**Семинары Роботизированные космические системы**

**Введение. Предмет и содержание дисциплины. Объекты изучения дисциплины: усилители, многофункциональные преобразователи, активные фильтры, схемы сравнения и автогенераторы. Особенности и место дисциплины в общей электронике. Анализ усилительных процессов.**

Анализ процесса усиления электрических сигналов.

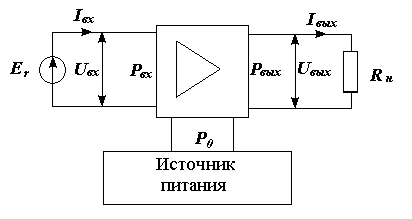


Рис. 1.1. Структурная схема усилителя

Усилитель электрических (УЭ) сигналов представляет собой активный четырехполюсник, к входам которого подключается источник усиливаемых сигналов с ЭДС Er, к выходу – потребитель усиленного сигнала (нагрузка УЭ)Rн. Так как Pвх << Pвых, то требуется дополнительная энергия для усиления, что обеспечивается подачей постоянного напряжения источником питания P0.

***Усилитель***– это устройство, предназначенная для получения большей мощности в нагрузке, чем мощность подаваемого сигнала на входе, с сохранением информационных свойств сигнала в указанных пределах. Максимальная мощность на нагрузке выделяется при согласовании сопротивления Rн и выходного сопротивления усилителя.

Усилители делятся на усилители гармонических сигналов и импульсных сигналов. К усилителям первого типа относятся усилители низких звуковых частот (УНЧ). Ко вторым – усилители собранные на транзистор включенных в режиме C и D, используемые в импульсных и цифровых системах.

Структурные схемы усилителей

Усилители бывают однокаскадными и многокаскадными. В общем виде усилитель состоит из предварительного усилителя (Пр. У), промежуточного усилителя (Пм. У) и усилителя мощности выходного каскада (Вых. У). (Рис. 1.2.)

Пр. У

Пм. У

Вых. У

***U1***

***U2***

Рис. 1.2. Функциональные каскады усилителя

Кроме этого, на входе и выходе могут быть схемы согласование по входу и выходу.

*Электронным усилителем* называется устройство, предназначенное для усиления напряжения, тока или мощности слабых входных электрических колебаний. Структурная схема включения усилительного элемента в схему изображен на рисунке 1.3.

В качестве усилительных элементов (УЭ) обычно используется транзисторы. (Рис. 1.3.)

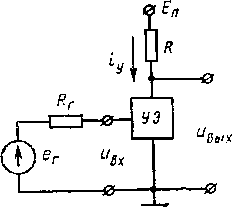


Рис. 1.3. Схема включения усилительного Рис. 1.4. Вольт амперная элемента характеристика

усилительного элемента

*R*Г– внутреннее сопротивление источника сигнала, *R* – нагрузочный линейный резистор,

*Е*п - источник питания, УЭ – усилительный элемент (транзистор).

В коллекторную цепь включен резистор Rн последовательно с источником питания Еп.

*Е*п *= u*вых*+ uR* или *= Е*п*-* *i*у*R*.. (1.1)

***i–*** ток протекающий по УЭ.

Различают следующие режимы работы усилительных элементов (классы усиления): А, В, АВ, C и D.

Режим работы определяется постоянным напряжением между электродами усилительных элементов (УЭ) и токами протекающими в цепях электродов и характеризуется углом отсечки.

Класс усиления А – это режим работы транзисторного каскада, при котором ток в выходной цепи транзистора протекает в течении всего периода изменения напряжения входного входного сигнала(рис.1.5)

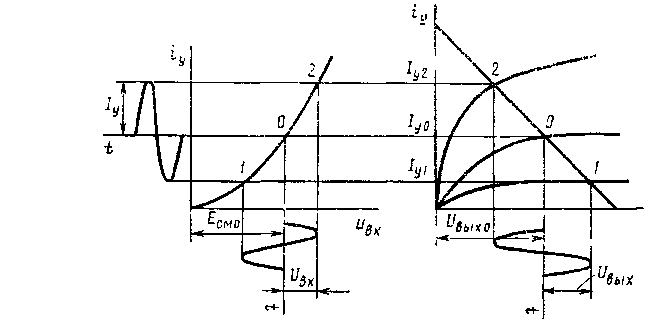


Рис. 1.5. Графическое иллюстрация работы в режиме класса А

Класс усиления В – это режим работы транзисторного каскада, при котором ток в выходной цепи транзистора протекает в течнии половины периода изменения напряжения входного входного сигнала(рис.1.6)

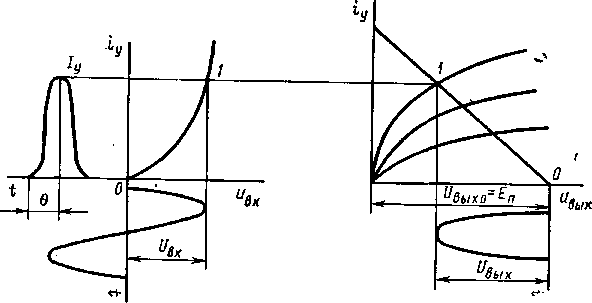


Рис. 1.6. Графическое иллюстрация работы в режиме класса А

Схемы усилителей состоят из выходного каскада и предварительных каскадов. Назначение выходных (оконечных каскадов) получение - заданной мощности или напряжения для передачи в нагрузку. Назначение предварительных каскадов - усиление сигналов, полученного от источника сигналов, до уровня, которой требуется подать на его вход выходного каскада, чтобы обеспечить его нормальную работу.

