**1. Многокаскадные усилители. Функциональная схема.**

На борту ВС применяются многокаскадные усилители, так как они позволяют получить заданную номинальную выходную мощность сигнала при малом напряжении возбудителя.

На рис. 2.1 представлена структурная схема многокаскадного усилителя УЗЧ. Рассмотрим назначение н влияние на показатели усилителя отдельных его каскадов, элементов и звеньев.

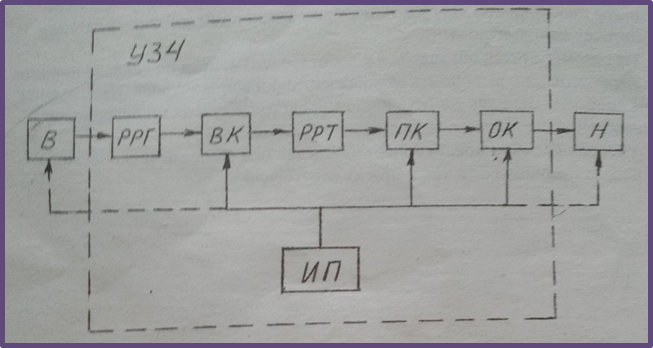


Рис 2.1 Структурная схема УЗЧ

Нагрузка H преобразует электрическую энергию сигнала в другие виды энергии

(акустическую, световую, механическую и т.д.) в зависимости от её типа ( телефоны или громкоговорители, электроннолучевая трубка, электромеханический измерительный прибор, электродвигатель и тд.). Нагрузка оказывает существенное влияние на значение номинальной выходной мощности *Р*ном, на коэффициент частотных искажений в рабочей полосе частот *М* и коэффициент гармоник *К*г электроакустического канала.

Оконечный каскад ОК обеспечивает для нагрузки заданную мощность сигнала при допустимых значениях искажений. Оконечный каскад определяет:

номинальную выходную мощность сигнала *Р*ном, потребляемую мощность Ро, КПД ***η*,** коэффициент гармоник *К*г, выходное сопротивление *R*вых усилителя, и оказывает влияние на коэффициент частотных искажений М, чувствительность ЕВНОМ и надежность работы *Т*ср.

Входные каскады ВК образуют узел маломощных каскадов. Они служат для усиления слабых сигналов до уровня, достаточного для формирования оконечным каскадом заданной номинальной выходной мощности. Входные каскады усилителя в основном определяют чувствительность

E Вmin, коэффициент шума Кш, входное сопротивление RВХ усилителя и оказывают влияние на коэффициент частотных искажений М.

Предоконечный каскад ПК возбуждает оконечный и обеспечивает согласование оконечного каскада с входным, усиление и преобразование однофазного сигнала в двухфазный ( в случае необходимости). Он оказывает влияние на коэффициент частотных искажений М, частот гармоник Кг и чувствительность усилителя Евmin.

Ручной регулятор громкости РРГ относится к группе вспомогательных звеньев. С его помощью регулируют коэффициент усиления усилителя. Он определят динамический диапазон Д усилителя и оказывает влияние на чувствительность ЕВmin и надежность работы Тср.

Ручной регулятор тембра РРТ относится к гpynne вспомогательных звеньев. С его помощью можно раздельно изменять коэффициент усиления по нижним и верхним звуковым частотам. Он влияет на коэффициент частотных искажений М и оказывает влияние на надежность работы усилителя Тср.

Возбудитель В формирует электрические колебания, подлежащие усилению. Функцию возбудителя могут выполнять: микрофон, звукосниматель, головка магнитофона, детектор радиоприемника и др. Возбудитель оказывает влияние на качественные показатели Кг, М и уровень помех Кг электроакустического канала.

Источник питания ИП обеспечивает энергию постоянного тока для всех функциональных узлов и элементов, которая преобразуется ими в энергию других видов. Он в основном определяет надежность работы усилителя и оказывает влияние на все электрические показатели усилителя, кроме коэффициента частотных искажений.

**2. Классификация оконечных каскадов.**

Оконечный каскад служит для формирования сигнала с заданной мощностью на нагрузке при допустимом уровне искажений.

Оконечные каскады усилителей РЭО ВС классифицируют по следующим признакам:

* по типу управляющего элемента- транзисторные и ламповые;
* по схеме включения управляющего элемента- с общим эммитером (катодом);общей базой, общим коллектором;
* по структуре схемы каскада - однотактные (с одним управляющим элементом или двумя, включёнными параллельно), двухтактные (с двумя управляющими ээлементами, включенными последовательно или параллельно с нагрузкой по переменному току), двухтактно- параллельные ( с четырьмя или более управляющими элементами, при этом в каждом двухтактном плече используется два или более управляющих элемента с параллельным соединением);
* по режиму работы управляющего элемента - линейный режим (режим А) и нелинейные режимы (режимы В и АВ);
* по виду связи управляющего элемента с нагрузкой — с трансформаторным или с

