

Билет 1

1. Основные параметры и характеристики электронных усилителей.

Коэффициент усиления по напряжению:

$$K_u = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} \quad \text{или} \quad K_u = \frac{U_{\text{вых}}}{U_z}$$

Коэффициент усиления по току:

$$K_I = \frac{I_{\text{вых}}}{I_{\text{вх}}} \quad \text{или} \quad K_I = \frac{I_{\text{вых}}}{I_z}$$

В многокаскадном усилителе общий коэффициент усиления равен :

$$K_{\text{общ}} = K_1 K_2 \dots K_N.$$

Часто коэффициент усиления выражают в логарифмической мере - в Дб:

$$K_U [\text{Дб}] = 20 \lg(K_U);$$

Тогда в многокаскадном усилителе коэффициенты усиления суммируются:

$$K_{\text{общ}} [\text{Дб}] = K_1 [\text{Дб}] + \dots + K_N [\text{Дб}];$$

Для усилителей с токовым входом и потенциальным выходом - **сопротивление прямой передачи**

$$R_n = \frac{U_{\text{вых}}}{I_{\text{вх}}}, \text{ кОм}$$

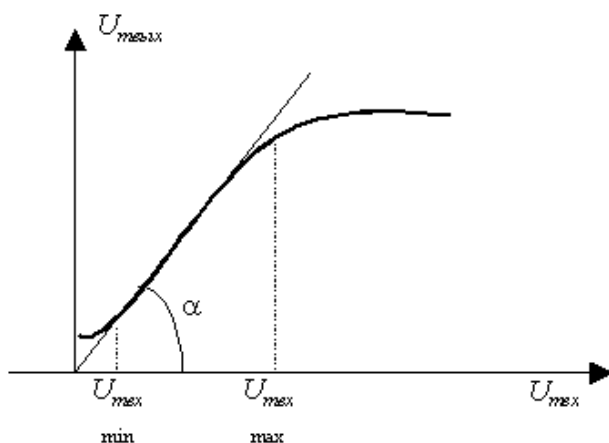
Входное сопротивление:

$$R_{\text{вх}} = \frac{U_{\text{вх}}}{I_{\text{вх}}}$$

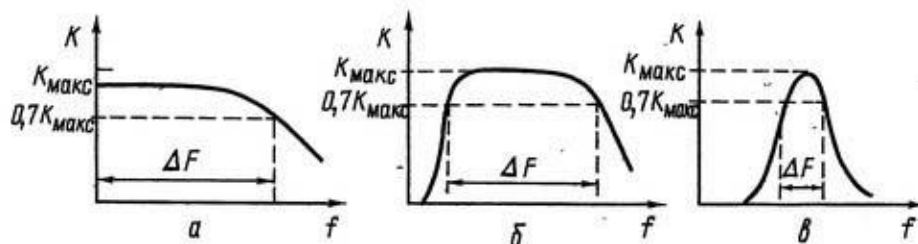
Выходное сопротивление :

$$R_{\text{вых}} = \frac{U_{\text{вых}}}{I_{\text{вых}}} \Big|_{U_z = 0; R_H = \infty} \quad \text{или} \quad R_{\text{вых}} = \frac{U_{\text{вых}}}{I_{\text{вых}}} \Big|_{I_z = 0; R_H = \infty}$$

Основные характеристики:



Амплитудная характеристика — это зависимость амплитуды выходного напряжения (тока) от амплитуды входного напряжения (тока)



Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) — это зависимость модуля коэффициента усиления от частоты

Амплитудно-частотные характеристики усилителей:

а — постоянного тока; б — низкой частоты; в — резонансного

Фазочастотная характеристика (ФЧХ) — это зависимость угла сдвига фаз между входным и выходным напряжениями от частоты.

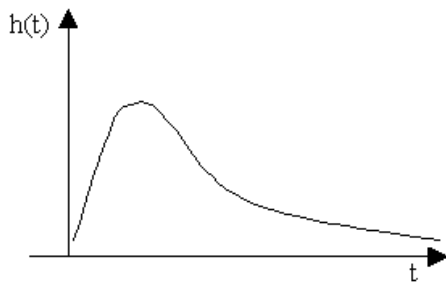


Рисунок 12.3

Переходная характеристика усилителя — это зависимость выходного сигнала (тока, напряжения) от времени при скачкообразном входном воздействии.

2. Триггер Шмита на ОУ: схема, временные диаграммы, принцип работы.

Триггер Шмита на ОУ называется схема компаратора с положительной обратной связью и имеющая *гистерезисную* передаточную характеристику.