Все усилители подразделяются на два класса - с линейным и нелинейным режимом работы. К усилителям с линейным режимом работы предъявляется требование получения выходного сигнала, близкого по форме к входному. Важнейшим показателем усилителя с линейным режимом работы является амплитудно-частотная характеристика (АЧХ), отражающая зависимость модуля коэффициента усиления *К*u , определенного для синусоидального входного сигнала, от частоты. В зависимости от вида АЧХ с линейным режимом работы подразделяют на усилители медленно изменяющегося сигнала (усилители постоянного тока - УПТ), усилители звуковых частот (УЗЧ), усилители высокой частоты (УВЧ), широкополосные усилители (ШПУ) и узкополосные усилители (УПУ). В усилителях с нелинейным режимом работы пропорциональность в передаче мгновенных значений входного значения отсутствует. Такие усилители применяется для преобразования входного сигнала, например синусоидального в импульсный сигнал (усилители-ограничители). Усилители выполняются на биполярных и полевых транзисторах или на интегральных микросхемах.

*Основные характеристики усилителей.*

*Коэффициент усиления* по напряжения *K*u=*U*вых / *u*вх, коэффициент усиления по току *K*j = *I*вых /*I*вх, коэффициент усиления по мощности. При каскадном соединении *К = К1 • К • К -...Кп*, где п- число каскадов. При выражении коэффициент усиления в децибелах (дБ), они определяются соотношениями

*К*и = 201g (*U*вых /*U*вх), *К*1 = 201g (*I*вых *I*вх), *К*р = 201g (*Р*вых / *Р*вх)

*Выходная мощность.* Это мощность на выходе усилителя в заданном режиме работы.

*Р*вых = *U*вых2 /*U*вх = *U*вых2/2*R*н

Входное и выходное сопротивления. Входное сопротивление усилителя - это сопротивление между входными зажимами усилителя. *R*вх = *U*вх/*I*вх. Выходное сопротивление *R*вых определяет сопротивление между выходными зажимами усилителя при отключенном сопротивлении нагрузки.

*Коэффициент полезного действия.* Этот коэффициент равен отношению мощности на выходе усилителя к мощности, отдаваемой источником энергии с напряжением *Е: η* = *Р*вых / *Р*0.

*Номинальное входное напряжение.* Номинальным входным напряжением называется напряжение, которое нужно подвести к входу усилителя, чтобы получить на выходе заданную мощность.

*Диапазон усиливаемых частот.* Диапазоном усиливаемых частот или полосой пропускания усилителя, называется та область частот, в которой коэффициент усиления изменяется не больше, чем это допустимо по техническим условиям.

*Искажения в усилителях.* Различают следующие виды искажений: Нелинейные искажения представляет изменение формы кривой усиливаемых колебаний, вызванное нелинейными свойствами цепи. Степень нелинейных искажений усилителя оценивается коэффициентом нелинейных искажений

или коэффициента гармоник: *Кг =,* где *Р2 + Р3 + ... +Рn -* сумма электрических мощностей, *Р1 –* электрическая мощность первой гармоники, *Кг = ,* где *I*1, *I*2, *I*n и т.д. – амплитудные значения первой, второй, третьей и т. д. гармоник тока на выходе; *U1 , U2, U3* и т.д. – амплитудные значения первой, второй, третьей и т. д гармоник выходного напряжения. Общая величина нелинейных искажений, возникающих на выходе усилителя определяется: *Кг= Кг, + Кг2 + Кг3 +… + Кгn,* где *Kit, Кг2, Кг3, Кгп -* нелинейные искажения, вносимые каждым каскадом усилителя.

Частотными называется искажения, обусловленные изменением величины коэффициента усиления на различных частотах. Степень искажений на отдельных частотах выражается коэффициентом частотных искажений *М,* равным отношению коэффициента усиления на средней частоте *Кср к* коэффициенту усиления на данной частоте *Kf*

*М* = *Кср / Kf, Мн = Кср / Кн, М, = Кср / Кә* где *Кн* и *К,-* соответственно коэффициенты усиления на нижних и верхних частотах диапазона. Коэффициент частотного искажения многокаскадного усилителя: *М = М1 • М2 • М3. . . Мn.*

Коэффициент частотных искажений можно выражать в децибелах: *МдБ =* 20 lg*M.* В случае многокаскадного усилителя *МдБ* = *М1дБ + М2йБ* + *М3дБ* + … + *МпдБ.*

*Фазо - частотная характеристика (ФЧХ).* Это зависимость угла сдвига фаз входного и выходного напряжения от частоты.