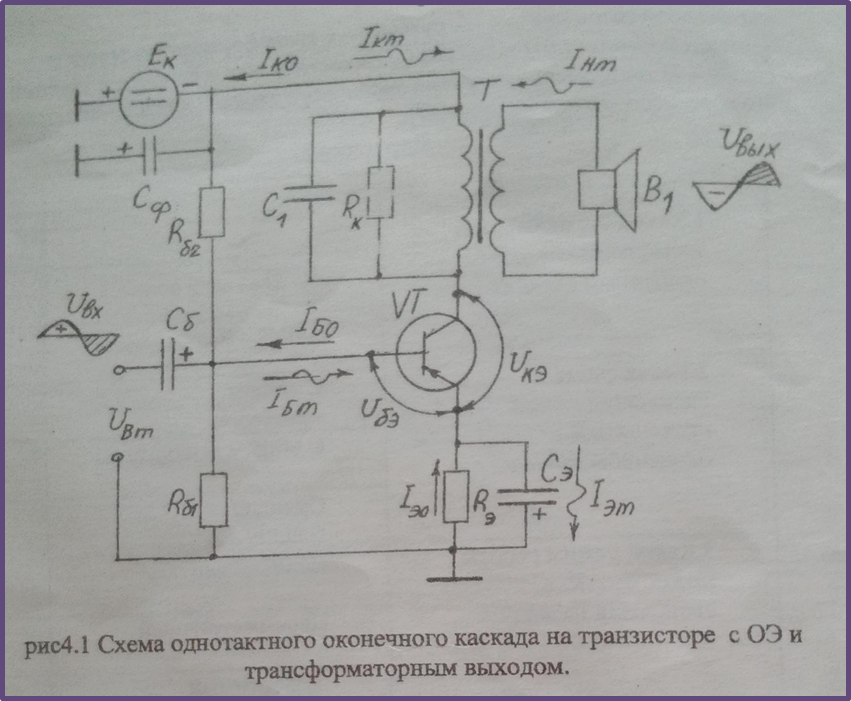
бестрансформаторным выходом ( с ёмкостной или с непосредственной связью).

В техническое название оконечного каскада должны входить все его классификационные признаки.

**3. 0днотактный трансформаторный каскад на транзисторе с ОЭ.**

Схема каскада приведена на рис 4.1, в составе схемы имеются особенности.

Роль нагрузки в каскаде выполняет, как правило, звуковая катушка электродинамического громкоговорителя В1 .Сопротивление ее малое и активное по характеру для колебаний и средних звуковых частот RН = 2 - 10 ОМ.



В качестве элемента связи нагрузки с транзистором используют понижающий трансформатор с К = W2/W1<1.

Трансформатор решает две задачи: согласует низкоомную нагрузку с большим выходным сопротивлением транзистора как источника ЭДС сигнала и исключает протекание постоянного тока коллектора через нагрузку.

Вторичная обмотка трансформатора и громкоговоритель образует отдельную цепь тока нагрузки ӀН. Параллельно первичной обмотке трансформатора подключен корректирующий конденсатор С1 для изменения частотной характеристики каскада.

В исходном режиме по первичной обмотке трансформатора протекает большой постоянный ток коллектора ӀК0. Oн создает в сердечнике трансформатора магнитный поток подмагничивания Фо. Сердечник находится в состоянии насыщения. Точка исходного режима (ТИР) располагается на верхнем изгибе кривой намагничивания катушки с сердечником.

В процессе преобразования переменного тока коллектора Ӏкп в ЭДС взаимоиндукции Енарушается прямая пропорциональная зависимость между магнитным потоком и напряженностью магнитного поля в сердечнике трансформатора. Поэтому графики тока коллектора и ЭДС сигнала во вторичной обмотке трансформатора не совпадает — возникают нелинейные искажения.

Оконечный каскад имеет самую низкую надёжность в работе многокаскадного УЗЧ, так как в его составе используют трансформаторы. Каскад работает в неблагоприятных тепловых и электрических условиях, к его цепям подводится большая мощность от источников постоянного тока и возбудителя. Однотактный оконечный каскад на транзисторе с и трансформаторным выходом применяют в узкополосных усилителях.

Если необходимо получить большую номинальную выходную мощность сигнала и повысить экономичность работы ОК, применяют двухтактные схемы.

**Двухтактный оконечный каскад на транзисторе с ОЭ с трансформаторным выходом**

Двухтактная схема два одинаковых плеча с общим участком (рис5.1). Каждое плечо содержит однородные элементы с равными параметрами. Общими элементами плеч являются: звено эммитерной стабилизации *R*э*С*э; источник постоянного тока *Е*к и конденсатор фильтра *С*ф; нагрузка *R*n. Выходные цепи транзисторов соединены параллельно с источником постоянного тока: транзистор VТ2 второго плеча в схеме «перевернут» вместе со своими элементами; источник постоянною тока подключен между средним выводом 2 в первичной обмотки трансформатора и корпусом.

Благодаря этому напряжение источника питания имеет равное значение для двухтактного и однотактного вариантов каскада. Выходные цепи транзисторов соединены последовательно с эквивалентом нагрузки Rк1, Rк2 для переменного тока. Это позволяет суммировать мощности плеч сигнала в общей нагрузке при наличии во входных цепях плеч напряжений сигнала со сдвигом по фазе на 180°.

На рис 5.1 это показано с помощью графиков и знаков напряжения на клеммах входной цепи и соответствующих направлений токов *Ӏ***'**кm и *Ӏ*"кm> на участке первичной обмотки трансформатора.

Благодаря этому напряжение источника питания имеет равное значение для двухтактного и однотактного вариантов каскада. Выходные цепи транзисторов соединены последовательно с эквивалентом нагрузки Rк1, Rк2 для переменного тока. Это позволяет суммировать мощности плеч сигнала в общей нагрузке при наличии во входных цепях плеч напряжений сигнала со сдвигом по фазе на 180°.

