжения сигнала неизменной амплитуды при различных частотах выходное напряжение в зависимости от частоты сигнала будет изменяться, так как сопротивление конденсаторов ***С1***, ***С2*** на разных частотах различно.



АЧХ усилительного каскада с ОЭ.

Зависимость коэффициента усиления от частоты сигнала получило название ***амплитудно-частотной*** характеристики усилителя (АЧХ).

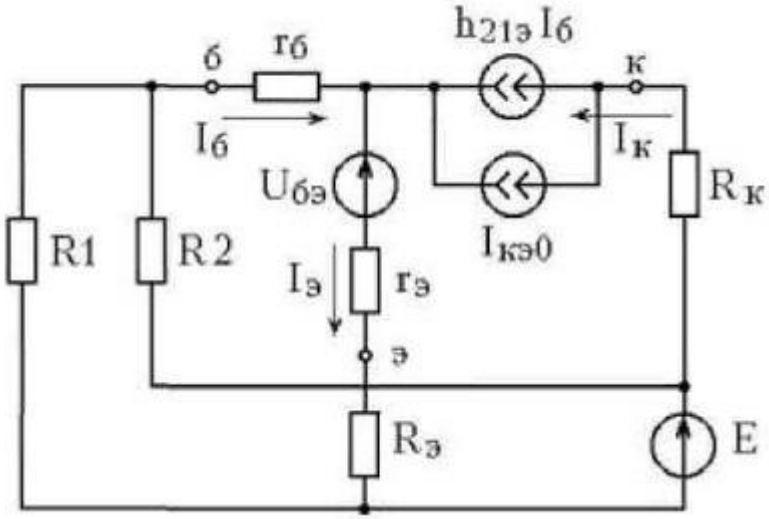
Усилители низкой частоты наиболее широко ***применяются*** для усиления сигналов, несущих звуковую информацию, в этих случаях они называются, также, усилителями звуковой частоты, кроме этого УНЧ используются для усиления информационного сигнала в различных сферах: измерительной технике и дефектоскопии; автоматике, телемеханике и аналоговой вычислительной технике; в других отраслях электроники. Усилитель звуковых частот обычно состоит из ***предварительного усилителя*** и ***усилителя мощности*** (УМ).

Предварительный усилитель предназначен для повышения мощности и напряжения и доведения их до величин, нужных для работы оконечного усилителя мощности, зачастую включает в себя регуляторы громкости, тембра или эквалайзер, иногда может быть конструктивно выполнен как отдельное устройство.

Усилитель мощности должен отдавать в цепь нагрузки (потребителя) заданную мощность электрических колебаний. Его нагрузкой могут являться излучатели звука: акустические системы (колонки), наушники (головные телефоны); радиотрансляционная сеть или модулятор радиопередатчика. Усилитель низких частот является неотъемлемой частью всей звуковоспроизводящей, звукозаписывающей и радиотранслирующей аппаратуры.

Отрицательная обратная связь в цепи эмиттера стабилизирует работу цепи, уменьшает искажения сигнала, вызванные нелинейностью характеристик усилителя. Повышается стабильность коэффициента усиления, расширяется диапазон рабочих частот. Кроме того, использование ООС приводит к изменению входного и выходного сопротивлений усилителя.

Анализ работы каскада усилителя производят с помощью эквивалентной схемы (на рис. ниже), в которой транзистор заменен Т-образной схемой замещения.



В этой эквивалентной схеме все физические процессы, происходящие в транзисторе, учитываются при помощи малосигнальных Н-параметров транзистора, которые приведены ниже.

Для питания усилителей используются источники напряжения с малым внутренним сопротивлением, поэтому можно считать, что по отношению к входному сигналу резисторы ***R1*** и ***R2*** включены параллельно и их можно заменить одним эквивалентным ***Rб = R1R2/(R1+R2)***.