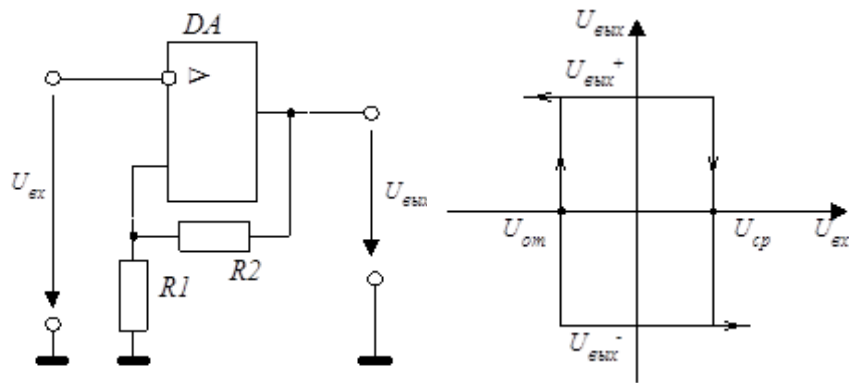


Схема и передаточная характеристика инвертирующего триггера Шмита

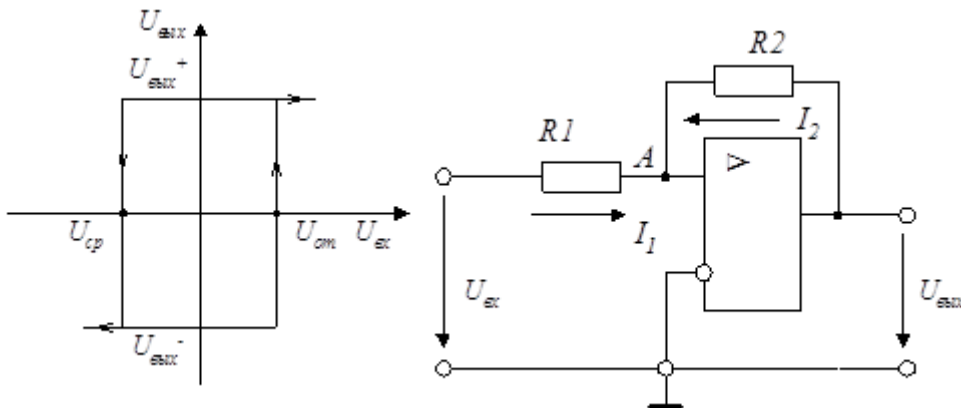


Схема и передаточная характеристика неинвертирующего триггера Шмита

Принцип работы:

Если к инвертирующему входу ОУ приложено достаточно большое отрицательное напряжение $U_{вх}$, то выходное напряжение триггера Шмита равно $U_{вых}$. При этом напряжение на неинвертирующем входе ОУ равно напряжению срабатывания

$$U_{сп} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_{вых}^+$$

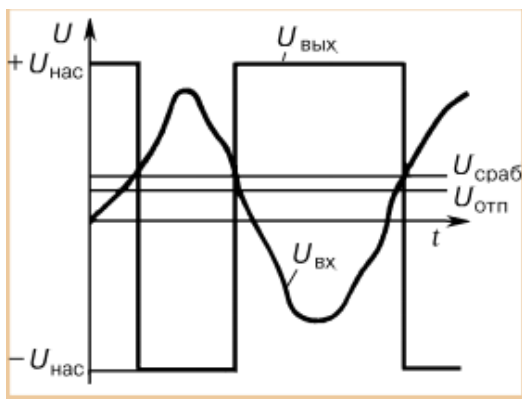


Рис. 5.27. Временные диаграммы триггера Шмитта на ОУ

При повышении входного напряжения $U_{вх}$ величина выходного напряжения вначале не меняется. Однако, в момент, когда $U_{вх} = U_{ср}$ выходное напряжение за счет действия положительной обратной связи изменяется скачком до $U_{вых}^-$, а напряжение на неинвертирующем входе до напряжения отпускания

$$U_{от} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U_{вых}^-$$

При дальнейшем увеличении $U_{вх}$ выходное напряжение не изменяется.

Билет 2

1. Принцип действия р-п перехода

Граница между двумя соседними областями полупроводника, одна из которых обладает проводимостью n-типа, а другая р-типа, называется электронно-дырочным переходом (р-п-переходом).

В результате ухода электронов из приконтактной области n-типа и дырок из приконтактной области р-типа на этих участках образуется обедненный от подвижных носителей заряда слой и появляется нескомпенсированный положительный заряд за счет ионов донорной примеси (в приконтактной области n-типа) и отрицательный заряд за счет ионов акцепторной примеси (в приконтактной области р-типа). Поскольку обедненный слой обладает малой электропроводностью, так как в нем практически отсутствуют подвижные носители заряда, его еще называют запирающим слоем.

Под действием электрического поля через р-п-переход могут перемещаться (дрейфовать) лишь неосновные носители, т. е. дырки из полупроводника n-типа и электроны из полупроводника р-типа, которые обуславливают дрейфовый ток.

2. Стабилизатор напряжения на ОУ

Компенсационные стабилизаторы напряжения с ОУ позволяют достичь высокого значения коэффициента стабилизации напряжения, низкого дифференциального выходного сопротивления, повышенного КПД.