На рис 5.1 это показано с помощью графиков и знаков напряжения на клеммах входной цепи и соответствующих направлений токов Ӏ**'**Кm и Ӏ"кm> на участке первичной обмотки трансформатора.

На участке эммитера транзистора каждого плеча подключены резисторы симметрирующие *R*'э и *R*"э с малым сопротивлением (единицы Ом) для выравнивания плеч.

Таким образом, в составе схемы двухтактного каскада выделяют два отдельных плеча с известными входными и выходными цепями, а также общую цепь тока нагрузки Ӏнm. Общими звеньями этих цепей являются Ек, Сф и RэСэ.

По секциям первичной обмотки трансформатора протекают постоянные токи коллекторов ГКО И Ӏ'ко и Ӏ"ко плеч, магнитные потоки которых вычитаются. Если токи и число витков в секциях обмотки плен равны, то результирующий магнитный поток

Фо — Ф01' –Ф01" = 0.

Сердечник трансформатора не подмагничивается, это улучшает его линейные свойства.

В цепи тока нагрузки мощности сигнала плеч суммируются. Изучим электрические процессы в каскаде, обеспечивающие этот результат.

Ко входным цепям плеч двухтактного каскада приложены напряжения сигнала, равные по амплитуде (U'Вm = U"Вm =UНОМ), но сдвинутые по фазе на 180°.

Токи коллектора Ӏ'Кm и I"Кm возбуждает в первичной обмотке трансформатора магнитные потоки Ф'm1 и Ф"m1 одинакового направления.

Результирующий магнитный поток, определяемый их суммой,

Фm1 = Ф'm1 + Ф"m1 = 2Ф'm1, создает ЭДС взаимоиндукции во вторичной обмотке трансформатора Ет2.

В цепи нагрузки протекает ток сигнала Ӏнm, к нагрузке подводится мощность сигнала Рн.

На участках цепи подключения Сф и Сэ токи плеч Г'бm и Ӏ"бm, Ӏ'кm и Ӏ"кm взаимно компенсируется, поэтому в составе симметричной двухтактной схемы конденсатора Сф и Сэ могут не применятся.

Резисторы симметрирующие R'э R"э являются элементами обратной связи в каждом плече. С их помощью автоматически уравниваются коэффициенты усиления мощности плеч при неравных токах сигнала(Ӏ'кm ± Ӏ"кm).

Номинальная выходная мощность двухтактного каскада более чем в 2 раза больше, чем у однотактного

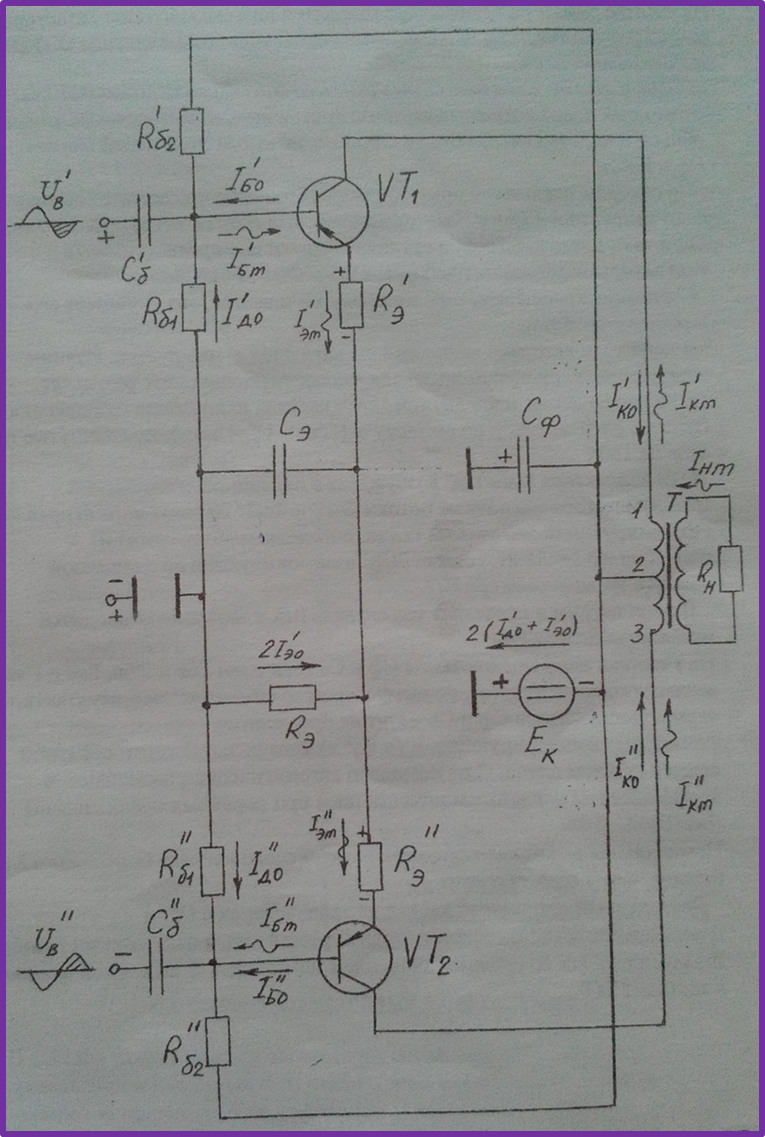


Рис. 5.1. Схема двухтактного оконечного каскада на транзисторе с ОЭ и

трансформаторным выходом.