$r_б = h_{11э} - r_э(h_{21э} + 1)$ - *омическое сопротивление базовой области (достигает 100...200 Ом);*

$I_{кэо} = I_{кбо}/(1 - h_{21б})$ - *обратный сквозной ток транзистора;*

$U_{бэ}$ - *контактная разность потенциалов эмиттерного перехода;*

$h_{21э} I_{бп}$ - *"генератор тока", характеризующий усилительные свойства транзистора;*

$r_э = \frac{h_{21э}}{h_{22э}} \approx \varphi_т/I_э$ - *дифференциальное сопротивление эмиттерного перехода;*

$r_к^* = \frac{r_к}{h_{21э} + 1}$; $r_к = \frac{1}{h_{22б}}$ - *дифференциальное сопротивление коллекторного перехода для схемы ОЭ и ОБ соответственно.*

Важным критерием для выбора номиналов резисторов ***Rэ,*** ***R1*** и ***R2*** является обеспечение температурной стабильности статического режима работы транзистора. Значительная зависимость параметров транзистора от температуры приводит к неуправляемому изменению коллекторного тока ***Iк***, вследствие чего могут возникнуть нелинейные искажения усиливаемых сигналов. Для достижения наилучшей температурной стабилизации режима надо увеличивать сопротивление ***Rэ***. Однако это приводит к необходимости повышать напряжение питания ***E*** и увеличивает потребляемую от него мощность. При уменьшении сопротивлений резисторов ***R1*** и ***R2*** также возрастает потребляемая мощность, снижающая экономичность схемы и уменьшается входное сопротивление усилительного каскада.

Усилитель постоянного тока в интегральном исполнении.

Операционный усилитель (ОУ) в интегральном исполнении является наиболее распространенной универсальной микросхемой (ИМС). ОУ – это устройство с высокостабильными качественными показателями, которые позволяют производить обработку аналоговых сигналов по алгоритму, задаваемому с помощью внешних цепей.

Операционный усилитель (ОУ) — унифицированный многокаскадный ***усилитель постоянного тока*** (УПТ), удовлетворяющий следующим требованиям к электрическим параметрам:

- коэффициент усиления по напряжению стремится к бесконечности;
- входное сопротивление стремится к бесконечности;
- выходное сопротивление стремится к нулю;
- если входное напряжение равно нулю, то выходное напряжение также равно нулю Uвх = 0, Uвых = 0;

- бесконечная полоса усиливаемых частот.

ОУ имеет два входа, инвертирующий и неинвертирующий, а также один выход. Вход и выход УПТ выполняют с учетом вида источника сигнала и внешней нагрузки (несимметричные, симметричные) и величин их сопротивлений. Во многих случаях в УПТ, как и в усилителях переменного тока, обеспечивают большое входное сопротивление, чтобы уменьшить влияние УПТ на источник сигнала, и малое выходное сопротивление, чтобы уменьшить влияние нагрузки на выходной сигнал УПТ.

На рисунке 1 приведена схема инвертирующего усилителя, на рисунке 2 неинвертирующего. В этом случае коэффициент усиления равен:

- для инвертирующего Киоу = Roc / R1
- для неинвертирующего Кноу = 1 + Roc / R1

Рис. 1

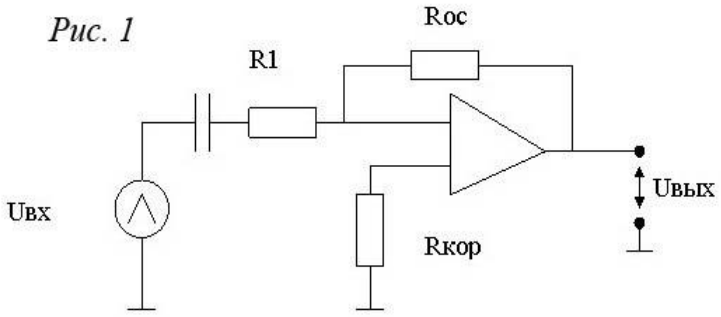
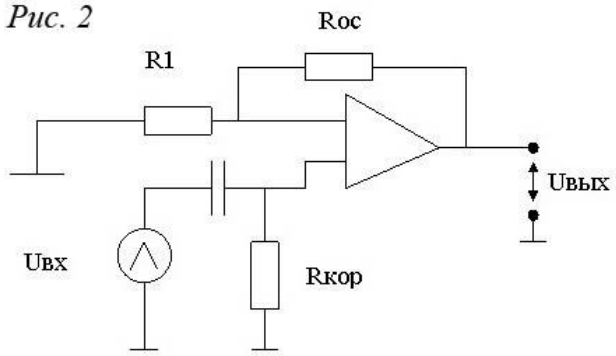
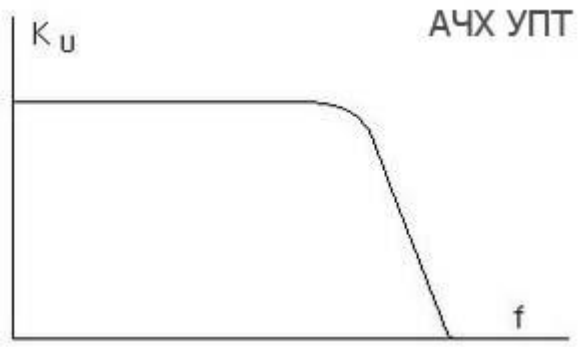