*Амплитудная характеристика.* Это зависимость амплитуды первой гармоники напряжения на выходе усилителя от амплитуды входного синусоидального напряжения.

*Переходная характеристика.* Это зависимость выходного напряжения от времени *U*вых = *f(t)*, когда на вход подается ступенчатый сигнал.

Основная литература: 1[101–130], 4[5–30],10[332–344].

Дополнительная литература :3[83–87].

**Контрольные вопросы:**

1. Нарисуйте схему усилителя.

2. Назовите основные параметры усилителя.

3. Охарактеризуйте основные виды усилителей.

4. Как выглядит АЧХ усилителя НЧ?

5. Как определяется крэффициент усиления усилителя в децибелах ?

6. Чему будет равна коэффициент усиления двухкаскадного усилителя если *К*1 =10, а і *К*2=30?

7. Какаие виды искажений возникают искажения в усилителях ?

**Тема лекции 2. Определение аналоговых электронных устройств. Принципы построения и работы, роль и область применения. Принципы электронного усиления. Классификация усилителей. Схемы усилителей.**

Аналоговыми устройствами называются приборы и аппаратуры предназначенные для приема, обработки и передачи непрерывно изменяющихся аналоговых сигналов. Эти устройства обычно состоят из нескольких частей, каскадов и узлов. Поэтому особую важность приобретает способы соединения их между собой. Схемы межкаскадных связей в усилителях делятся на следующие виды: дроссельно-емкостная, трансформаторная, резисторно-емкостная и непосредственная связь.

**Дроссельно-емкостная связь.**

Дроссельно-емкостная связь обеспечивается включением в качестве сопротивления является дроссель.

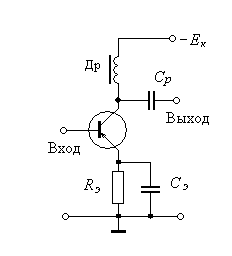


Рис. 2.1. Схема каскада с дроссельно-емкостной связью

Дроссельная связь может использоваться при пониженном напряжений питания вследствия малого сопротивления постоянному току.

Данный каскад имеет высокий КПД, а его коэффициент усиления немного выше, чем у резисторных каскадов. Используется редко, так как имеют неширокую полосу пропускания, большие габариты и высокую стоимость.

**Транформаторная связь**

В транформаторных каскадах для связи используют трансформатор (рис. 2.2.). Переменная составляющая выходного транзистора, проходя через первичную обмотку, создает на ней падение напряжения сигнала, которое трансформируется во вторичную обмотку и подается на вход следующего каскада.

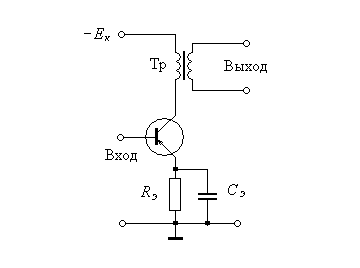


Рис. 2.2. Схема каскада с трансформаторной связью

Достоинство: возможность получения более высокого коэффициента усиления **,** чем у резисторных каскадов; Обеспечение симметрии выхода; согласование каскада с нагрузкой по сопротивлениям и по шумам; может использоваться при пониженном напряжений питания вследствия малого сопротивления постоянному току.

Недостатки: имеют неширокую полосу пропускания, большие габариты и высокую стоимость; необходимо защита от внешних магнитных помех; ухудшение частотно-фазовые характеристики, вследствия реактивных составляющих трансформатора на низких и высоких частотахю

Трасформаторная связь используется на в мощных усилительных каскадах при сравнительно неширокой полосе частот и во входных и выходных цепях усилителей аппаратуры многоканальной связи.

**Резисторно – емкостная связь**

Резисторно – емкостная связь применяют в усилителях переменного тока (рис. 2.3.)

Напряжение усиливаемого сигнала переменного тока, которое выделяется на резисторе *Rk*. Емкость конденсатора *Cp* выбирают таким образом, чтобы его сопротивления следующего каскада.

Достоинство: малые габариты, вес и стоимость; достаточно хорошие частотно-фазовая и переходная характеристики; отсутствие влияния режимов работы каскадов по постоянному тоуку, что осбенно важно в ламповых каскадах, имеющих высокое положительное напряжение на аноде и отрицательное напряжение на сетке.

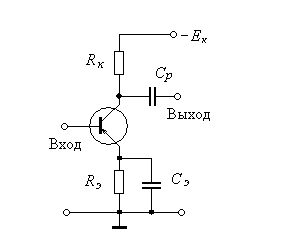


Рис. 2.3. Схема каскада с резисторно-емкостной связью

Недостатки резисторно-емкостной связи : низкий КПД; уменьшение

**Непосредственная связь**

Рассмотренные ранее цепи связи между каскадами не позволяют передавать медленно изменяющиеся во времени сигналы, содержащие постоянную составляющую. Поэтому в усилителях постоянного тока используют непосредственные (гальванические) связи между каскадами (рис. 2.4.).