.

Двухтактный оконечный каскад на транзисторах с ОЭ и трансформаторным выходом находит применение в высококачественных звукоусилителях со средним значением номинальной выходной мощности в составе РЭО.

**6. Бестрансформаторный оконечный каскад.**

В составе такого каскада отсутствует согласующий трансформатор между транзистором и нагрузкой. В связи с этим каскад имеет:

* более простое схемное исполнение; только серийно выпускаемый элементы;
* меньший габаритный размер, массу и стоимость;
* более высокую надежность; лучшие качественные показатели;
* повышенную экономичность в работе.

Учитывая эти преимущества ОК с бестрансформаторным выходом находят широкое применение в современной малогабаритной и высококачественной аппаратуре звукоусиления, являются основой для конструирования микромодулей интегральных микросхем.

Проблема согласования выходного сопротивления каскада с нагрузкой решается уменьшением входного сопротивления 0К (включение транзисторов по схеме с общим коллектором, а параллельное подключение плеч к нагрузке); использованием нагрузки с большим сопротивлением - высокоомные головные телефоны.

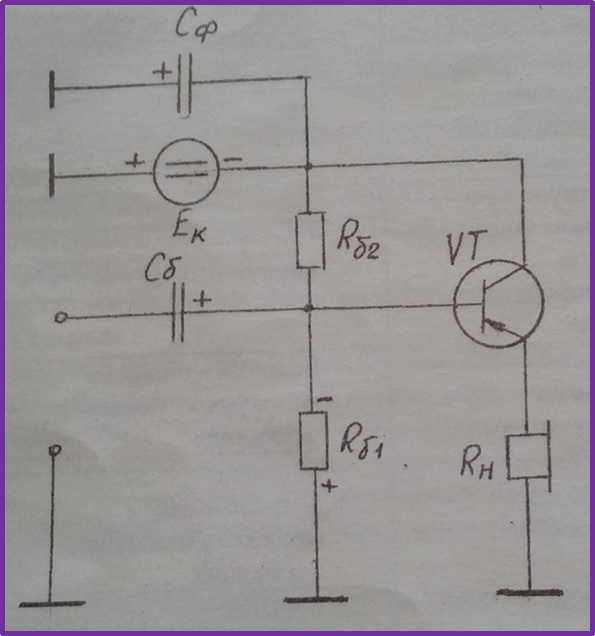


Рисунок 6.1. Схема оконечного каскада на транзисторе с ОК и непосредственным включением нагрузки

**Фазоинверсный предоконечный каскад с трансформаторным выходом.**

В составе схемы изучаемого каскада (рис 7.1) имеются особенности:

* во вторничной обмотке трансформатора предусмотрен вывод средней точки;
* в коллекторную цепь каскада подключено звено развязывающего фильтра *R*ф *С*Ф.

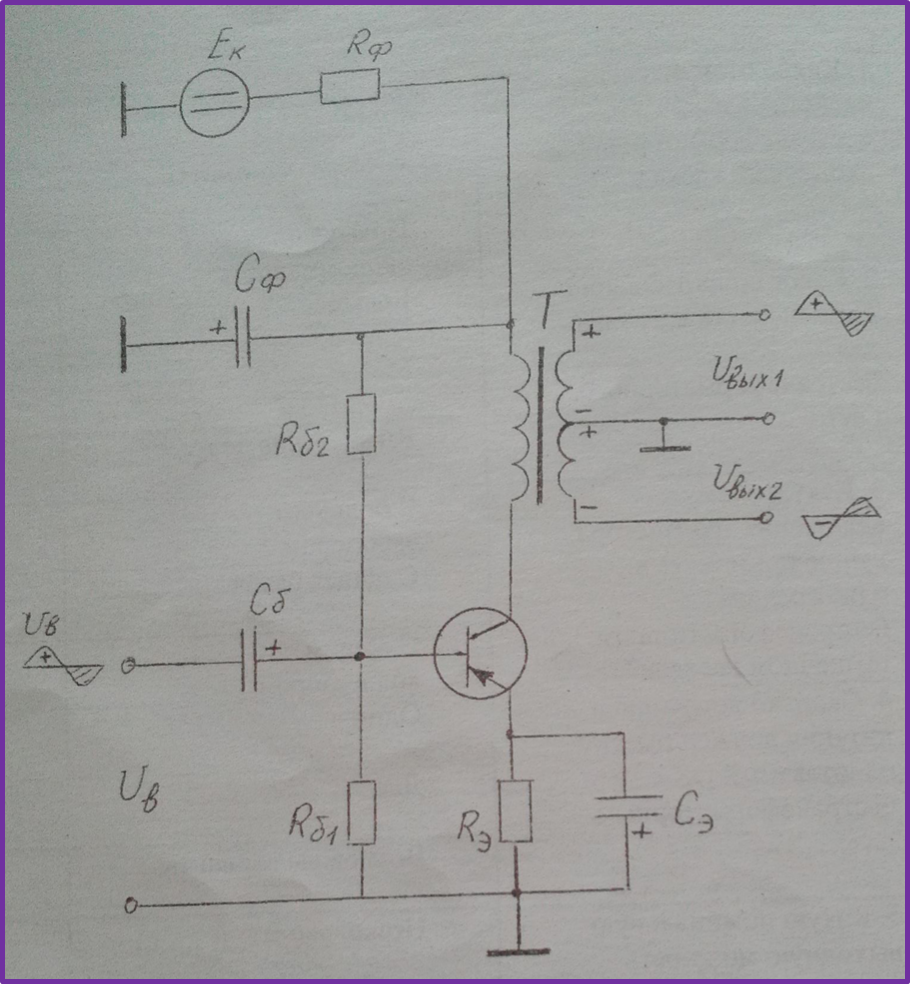


Рисунок 7.1 Схема фазоинверсного каскада на транзисторе с трансформаторным выходом.