Рис. 2



Инвертирующий усилитель охвачен ООС параллельной по напряжению, что вызывает уменьшение Rвхоу и Rвыхоу. Неинвертирующий усилитель охвачен ООС последовательной по напряжению, что обеспечивает увеличение Rвхоу и уменьшение Rвыхоу. На базе этих ОУ можно построить различные схемы для аналоговой обработки сигналов.

К УПТ предъявляются высокие требования по наименьшему дрейфу нуля и по высокому входному сопротивлению. Самопроизвольное изменение выходного напряжения УПТ при неизменном напряжении входного сигнала называется ***дрейфом усилителя***. Причинами дрейфа являются нестабильность напряжений питания схемы, температурная и временная нестабильности параметров транзисторов и резисторов. Этим требованиям удовлетворяет ОУ в котором первый каскад собран по дифференциальной схеме, который подавляет все синфазные помехи и обеспечивает высокое входное сопротивление. Этот каскад может быть собран на полевых транзисторах и на составных транзисторах, где в цепи эмиттеров (истоков) подключен ГСТ (генератор стабильного тока), что усиливает подавление синфазных помех. Для повышения входного сопротивления применяют глубокую последовательную ООС и высокую коллекторную нагрузку (в этом случае Jвхоу стремится к нулю).



Усилители постоянного тока предназначены для усиления сигналов, медленно изменяющихся во времени, т. е. сигналов, эквивалентная частота которых приближается к нулю. Поэтому УПТ должны обладать ***амплитудно-частотной характеристикой*** в виде, изображённой на рисунке слева. Поскольку коэффициент усиления ОУ очень велик, то использование его в качестве усилителя

возможно лишь при охвате его глубокой отрицательной обратной связью (при отсутствии ООС даже крайне малый сигнал "шума" на входе ОУ даст на выходе ОУ напряжение, близкое к напряжению насыщения).

История операционного усилителя связана с тем, что усилители постоянного тока использовались в аналоговой вычислительной технике для реализации различных математических операций, например суммирования, интегрирования и др. В настоящее время эти функции хотя и не утратили своего значения, однако составляют лишь малую часть списка возможных применений ОУ.

Усилители мощности.

Усилители мощности - это выходные усилительные каскады многокаскадного усилителя в электронных устройствах. При проектировании усилителя мощности на первый план выдвигаются два параметра - КПД (коэффициент полезного действия) и уровень нелинейных искажений, который оценивается коэффициентом нелинейных искажений.

КПД оценивается отношением полезной мощности (выделенной в нагрузке) к затраченной (потребляемой от источника).

Основная задача, которую ставит перед собой разработчик усилителей мощности: обеспечить необходимую мощность и передать её в нагрузку с минимальными искаженями. Поэтому, в какой-то степени, усилитель мощности - это пример силовой электроники.

Но реальный усилитель мощности, в первую очередь, это устройство информативной электроники. В таких устройствах основная задача - снизить мощность обрабатываемых сигналов до такого уровня, при котором *помехоустойчивость* устройства ещё приемлема. И лишь во вторую очередь - устройство, которое содержит элементы и силовой электроники (в этих устройствах такую первоочередную задачу ставить нельзя). При проектировании схем усилителей мощности следует помнить об этом различии.