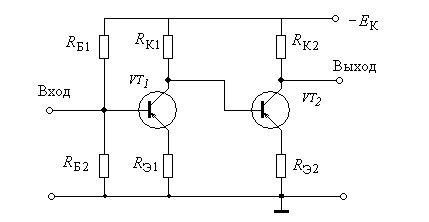


Рис. 2.4. Схема каскада с непосредственной связью

Непосредственной связью называют такую связь, при которой соединение осуществляется посредством элементов, обладающих проводимостью по постоянному току (резисторы, стабилитроны, гальванические элементы и т.д.).

В случае применения непосредственной связи необходимо согласовывать большой потенциал выходного электрода с низким потенциалом управляющего электрода усилительного эдемента.

Достоинство :

- способность усиливать сигнал сколь угодно низкой частоты наряду с усилением средних и высоких частот;

-непосредсвенная связь между каскадами позволяет изготавливать усилители по интегральной технологии.

Недостатки:

* сложность обеспечения нормального режима работы по постоянному току;
* произвольное изменение напряжения на выходе за счет изменения температуры, параметров усилительных элементов и т.д.

**Схемы соединения транзисторов и принципы усиления.**

Существует три вида схем усилителей – схемы с общим коллектором (ОК), с общим эмиттером (ОЭ) и с общей базой (ОБ).

Для усилителей на биполярных транзисторах входной переход транзистора всегда включают в прямом направлении, а выходной – в обратном. На рис. 3.1. приведена схема усилителя на биполярном транзисторе, включенном с общей базой (ОБ). Источник переменного тока *I*вх в данном случае должен обеспечивать низкое сопротивление постоянному току

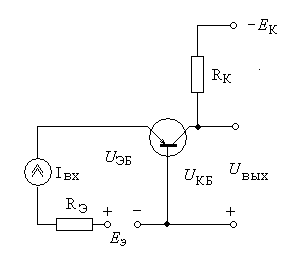


Рис. 2.5. Схема каскада с общей базой

Резистор *R*к является нагрузкой транзистора по постоянному току и определяет его усилительные свойства. Схема с ОБ усиливает напряжение, мощность, но не усиливает ток.

На рис. 3.2. приведена схема усилителя на биполярном транзисторе, включенном с общей коллектором (ОК).

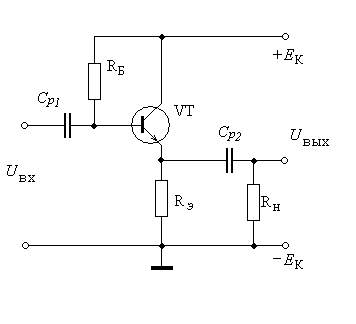


Рис. 2.6. Схема каскада с общим коллектором

Режим работы схемы по постоянному току определяется элементами: *R*Э, *R*Б, *E*К и параметрами транзистора. Схема с общим коллектором обладает самым низким выходным и самым высоким входным сопротивлением. Поэтому такая схма применяется как согласующий каскадж между двумя каскадами с различными параметрами. Данная схема обладает самым высоким коэффициентом усиления по току, однако не усиливает напряжение. Схема с общим коллектором применяется в качестве входных и выходных каскадов.

На рис. 3.3. приведена схема усилителя на биполярном транзисторе, включенном с общей эмитером (ОЭ).

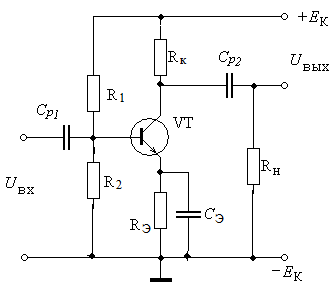


Рис. 2.7. Схема каскада с ОЭ

Схема усилителя напряжения (ОЭ) имеет примерно равные входное и выходное сопротивления, что позволяет согласовывать по напряжению входное сопротивление последующего каскада с выходным сопротивлением предыдущего при их последовательном включении в многокаскадных усилителях.

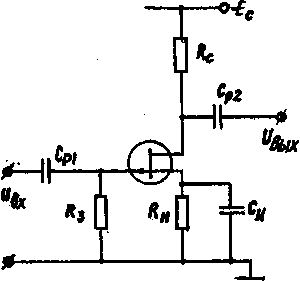


Рис. 2.8. Схема усилительного каскада с общим истоком

Все три схемы включения транзисторов распространяется и на полевые транзисторы. На рис. 3.4. приведена схема включения униполярного транзистора по схеме с общим истоком. Схема с общим истоком обладает брльшим входным и низким выходным сопротивлением при коэффициенте усиления по напряжению меньше 1, а по току много больше 1. Следовательно, она аналогична схеме эмиттерного повторителя и также используется в качестве согласующего каскада между источником сигнала с высоким внутренним сопротивлением и низкоомной нагрузкой.