Исходя из требований, предъявляемых к фазоинверсным каскадам, отмечаем:

1. Каскад преобразует однофазный сигнал в двухфазный за счёт выполнения вторичной обмотки трансформатора с выводом средней точки. То есть формирует два напряжения сигнала с равными амплитудами и сдвигом по фазе на 180°.

2. Каскад обеспечивает согласование большого выходного сопротивления транзистора с малым входным сопротивлением оконечного каскада за счёт использования транзисторов с оптимальным значением коэффициента трансформации, нелинейные искажения во входной цепи оконечного каскада минимальны.

3. Каскад позволяет получить значительное усиление мощности за счёт:

* использования транзистора, включенного по схеме с ОЭ, с большим статическим коэффициентом передачи тока;
* обеспечения для транзистора оптимального исходного режима работы;
* полного согласование с нагрузкой.

4. Каскад обеспечивает повышенную экономичность; используется маломощный транзистор, потери мощности постоянного тока в транзисторе малы.

5. Каскад вносит частотные и нелинейные искажения, имеет значительные габаритные размеры, массу, стоимость, ограниченную надежность из-за применения трансформатора.

6. Каскад не обеспечивает согласование со входным каскадом, так как его входное сопротивление мало.

Фазоинверсный каскад на транзисторе с ОЭ и трансформаторной связью используют в РЭО ВС для обеспечения возбуждения двухтактных оконечных каскадов.

**Широкополосные усилители.**

В современной РЭА (телевизионной, измерительной, системах управления, импульсных радиолокаторах и т.д.) широкое применение находят усилители сигналов. Спектр частот этих сигналов находится в пределах от звуковых частот в несколько мегагерц – до частот в десятки и сотни мегагерц. Такие усилители называются **широкополосными.**

К широкополосным усилителям относятся и усилители видеоимпульсов, или видеоусилители (ВУС), так как частотный спектр видеоимпульсов содержит большое количество гармоник с различными частотами. Схема ВУС такая же, как и усилителя напряжения, отличается лишь значениями элементов.

Для расширения полосы частот усиливаемых сигналов в широкополосных усилителях применяют коррекцию АЧХ в области нижних и высоких частот.

Для увеличения верхней граничной частоты, как это видно из выражения



необходимо уменьшать значения ***С*** и ***R.***Однако возможность для уменьшения эквивалентного сопротивления ***R***сопровождается снижением коэффициента усиления. Эффективность каскада резисторного усилителя принято оценивать его площадью усиления.

Для увеличения ***fв*** при неизменном значении ***Кср*** необходимо увеличивать площадь усиления усилителя, заключенную под АЧХ в полосе пропускания. Это достигается применением активного элемента с большей крутизной или введением в усилитель элементов, осуществляющих подъем АЧХ в области верхних частот, т.е. высокочастотной коррекцией АЧХ. Элементы, которые ее обеспечивают, называются элементами ***высокочастотной коррекции.***

Для увеличения полосы пропускания в области нижних частот, необходимо уменьшить нижнюю граничную частоту усилителя. Это достигается с помощью низкочастотной коррекции АЧХ, которая заключается в увеличении коэффициента усиления в области нижних частот

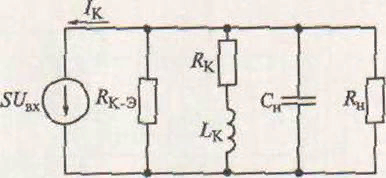
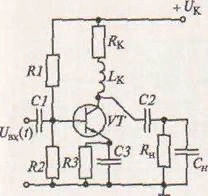
 а)  б)

Рис.163. Схема усилительного RС-каскада с ВЧ коррекцией (a) и его эквивалентная схема *(б)*

Наиболее распространенным видом высокочастотной коррекции является включение в цепь стока или коллектора транзистора дросселя с индуктивностью ***L***(рис.163, *а).*Эквивалентная схема усилителя для области верхних частот приведена на рис.163, *6.*Согласно этой схеме, индуктивность ***L***с емкостью ***С***и сопротивлением ***Rк*** образуют параллельный колебательный контур.

