Содержание

1. Усилительные каскады на составных транзисторах
2. Усилительные каскады с динамическими нагрузками
3. Каскадные усилители
4. Многокаскадные усилители. Амплитудно-частотные характеристики многокаскадных усилителей
5. Переходные характеристики многокаскадных усилителей
6. Выбор числа каскадов импульсных усилителей
7. Усилительные каскады на составных транзисторах

Составной транзистор – это сочетание двух или более транзисторов, образующих активный трехполюсник с новыми параметрами и характеристиками.

В интегральных микросхемах формируются составные транзисторы, состоящие в основном из двух активных элементов. На дискретных элементах – могут включать три транзистора. Большее число транзисторов пока не применяется, так как при имеющихся мощностях транзисторов входной транзистор будет работать при малых токах, т. е. в «голодном» режиме, отчего параметры составного транзистора будут сильно зависеть от температуры. Используя известные схемы нормального включения транзисторов (ОИ, ОС, ОЗ и ОЭ, ОК, ОБ) можно получить различные составные транзисторы:

– два биполярных транзистора одного или разного типов проводимости;

– биполярный и полевой транзисторы;

– два полевых транзистора с одинаковыми или противоположными проводимостями каналов.

Рассмотрим различные варианты составных транзисторов.

1) Составной транзистор на двух биполярных транзисторах типа n-p-n, включенных по схеме с общим коллектором.

Входное сопротивление составного транзистора

,



ток эмиттера первого транзистора

,



тогда

.



Таким образом входное сопротивление составного транзистора много больше входного сопротивления одного транзистора.

Коэффициент усиления по току

.



Ток коллектора

, , ,



тогда

.



Таким образом коэффициент усиления по току составного транзистора много больше коэффициента усиления по току одного транзистора. Так как коллекторы транзисторов соединены параллельно, то выходная проводимость составного транзистора

.



2) Составной транзистор p-n-p типа.

Входное сопротивление составного транзистора определяется входным сопротивлением первого транзистора: .



Выходная проводимость определяется выходной проводимостью второго транзистора: .



Усиление по току

, , .



Со стороны входа данный составной транзистор представляет собой p-n-p транзистор.

Рассмотрим несколько примеров применения составных транзисторов.

Входной ток транзистора VT2 представляет собой эмиттерный ток транзистора VT1, который достаточно мал. Входной ток транзистора VT1 - величина еще меньшая, т. е. транзистор VT1 работает в «голодном» режиме. «Голодный» режим первого транзистора заметно уменьшает его коэффициент усиления тока и в целом коэффициент усиления составного транзистора (). Это одна из причин нецелесообразности применения большого числа транзисторов (более двух) по составной схеме.



Это явление можно ослабить или нейтрализовать, подключив дополнительный резистор R. При этом эмиттерный ток первого транзистора не ограничивается током базы второго транзистора, а коэффициент усиления тока первого транзистора увеличивается.

Для нормального режима питания первых транзисторов по постоянному току включаются резисторы R. Схемы повышают входное сопротивление, особенно в случае, если транзисторы VT1 заменить на полевые.

Составные транзисторы применяются:

1. В мощных оконечных безтрансформаторных каскадах.

2. В интегральных микросхемах, где два транзистора удается выполнить без увеличения площади кристалла, в объеме одного транзистора.

Применение составных транзисторов в интегральных усилительных каскадах связано с особенностями интегральной технологии – n-p-n транзисторы достаточно просто формируются в одной изолированной области. Кроме того,

невозможно изготовить интегральные p-n-p транзисторы с высокими параметрами без усложнения технологического процесса. Сочетание интегральных p-n-p транзисторов с невысокими техническими параметрами с интегральными n-p-n транзисторами позволяет получить составные p-n-p транзисторы с достаточно высокими показателями.

1. Усилительные каскады с динамическими нагрузками

Коэффициент усиления K=SRн. Чтобы увеличить коэффициент усиления, необходимо увеличивать Rн. В интегральном исполнении это приводит к большой площади на кристалле, что потребует увеличения его размера и, следовательно, стоимости микросхемы.

Если в схеме ОЭ вместо резисторной нагрузки включить транзистор другого типа проводимости, то получим простейший каскад с динамической нагрузкой.

Транзисторы включены последовательно по постоянному току, поэтому . Практически оба транзистора представляют собой генераторы стабильного тока. Если транзистор VT2 представляет собой генератор стабильного тока, то транзистор VT1 является токоотводом, и наоборот. Транзистора соединены коллекторными выводами. При этом сопротивления транзисторов постоянному току небольшие, а переменному на несколько порядков выше.