**Основная литература:** 1 [100-124]; 4 [5-30], 8. [332-344];

**Дополнительная литература:** 1 [83-87].

**Контрольные вопросы.**

1. Чем отличается схема включения с ОБ от схемы с ОК?
2. Чем отличается схема включения с ОК от схемы с ОЭ?
3. Чем отличается схема включения с ОБ от схемы с ОЭ?
4. Что такое рабочая нагрузочная линия?
5. Что такое рабочая точка усилительного элемента?
6. Какие параметры схемы усилителя в основном влияют на АЧХ?
7. Какие элементы усилителя обеспечивает стабилизацию температурного режима работы транзисторных усилителей?
8. Назовите основные параметры схемы с ОЭ?
9. Назовите основные параметры схемы с ОК?
10. Назовите основные параметры схемы с ОБ?
11. Что такое амплитудно-частотная характеристика усилителя?
12. Что такое фазо-частотная характеристика усилителя?

**Тема лекции 3.** **Обратная связь (ОС). Влияние ОС на основные показатели и характеристики. Виды ОС. Принцип действия ОС. Виды ОС.**

Усилитель, у которого часть энергии выходного сигнала подается на вход, называется усилителем с обратной связью. Обратная связь применяется, например, в автогенераторах, генерирующих высоко- или низкочастотные колебания и в усилителях. Структурную схему усилителя с обратной связью можно представить в виде двух усилителей. Верхний усилитель имеет в направлении, показанном стрелкой, коэффициент передачи напряжения, равный *К* = *U*вых / *U*вх. Нижний усилитель служит для передачи напряжения обратной связи, его коэффициент передачи в направлении, указанном стрелкой, *β* = *U*ос /*U*вых, где *U*ос -напряжение обратной связи, передаваемое с выхода усилителя на его вход. Это напряжение является частью выходного напряжения.

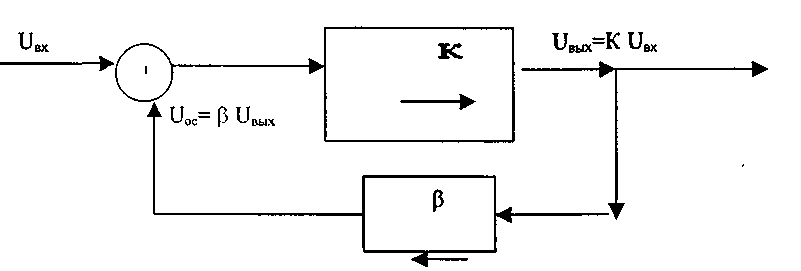


Рис.3.1. Структурная схема усилителя с обратной связью.

Коэффициент *β* показывает, какая часть выходного напряжения передается обратно на вход, поэтому его называют коэффициентом обратной связи. Реализация обратной связи может быть различной. Различают обратную связь:

* по напряжению;
* по току;

- комбинированную.

Схема включение обратной связи может быть:

* последовательная;
* параллельная;
* последовательно- параллельная.

Обратная связь (ОС) – это связь между цепями усилителя , посредством которой сигнал передается в обратном направлений (с выхода на вход). Все виды ОС изменяют свойства усилителя, поэтому они широко используется для целенаправленного изменения его параметров. В общем случае сигнал ОС может либо суммироваться со входным ( положительная обратная связь – ПОС), либо вычитаться из входного сигнала усилителя ( отрицательная обратная связь – ООС).

Обратная связь может появиться в усилителе в связи с физическими свойствами усилительных элементов (внутренняя ОС), с наличием паразитных емкостей, индуктивных и других связей (парзитная ОС) и вследствие введения в схему специальных цепей (внешняя ОС). В дальнейшем рассматривается внешняя обратная связь, её виды и принципы построения.

Усилитель и ОС целесообразно рассматривать в виде двух четырехполюсников, один из них представляет собой однонаправленный усилитель (К –коэффициент усиления), а другой – цепь обратной связи ( *β* - коэффициент передачи цепи ОС). Эти четырехполюсники можно соединить различными спобами (рис. 4.2. –рис. 4.6.): последовательно, паралельно, последовательно – паралельно , паралельно-последовательно и комбинированно.

Комбинированная ОС по входу и выходу (рис. 4.6.) широко используется в многоканальной аппаратуре, причем комбинированное подключение четырехполюсника обратной связи осуществляется с помощью специальных трансформаторов и других элементов, которые представляют как входной, так и выходной шестиполюсники.

В связи с вышеизложенным различают:

1. Паралельную ОС по входу и выходу, которую называют также паралельной ОС по напряжению (рис. 3.2.).

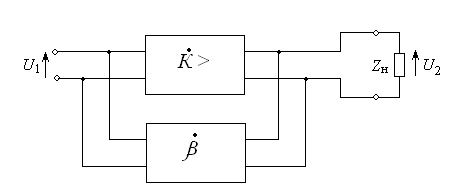


Рис. 3.2. Паралелльная обратная связь по входу и выходу – паралельная ОС по напряжению

2. Последовательную ОС по входу и выходу, которую называют также последовательной ОС по току. (рис. 3.3.).