На резонансной частоте эквивалентное сопротивление контура ***Rэкв***будет больше, чем сопротивление резистора ***Rк***, вследствие чего увеличивается сопротивление нагрузки по переменному току и коэффициент усиления. Если резонансную частоту контура выбрать в области верхних частот, то из-за увеличения коэффициента усиления произойдет подъем АЧХ в этой области частот (кривая *б*на рис.164) и увеличение ***fв*** до значения ***fв.кор***. При оптимальной высокочастотной индуктивной коррекции увеличение ***fв.кор*** по сравнению с ***fв*** может достигнуть 1,7 раза

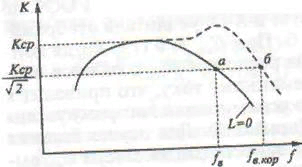
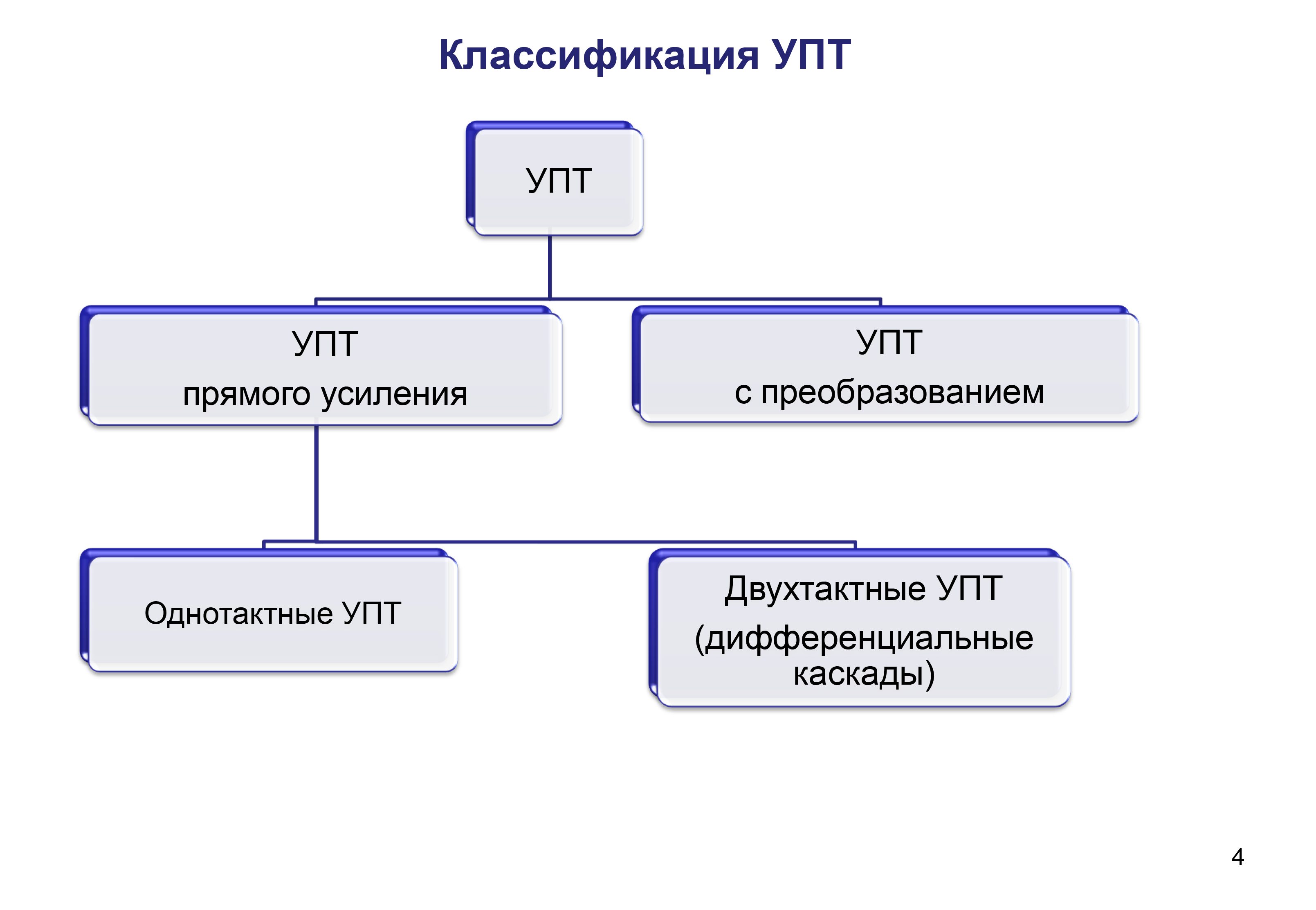


Рис. 164*.*Вид АЧХ усилителя с коррекцией в области верхних ча­стот

**Усилители постоянного тока. Определение. Классификация.**



Усилители постоянного тока предназначены для управления электрическими колебаниями в определенном диапазоне частот начиная с 0 Гц.

Но посмотрев на форму сигналов на входе и выходе усилителя постоянного тока, можно однозначно сказать — на выходе имеется усиленный входной сигнал, однако источники энергии для входного и выходного сигналов — индивидуальные.

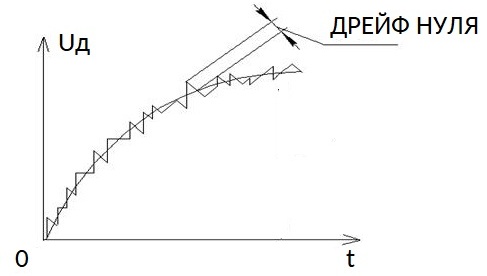
По принципу действия усилители постоянного тока подразделяются на усилители прямого усиления и усилители с преобразованием.

Усилители постоянного тока с преобразованием преобразуют ток постоянный — в переменный, затем он усиливается и выпрямляется. Это называется усилением сигнала с модуляцией и демодуляцией — МДМ.