К величине *коэффициента усиления по* ***напряжению*** особых требований нет: как правило, он *чуть больше единицы*. *Усиление мощности* происходит за счёт *усиления по* ***току***.

В выходных усилителях мощности должны использоваться каскады с малым выходным сопротивлением, а вводимые в схему цепи ООС должны быть только по напряжению. По этой причине схемы усилителей мощности строятся по двухтактным схемам. Такие схемы дают хороший выигрыш и по мощности.

Такие усилители находят большее применение, чем с трансформаторным выходом: там, где трансформатор на первое место выходит проблема габаритов и веса устройства в целом.

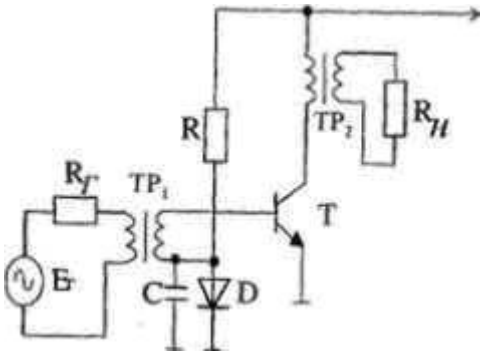
Что же представляет из себя *усилитель мощности* (далее, для краткости будем называть его УМ)? Исходя из вышеизложенного, **структурную схему усилителя** можно условно разделить на три части:

- Входной каскад
- Промежуточный каскад
- Выходной каскад (усилитель мощности)

Все эти три части выполняют одну задачу – увеличить мощность выходного сигнала без изменения его формы до такого уровня, чтобы можно было раскачать нагрузку с низким сопротивлением. Например: динамическую головку или наушники.

Бывают *трансформаторные* и *бестрансформаторные* схемы УМ.

1. *Трансформаторные усилители мощности.*



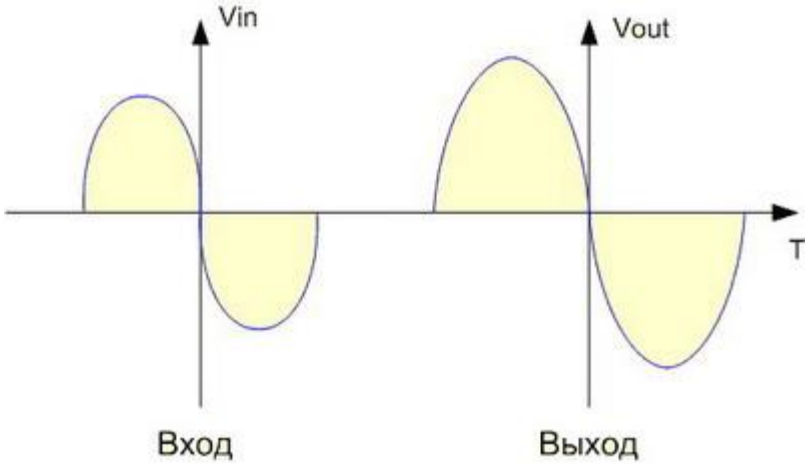
Рассмотрим *однотактный* ***трансформаторный*** *УМ*, в котором транзистор включен по схеме с ОЭ (рис. слева).

Трансформаторы ТР1, и ТР2 предназначены для согласования нагрузки и выходного сопротивления усилителя и входного сопротивления усилителя с сопротивлением источника входного сигнала соответственно. Элементы R и D обеспечивают начальный режим работы транзистора, а С увеличивает переменную составляющую, поступающую на транзистор Т.

Поскольку трансформатор является нежелательным элементом усилителей мощности, т.к. имеет большие габариты и вес, относительно сложен в изготовлении, то в настоящее время наибольшее распространение получили *бестрансформаторные* усилители мощности.