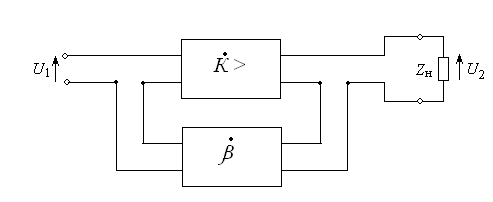


Рис. 3.3. Последовательная обратная связь по входу и выходу – последовательгая ОС по току.

3. Последовательную ОС по входу и паралельную по выходу, называемую также последовательной ОС по напряжению (рис. 3.4.).

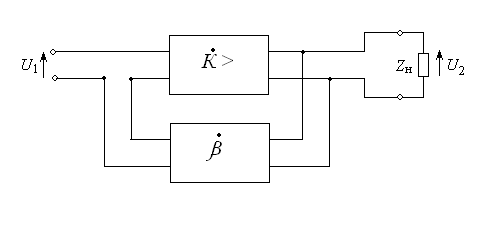


Рис. 3.4. Последовательная обратная связь по входу и паралельная по выходу – последовательная ОС по напряжению

4. Паралельную ОС по входу и последовательную по выходу, нгазываемуютакже паралельной ОС по току (рис. 3.5.).

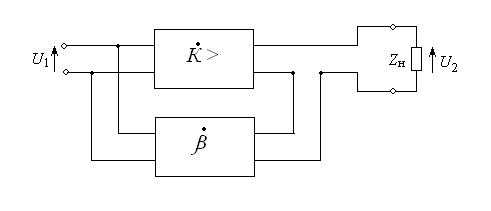


Рис. 3.5. Паралельная обратная связь по входу и пследовательная по выходу – паралельная ОС по току.

5. Комбинированную ОС по входу и входу (или на одномиз концов) (рис. 3.6.)

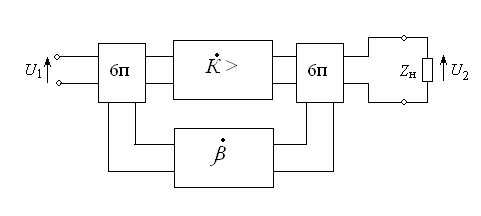


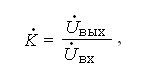
Рис. 3.6. Комбинированная обратная свзь по входу и выходу – последовательно-паралельная ОС ( 6п – шестиполюсник).

Для определения вида ОС можно воспользоваться следующим правилом: если при коротком замыкании нагрузки напряжение ЩС сохраняется, то осуществляется ОС по току, если же оно стремится к нулю,то по напряжению.

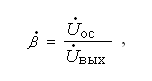
Поскольку в усилителях обычно используется каскады с ОЭ, ОК, ОИ и ОС, вид ОС можно легко поределить по способу подачи ее сигналов во входную цепь. Если сигнал ОС поступает на эмиттер (или исток) транзистора, то связь последовательная, а если на базу (или затвор), то паралельная. Для определения вида ОС (ООС или ПОС) необходимо просмотреть прохождение полуволны входного сигнала во всех точках схемы усилителя.

Коэффициент усиления однонапрвленного усилителя (*К*) и коэффициент передачи сигнала ОС (*β*) в общем случае является величинами комплексными. Этим учитывается возможность наличия фазового сдвига на низких и высоких частотах за счет реактивных элементов усилителя и в цепи ОС. При работе в диапазоне средних частот если в цепи ОС отсутствуют реактивные элементы, то параметры *К* и *β* являются вещественными величинами.

В направлении, указанном стрелкой (рис. 3.2. – рис. 3.6.) усилитель имеет коэффициент усиления



Другим прямо угольником обозначается цепь ОС, имеющиая



коэффициент передачи

Где *U* ос  - напряжение ОС, передаваемое с выхода на вход.

При включении цепи ОС на вход однонаправленного усилителя будет действовать суммарное колебание: колебание сигнала и колебание сигнала с выхода цепи ОС. Оно возрастает, если колебания находится в фазе, В этом случае усиление возрастает, что соответствует положительной ОС.

Если колебания сигнала и сигнала цепи ОС находится в противофазе, то есть усиление умень шается, то это соответствует наличию отрицательной ОС.

Положительная ОС находит широкое применение в различных генераторах, а иногда и частотно-изхбирательных усилителях. Частотно-избирательные устройства предназначены для выделения, усиления или генерации сигналов на определенных частотах. Основой любого частотго-избирательного устройства является пассивный фильтр, образованной *LC* - или *RC -*  цепью. В большинстве же усилителей положительнач ОС явлвется нежелательной и используется редко.

Основное применение в усилительных устройствах находит отрицательная ОС. Она позволяет повысить стабильность работы усилителей, а также улучшить другие важные параметры и характеристики.

Отрицательная ОС осуществляется как по постоянному току , так и по пременному току. Отрицательная ОС по постоянному току используется в основном для стабилизации режимов работы транзисторов и может быть общей или местной.