Схемы усилителей прямого усиления не содержат реактивных элементов, таких как катушки индуктивности и конденсаторы, сопротивление которых зависит от частоты. Вместо этого существует непосредственная гальваническая связь выхода (коллектора или анода) усилительного элемента одного каскада с входом (базой или сеткой) очередного каскада. По этой причине усилитель прямого усиления способен пропускать (усиливать) даже постоянный ток. Такие схемы популярны и в акустике.

Однако непосредственная гальваническая связь хотя и передает очень точно между каскадами перепады напряжения и медленные изменения тока, такое решение сопряжено с нестабильностью работы усилителя, с затруднением установления режима работы усилительного элемента.

Когда напряжение источников питания немного изменяется, или изменяется режим работы усилительных элементов, либо немного плывут их параметры, - тут же наблюдаются медленные изменения токов в схеме, которые по гальванически связанным цепям попадают во входной сигнал и соответствующим образом искажают форму сигнала на выходе. Зачастую эти паразитные изменения на выходе схожи по размаху с рабочими изменениями, вызываемыми нормальным входным сигналом.



Искажения выходного напряжения могут быть вызваны различными факторами. Прежде всего — внутренними процессами в элементах схемы. Нестабильное напряжение источников питания, нестабильные параметры пассивных и активных элементов схемы, особенно под действием перепадов температуры и т. д. Они могут быть вовсе не связаны с входным напряжением.

**Дрейф нуля и методы его компенсации.**

Изменения выходного напряжения вызванные данными факторами именуют ***дрейфом нуля*** усилителя. Максимальное изменение выходного напряжения в отсутствие входного сигнала усилителя (когда вход замкнут) за определенный временной промежуток, называется абсолютным дрейфом.

Напряжение дрейфа, приведенное ко входу равно отношению абсолютного дрейфа к коэффициенту усиления данного усилителя. Это напряжение определяет чувствительность усилителя, так как вносит ограничение в минимально различимый входной сигнал.

Чтобы усилитель работал нормально, напряжение дрейфа не должно быть больше заранее определенного минимального напряжения усиливаемого сигнала, который подается на его вход. В случае если дрейф выхода окажется того же порядка или будет превышать входной сигнал, искажения превысят допустимую норму для усилителя, и его рабочая точка окажется смещенной за пределы адекватной рабочей области характеристик усилителя («дрейф нуля»).

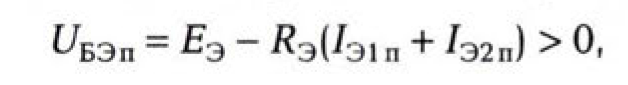
Для снижения дрейфа нуля прибегают к следующим приемам. Во-первых, все источники напряжения и тока, питающие каскады усилителя, делают стабилизированными. Во-вторых, используют глубокую отрицательную обратную связь. В-третьих, применяют схемы компенсации температурного дрейфа путем добавления нелинейных элементов, чьи параметры зависят от температуры. В-четвертых, используют балансирующие мостовые схемы. И наконец, постоянный ток преобразуют в переменный и затем усиливают переменный ток и выпрямляют.

**Дифференциальные (балансные) схемы УПТ.**

Наиболее распространена схема дифференциального усилитель­ного каскада на основе моста постоянного тока (рис. 15.11), плечи которого образованы резисторами *R*Kl = *R*K2 и биполярными тран­зисторами *VT1* и *VT2* одного типа с объединенными эмиттерами.

Для лучшей балансировки моста транзисторы изготовляют по единой технологии на одном кристалле, так что их параметры от­личаются на 1—5 %, Два источника сигналов включаются в цепи баз транзисторов, называемые ***несимметричными входами,*** а при­емник с сопротивлением нагрузки *R„* — между коллекторами транзисторов ***(симметричный выход).***

*Режим покоя* каскада при напряжениях *U*вх1, = *U*вх2 = 0, или ко­ротком замыкании входов, определяет напряжение



одинаковое для обоих транзисторов. Поэтому их режимы работы различаются мало. В таком каскаде осуществляется стабилизация режима покоя. Если под действием дестабилизирующих факто­ров, например нагрева, возрастут токи коллекторов 𝑰**К1п**, 𝑰К2п и эмиттеров 𝑰**Э1ш**, 𝑰**Э2ш**, то напряжение 𝑼БЭп уменьшится, эмиттерные переходы станут пропускать меньшие токи;