Рассмотрим вначале эмиттерную цепь. Сопротивление по постоянному току

.



По переменному току – динамическое сопротивление

.



Очевидно, что , т. е. Сопротивление переменному току со стороны эмиттерного вывода меньше сопротивления постоянному току.



Рассмотрим коллекторную цепь. Сопротивление по постоянному току

.



Динамическое сопротивление по переменному току



Как видно из рисунка, , поэтому . Следовательно, динамическая нагрузка с большим сопротивление может быть получена только в том случае, когда в качестве нагрузки используется выходное сопротивление транзистора со стороны коллектора. Коллекторная цепь каждого транзистора – динамическая нагрузка для другого транзистора, схема является симметричной. В качестве усилительного элемента и динамической нагрузки выбираются комплементарные пары транзисторов p-n-p и n-p-n типов. Если на один вход подать напряжение сигнала, которое необходимо усилить, а на другой вход – только постоянное напряжение с помощью делителя, то первый транзистор будет выполнять функцию усилительного элемента УЭ, а его нагрузкой будет выходное сопротивление другого транзистора. Иногда динамическая нагрузка может быть и управляемой. При этом входы можно поменять, поменяются УЭ и динамическая нагрузка. Если параметры транзисторов комплементарной пары (ОЭ) отличаются незначительно, то коэффициент усиления, входное и выходное сопротивление каскада ОЭ с динамической нагрузкой практически не изменяются при подаче усиливаемого сигнала на входы 1 или 2. Отличие входов состоит в различном постоянном потенциале (разница в сумме ).



В эмиттерном повторителе транзисторы должны быть одного типа, так как в этом случае динамическая нагрузка включается в эмиттерную цепь усилительного транзистора. Данная схема несимметрична.

Если подать сигнал на вход 2, то транзистор VT2 является усилительным элементом в схеме ОК, транзистор VT1 - его динамическая нагрузка с высоким сопротивлением по переменному току (со стороны коллектора). Коэффициент усиления K=1. При подаче сигнала на вход 1 транзистор VT1 - усилительный элемент в схеме ОЭ, а его нагрузка – транзистор VT2 со стороны эмиттера, имеющий низкое входное сопротивление, поэтому коэффициент усиления K=1. Тем не менее, при соответствующем дополнении такая схема представляет интерес, приводя к каскадной схеме, обладающей особыми свойствами.

1. Каскадные усилители

За основу каскадного усилителя выбирается схема каскада с динамической нагрузкой с общим коллектором на n-p-n транзисторах. При этом в коллекторную цепь добавляется резистор Rн, с которого снимается сигнал. Полученная схема называется каскадной.

Каскадная схема представляет собой соединение транзисторов, включенных с общим эмиттером (VT1) и общей базой (VT2). Питание транзисторов – последовательное, нагрузка включена в коллекторную цепь транзистора VT2.

Схему можно упростить, уменьшив число резисторов. Если использовать биполярное питание, число резисторов можно еще уменьшить.

Входное сопротивление транзистора VT2, включенного по схеме с общей базой, равно 1/S2. Это сопротивление является нагрузкой транзистора VT1. Тогда его коэффициент усиления K1=S1/S2, если S1=S2, то K1=1. Общее усиление

,



т. е., как у обычного каскада.

Каскадная схема представляет собой соединение транзисторов, включенных с общим эмиттером (VT1) и общей базой (VT2). Сопротивление R2 соединяет транзисторы с источником питания. Сопротивление R1 и стабилитрон VD задают смещение на базе транзистора VT2.

Рассмотрим свойства каскадного соединения.

1)В схеме с общим эмиттером присутствует эффект Миллера, то есть входная емкость

,



так как K>>1, входная емкость – величина большая, что снижает частоту полюса входной цепи . В каскодной схеме K=K1=1,



,



т. е. входная емкость существенно меньше.

2)Входное сопротивление каскодной схемы не зависит от параметров выходной цепи, т. е. присутствует развязка по входу и выходу.

3)Транзистор VT2 работает в режиме управления током транзистора VT1.

4)Так как транзистор VT2 включен по схеме с общей базой, его граничная частота

,



т. е. наличие второго транзистора не вносит искажения на высоких частотах.

Каскадная схема используется в дифференциальных каскадах. Если эмиттерных резисторов нет (Rэ=0), то коэффициент усиленияK=SRн. В противном случае

.