Простейшей из цепей стабилизации точки покоя с помощью ООС является цепь коллекторной стабилизации. На рис. 4.7. показана схема цепи коолекторной стабилизации. При включении транзистора по схеме с ОЭ.

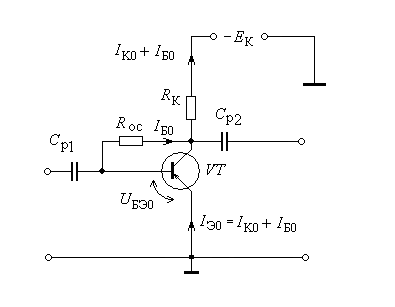


Рис. 3.7. Усилительный каскад с цепью коллекторной стабилизации точки покоя.

Более высокую стабильность рабочей точки транзистора обеспечивает цепь эмиттерной стабилизации, наиболее распространенной на практике.

В качестве примера на рис. 4.8. показана схема эмиттерной стабилизации при включении транзистора с ОЭ.

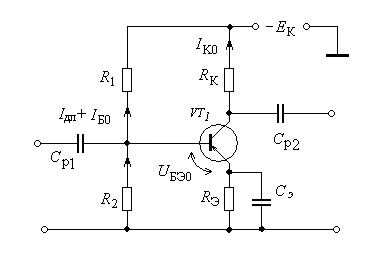


Рис. 3.8. Усилительный каскад с цепью эмиттерной стабилизации точки покоя

URос = Ек-(Iко + Iбо) Rк -Uбэо

Связанный с Iбо и имея в ввиду что Urос = Iбо Rосможно решить уравнение относительно:

Ібо =( Ек-Uбэо / Rос + Rк ) -Іко (Rк / Rос + Rк)

Независимо от вида отрицательной ОС уменьшает сигнал на входе, что вызывает:

* уменьшение коэффициненгта усиления;
* повышение стабильности коэффициента усиления усилителя при изменении параметров транзистора;
* уменьшение уровня нелинейных искажений;
* расширение полосы пропускания.

Последовательная ОС уменьшает напряжение на входе усилителя и уменьшает входное сопротивление. Последовательная ОС по напряжению уменьшает выходное сопротивление, усилитель приближается к идеальному источнику напряжения. Последовательная ОС по току увеличивает выходное сопротивлени, стабилизируя выходной ток усилителя.

Паралельная ООС увеличивает входной ток, уменьшая входное и выходное сопротивления усилителя.

**Основная литература:** 1 [120-128]; 4 [5-30]. 10 [332-344].

**Дополнительная литература:** 1 [83-87].

**Контрольные вопросы:**

1. Что такое усилитель с обратной связью, и какова его структурная схема?

2. Какие показатели характеризуют работу усилителя с обратной связью?

3. Как изменяется коэффициент усиления усилителя при ПОС?

4. Как изменяется коэффициент усиления усилителя при ООС?

5. Перечислите основные виды искажений гармонических сигналов в усилителях?

6. Как оценивают нелинейные искажения усилителя, какие составляющие сигнала появляются на выходе усилителя при наличии нелинейных искажений?

7. Как влияет обратная связь на коэффициент усиления усилителя?

8. В каком случае коэффициент усиления практически не зависит от параметров усилительных элементов?

9. В чем основные отличие включения операционного усилителя как инвертирующего или неинвертирующего усилителя?

10. Чем объяснить увеличение входного сопротивление в схеме неинвертирующего усилителя?

**Тема лекции 4. Усилители мощности. Однотактные и двухтактные каскады усиления. Трансформаторные и безтрансформаторные каскады усиления. Импульсные усилители класса С и D. Однотактные и двухтактные схемы усилителей**

По способу работы усилительного прибора схемы делятся на однотакт-ные и двухтактные.

Однотактным называется каскад, имеющий один или несколько паралельно соединенных усилительных приборов, работающих непрерывно. Это наиболее простые усилители, работающие в режиме класса А.

На рис. 4.1. показан однотактный трансформаторный усилитель мощности по схеме с ОЭ, эмиттерной стабилизацией коллекторного тока и последовательным коллекторным питанием.

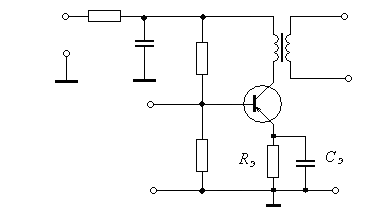
****

Рис. 4.1. Схема однотактного трансформаторного усилителя

Получение на выхода усилителя большой мощности предполагает работу его транзисторов при больших значениях токов и напряжений. Отсюда следует, что одним из основных параметров усилителя становится КПД. К тому же переменные составляющие токов и напряжений в этом случае соизмеримы с постоянными составляющими сигналов. Поэтому в таких усилителях должны использоваться транзисторные каскады с малым выходным сопротивлением, а вводимые цепи ООС должны быть только по напряжению.