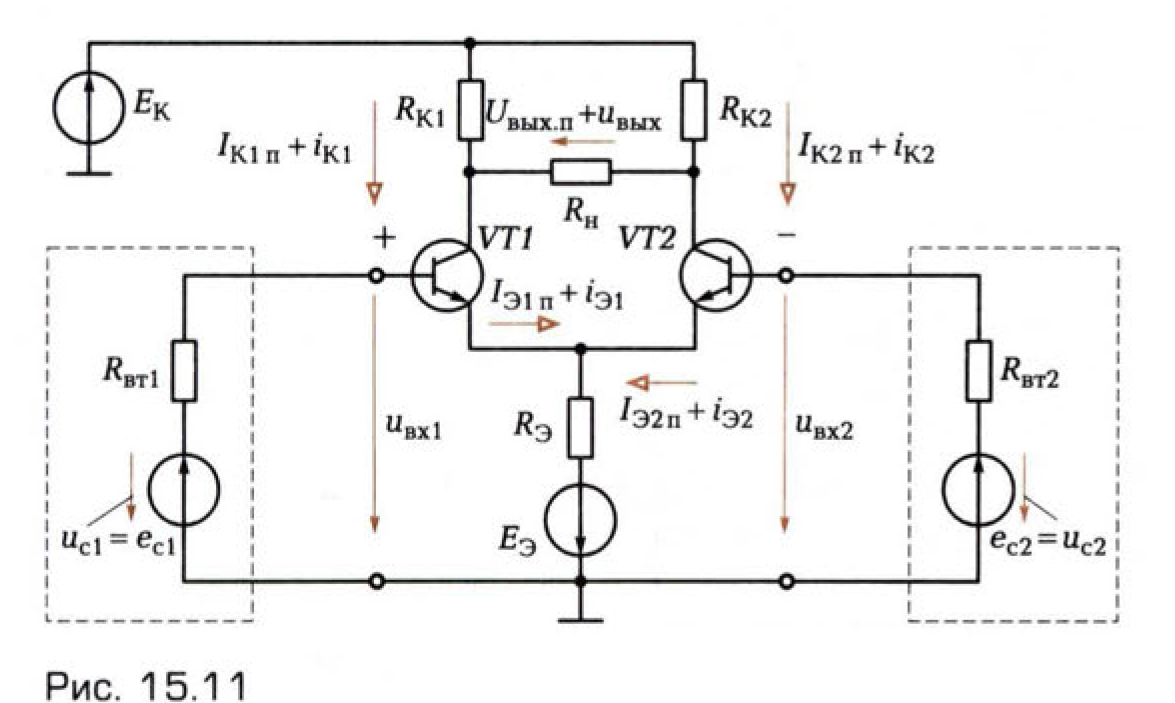
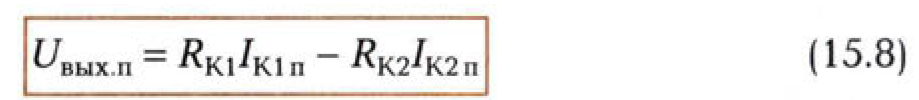
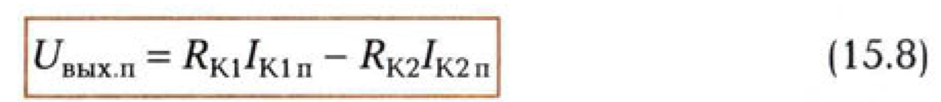


Рисунок 15.11

в результате токи коллекторов 𝑰К1п, 𝑰К2п и напряжение покоя на выходе будут стабилизированы.

Из формулы (15.8) видно, что любые одинаковые изменения в одноименных плечах каскада не вызывают изменения напряже­ния *U*вых.п, т.е. дрейфа нуля. В реальных каскадах нет полной сим­метрии элементов, однако дрейф напряжения *U*вых.п в дифферен­циальном усилительном каскаде по сравнению с усилительными каскадами на биполярных и полевых транзисторах снижается на несколько порядков. Дифференциаль­ный усилительный каскад работает в различных режимах.

**УПТ с преобразованием сигнала.**

Недостатком схем УПТ прямого усиления является сравнительно большое значение напряжения дрейфа - порядка единиц микровольт на градус - и уровня низкочастотного шума.

На практике измерений бывает необходимо усиливать малые токи порядка единиц наноампер и напряжения порядка единиц микро­вольт. Такая задача часто встречается при измерении неэлектрических величин, например температуры, давления, фототоков, токов иониза­ции, а также при измерении пьезоэлектрических эффектов и т.п.

Широ­кое применение усилители малых токов и напряжений получили в технике для целей автоматического контроля и управления, в цифровых измерительных приборах.

В этом случае применяют УПТ с преобразо­ванием входного напряжения, достоинством которых являются малое значение температурного дрейфа (0,01...0,1 мкВ/К°) и малая чувстви­тельность к изменениям напряжения источника питания и температуры окружающей среды.

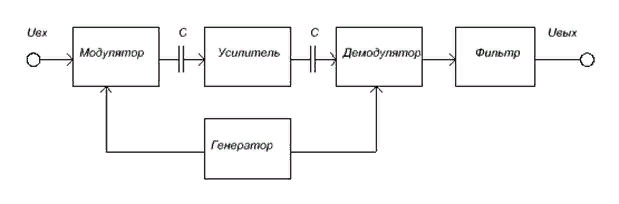


Рисунок 1.59 – Структурная схема усилителя МДМ

В УПТ с преобразованием сигнала используется принцип ***модуляции-демодуляции*** **(МДМ).** Указанный принцип заключается в том, что сигнал постоянного тока преобразуется, а затем усиливается и снова преобразуется с помощью демодулятора в сигнал постоянного тока. Поэтому такие усилители с промежуточ­ной модуляцией (М) входного сигнала и с последующей демодуляци­ей (ДМ) усиленного выходного сигнала называют усилителями типа МДМ (Рисунок 1.59).

Входное усиливаемое напряжение поступает на вход модулятора, который преобразует входное постоянное или медленно изменяющее напряжение в периодическую последовательность импульсов. В качестве напряжения несущей частоты используется сигнал синусоидальной или прямоугольной формы, частота которого определяется частотой генератора. Выходное напряжение модулятора усиливается усилителем переменного напряжения. Гальваническая развязка вход­ной и выходной цепей усилителя осуществляется, как и в обычном усилителе переменного напряжения, с помощью RC-связей.