Как обычно, каскадная схема представляет собой соединение транзисторов, включенных с общим эмиттером (VT1,VT3) и общей базой (VT2,VT4). Дроссели L и резисторы Rэ представляют собой элементы коррекции.

1. Многокаскадные усилители. Амплитудно-частотные характеристики многокаскадных усилителей

На практике применяются многокаскадные усилители. Для многокаскадного усилителя комплексный коэффициент усиления (передачи) равен произведению комплексных коэффициентов передачи отдельных каскадов:



Аналогично коэффициент усиления или ; фазочастотные характеристики также суммируются:



Рассмотрим область верхних частот. Нормированный коэффициент передачи некорректированного резисторного каскада

,



где . Для двух каскадов АЧХ перемножаются.



Для N каскадов

.



Усиление

.



Рассмотрим искажения

.



Этим искажениям соответствует частота , для которой получим:



или и ,



откуда

.



Граничная частота

.



Пусть постоянная времени цепи - величина постоянная. Тогда с ростом числа каскадов граничная частота уменьшается, полоса сужается.



Так как обычно полоса усилителя задана, то постоянная времени цепи

,



т. е. постоянная времени каждого каскада с ростом их числа должна уменьшаться.

Так как , то для уменьшения необходимо снижать сопротивление нагрузки (так как емкость C0 уменьшить не удастся, это величина постоянная), значит снижается усиление каждого каскада. Сопротивление нагрузки может быть рассчитано по формуле



,



результирующее усиление



Найдем логарифм этого выражения:



Первое слагаемое учитывает увеличение коэффициента усиления за счет роста числа каскадов, второе слагаемое – отрицательное, учитывает уменьшение усиления за счет уменьшения усиления каждого каскада. Как видно из рисунка, при определенных частотах усиление перестает расти с ростом числа каскадов, многокаскадные усилители применять в этом случае невыгодно.

# Переходные характеристики многокаскадных усилителей

Изображение переходной характеристики многокаскадного усилителя определяется путем перемножения изображений переходных характеристик отдельных каскадов:

.



Если каскады одинаковы, то

.



Для некорректированного резисторного каскада

,



, .



Изображение и оригинал достаточно сложные, поэтому рассмотрим не сами переходные характеристики, а их свойства.

1. Вид переходных характеристик. При m=0,35 выброс каждого каскада

. Такой же выброс будет у N каскадов и не будет зависеть от их числа. С ростом числа каскадов увеличивается задержка и время установления.



Выброс называют критическим выбросом. Если коэффициент коррекции m>0,35 , то выброс , результирующий выброс увеличивается.



2. Таким образом для монотонных характеристик отдельных каскадов результирующий выброс больше выброса одного каскада и растет с ростом числа каскадов.

- время установления.



В случае одинаковых каскадов . В случае переходных характеристик с выбросом время установления больше времени установления одного каскада, с ростом числа каскадов время установления увеличивается. Время установления можно определить по той же формуле, но при определенных выбросах оно может быть меньше. Вводится характеристика – коэффициент замедления, показывающий, во сколько увеличивается время установления при удвоении числа каскадов:



3. Для переходных характеристик с выбросом результирующий выброс при близких значениях времени установления определяется приближенно как

,



для одинаковых каскадов при числе каскадов и при N>8.



4. Время задержки в многокаскадном усилителе равно сумме времен задержки каждого каскада.

Рассмотрим область больших времен. Как видно из рисунка, с ростом числа каскадов увеличивается спад переходных искажений. Если суммарный спад не превышает 30%, он определяется как сумма спадов и подъемов отдельных каскадов:



1. Выбор числа каскадов импульсных усилителей

При расчете импульсного усилителя обычно задано усиление , время установления , выброс . Для одного каскада



, .



Для некорректированного каскада (m=0) , при m=0,35 (выброс ) . Будем считать, что все каскады одинаковы, тогда результирующее усиление



,



время установления

.



## Число каскадов найдем, как

## .



## С учетом

## 



## Получим

,



где

.



Тогда



или

.



Данное уравнение решается графически: строятся графики для левой и правой частей уравнения. Левая часть уравнения является прямой линией, одна точка которой при N=0 соответствует –lgKN, а вторая соответствует нулю при

.



Правая часть зависит только от N и при N=1 равна нулю. Точка пересечения графиков будет являться решением уравнения. Полученное решение следует округлить до ближайшего целого.