Это послужило причиной использования двухтактных схем усиления, обеспечивающих работу выходных транзисторов в режимах класса *А* и *АВ* . При этом усилители могут быть выполнены как по трансформаторной, так и по бестрансформаторной схеме.

Двухтактным называется усилитель с парой усилительных приборов, работающих поочередно. Пример использования двухтактного транзистороного усилителя мощности показан на рис. 4.2.

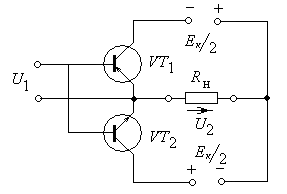


Рис. 4.2. Схема двухтактного транзисторного усилителя мощности

Схема состоит из двух транзисторов с разным типом проводимости и источника питания *Ек*  со средней точкой.

Входы транзисторов включены паралельно. При положительном напряжений сигнала открывается транзистор ***VT1*** , а транзистор ***VT2***  закрыт. При смене полярности открывается транзистор ***VT1*** , а транзистор ***VT2*** закрывается. При отсутствии сигнала оба транзистора закрыты, поскольку на базы не подается напряжение смещения.

Преимущество данной схемы: простота; отсутствие крупногабаритных элементов – трансформаторов, плохо поддающихся минитиатюризации методами современной технологии.

Усилители мощности. Однотактные и двухтактные каскады усиления. Трансформаторные и безтрансформаторные каскады усиления. Импульсные усилители класса С и D.

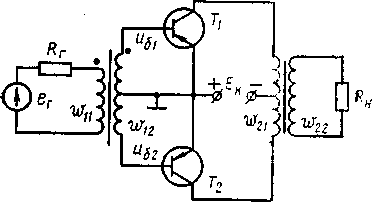


Рис. 4.3. Схематрансформаторного двухтактного усилителя мощности

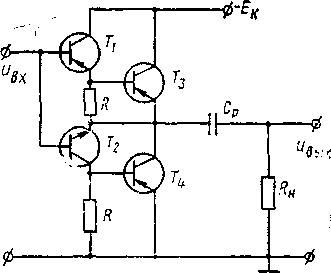


Рис. 4.4. Схема безтрансформаторного двухтактного усилителя

**Составной транзистор**

Составными транзисторами называют транзисторы, соединенные непосредственно между собой двумя электродами, когда выходной электрододног из транзисторов подключен к входному электроду второго транзистора.

Составной транзистор обычно имеет три электрода и его можно рассматривать как транзистор, обладающий соответствующими электрическими параметрами. Обычно это соединение выполняется таким образом, чтобы коэффициент предачи по току *h21Э*  в схеме с общей базой приближался к единице. Составные транзисторы могут быть использованы при любом способе включения: ОЭ, ОК и ОБ. Наиболее распространенной схемой составного транзистора явлыется схема, при которой эмиттер одного транзистора включен в базу второго транзистора (рис. 4. 5.).

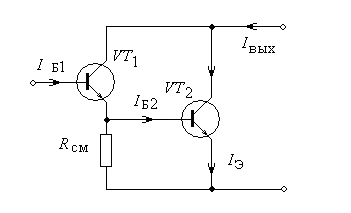


Рис. 4.5. Составной транзистор на биполярных транзисторах

Коэффициент усиления по напряжению:

*KU = h21Э RK / Rвх*

Суммарный выходной ток составного троанзистора:

*Iвых= I*Б1 *h21Э1 h21Э2*

Таким образом, в составном транзисторе суммарный коэффициент передачи по току равен произведению коэффициентов пердачи отдельных транзисторов.

**Каскодный усилитель**

Вариантом составного транзистора является каскодный усилитель, представляющий собой последовательное соединение по переменному току двух транзисторов (рис. 4.6.).

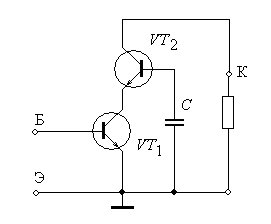


Рис. 4.6. Каскодный усилитель

Входной транзистор *VT1*  включен по схеме с ОЭ, выходной транзистор *VT2*  - по схеме с ОБ.

Выходной ток составного транзистора

*Iк2= I*Б1 *h21Б2 (h21Б1 IЭ).*

Тогда эквивалентный коэффициент усиления по току

*h21Б= I*К2 */I*Э2 *= h21Б1 h21Б2*

**Основная литература:** 1 [120-128]; 4 [5-30]; 10 [332-344].

**Дополнительная литература:** 1 [83-87].

**Контрольные вопросы.**

1. Что такое усилитель мощности и какова его структурная схема?

2. Какие показатели характеризуют работу усилителя мощности?

3. Что такое однотактный усилитель мощности и какова его схема?

4. Что такое двухтактный усилитель мощности и какова его схема?

5. Перечислите основные виды усилителей мощности?

6. Как оценивают нелинейные искажения усилителя мощности?

7. Как влияет обратная связь на коэффициент усиления усилителя мощности?

8. В каком случае коэффициент усиления практически не зависит от параметров усилительных элементов?