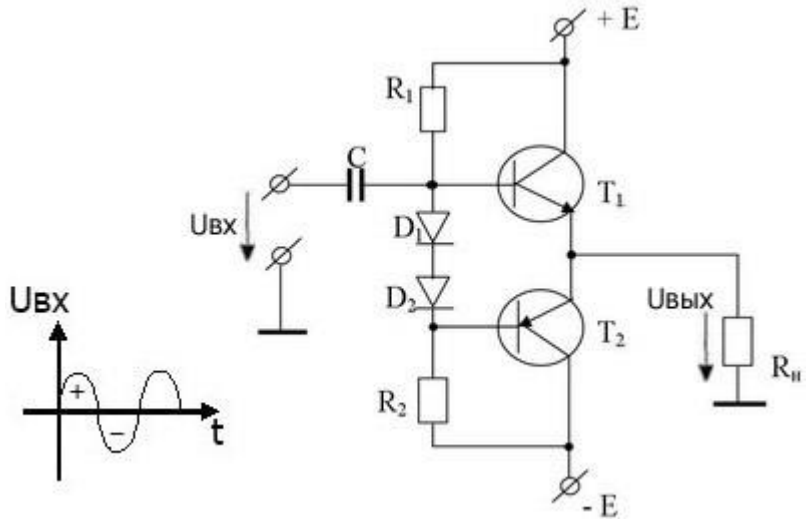
2. ***Бестрансформаторные усилители мощности.***

Рассмотрим *двухтактный УМ* на биполярных транзисторах с различным типом проводимости. Как уже отмечалось выше, необходимо увеличить мощность выходного сигнала без изменения его формы. Для этого берется постоянный ток питания УМ и преобразуется в переменный, но так, что форма сигнала на выходе повторяет форму входного сигнала, как показано на рисунке ниже:



Если транзисторы обладают достаточно высоким значением крутизны, то возможно построение схем, работающих на нагрузку величиной единицы Ом без использования трансформаторов. Питается такой усилитель от двухполярного источника питания с заземленной средней точкой, хотя возможно построение схем и для однополярного питания.

Принципиальная схема комплементарного ***эмиттерного повторителя*** - усилителя с дополнительной симметрией - приведена на рисунке слева. При одинаковом входном сигнале через транзистор n-p-n-типа протекает ток во время положительных полупериодов. Когда же входное напряжение отрицательно, ток будет течь через транзистор p-n-p-типа. Объединяя эмиттеры обоих транзисторов, нагружая их общей нагрузкой и подавая один и тот же сигнал на объединенные базы, получаем двухтактный каскад усиления мощности.



Рассмотрим более подробно включение и работу транзисторов. Транзисторы усилителя работают в режиме класса В. В данной схеме транзисторы должны быть абсолютно одинаковы по своим параметрам, но противоположны по планарной структуре. При поступлении на вход усилителя положительной полуволны напряжения ***Uвх*** транзистор ***Т1***, работает в режиме усиления, а транзистор ***Т2*** — в режиме отсечки. При поступлении отрицательной полуволны транзисторы меняются ролями. Так как напряжение между базой и эмиттером открытого транзистора мало (около 0,7 В), напряжение ***Uвых*** близко к напряжению ***Uвх***. Однако выходное напряжение оказывается

искаженным из-за влияния нелинейностей входных характеристик транзисторов. Проблема нелинейных искажений решается подачей начального смещения на базовые цепи, переводящей каскад в режим АВ.

Для рассматриваемого усилителя максимально возможная амплитуда напряжения на нагрузке ***Um*** равна ***E***. Поэтому максимально возможная мощность нагрузки определяется выражением

$$P_{н.макс} = \left(\frac{U_m}{\sqrt{2}}\right)^2 \cdot \frac{1}{R_H} = \frac{E^2}{2 \cdot R_H}.$$

Можно показать, что при максимальной мощности нагрузки усилитель потребляет от источников питания мощность, определяемую выражением

$$P_{потр.макс} = \frac{2 \cdot E^2}{\pi \cdot R_H}.$$

Исходя из вышесказанного, получаем максимально возможный *коэффициент полезного действия УМ*: $\boldsymbol{n_{max}} = P_{н.max} / P_{потр.max} = \boldsymbol{0,78}$.

Подробнее здесь: https://emkelektron.webnode.com/news/kratko-po-usilitjeljam-i-raschjet-h-paramjetrov/