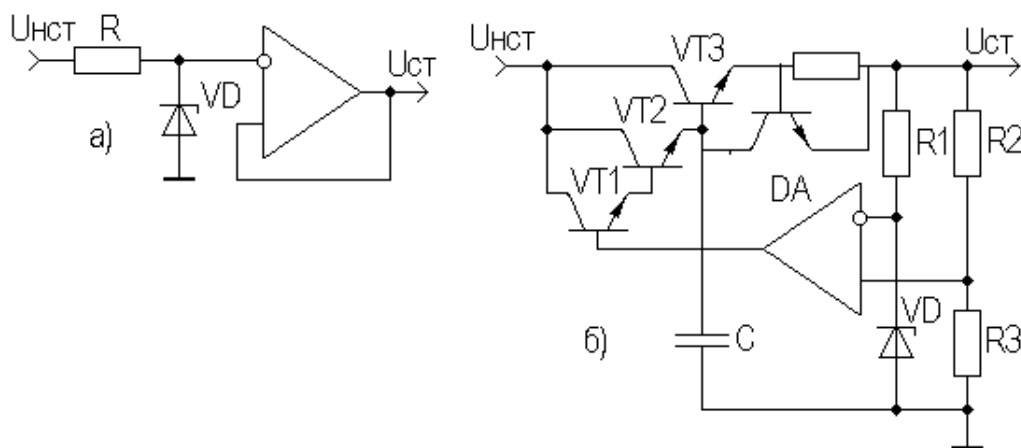


Рисунок 7.31 - Стабилизаторы напряжения на ОУ

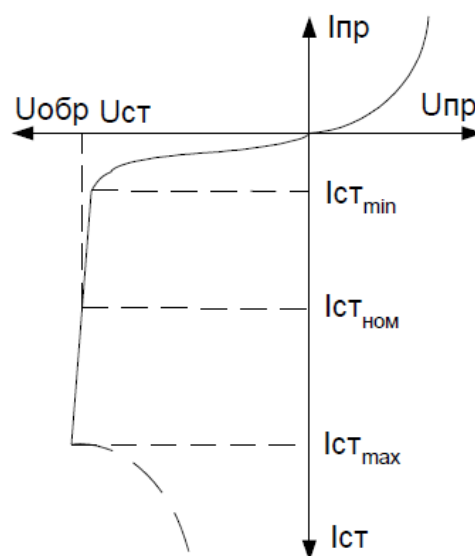
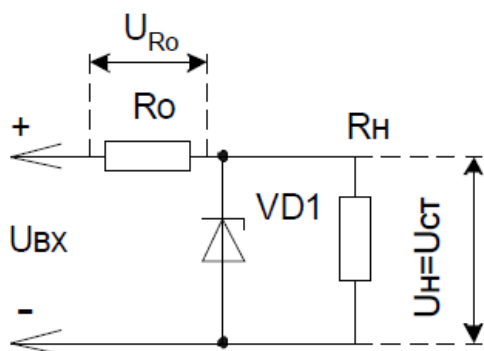
Здесь ОУ используется в качестве буферного усилителя. Высокое значение входного сопротивления ОУ обеспечивает идеальные условия для работы стабилитрона. Нагрузка может быть достаточно низкоомной.

Недостатком рассмотренного стабилизатора является малый рабочий ток, обусловленный низкой нагрузочной способностью ОУ. Избежать этого недостатка можно усилением выходного тока ОУ с помощью внешних транзисторов, используемых в режиме повторителей напряжения (рисунок 7.31б). Здесь к выходу ОУ подключен составной транзистор (VT_1, VT_2, VT_3) по схеме с ОК.

Билет 3

1. Стабилитрон

Стабилитроном называется полупроводниковый диод, предназначенный для стабилизации уровня постоянного напряжения. Стабилизация – поддержание какого-то уровня неизменным. Принцип действия стабилитрона основан на том, что на его вольтамперной характеристике имеется участок, на котором напряжение практически не зависит от величины протекающего тока.



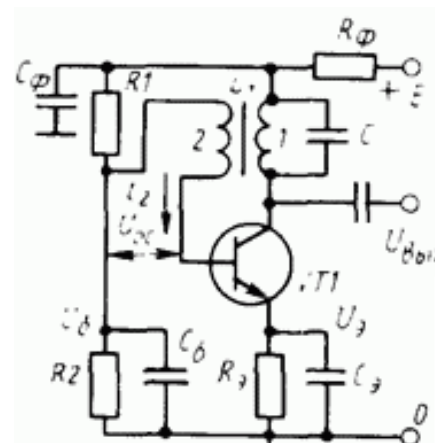
Принцип действия. При уменьшении входного напряжения ток через стабилитрон и падение напряжения на R_0 может уменьшаться, а напряжения на стабилитроне и на нагрузке останутся постоянными, исходя из вольтамперной характеристики.

Основные параметры стабилитронов:

- Напряжение стабилизации $U_{ст}$.
- Минимальное, максимальное и номинальное значение тока стабилизации
- $\Delta U_{ст}$. – изменение напряжения стабилизации.
- Дифференциальное сопротивление на участке стабилизации
- Температурный коэффициент стабилизации

2. Генератор с LC-контуром

Эти генераторы имеют сравнительно высокую стабильность частоты колебаний, устойчиво работают при значительных изменениях параметров транзисторов, обеспечивают получение колебаний, имеющих малый коэффициент гармоник. К недостаткам их относятся трудности изготовления высокостабильных температурно-



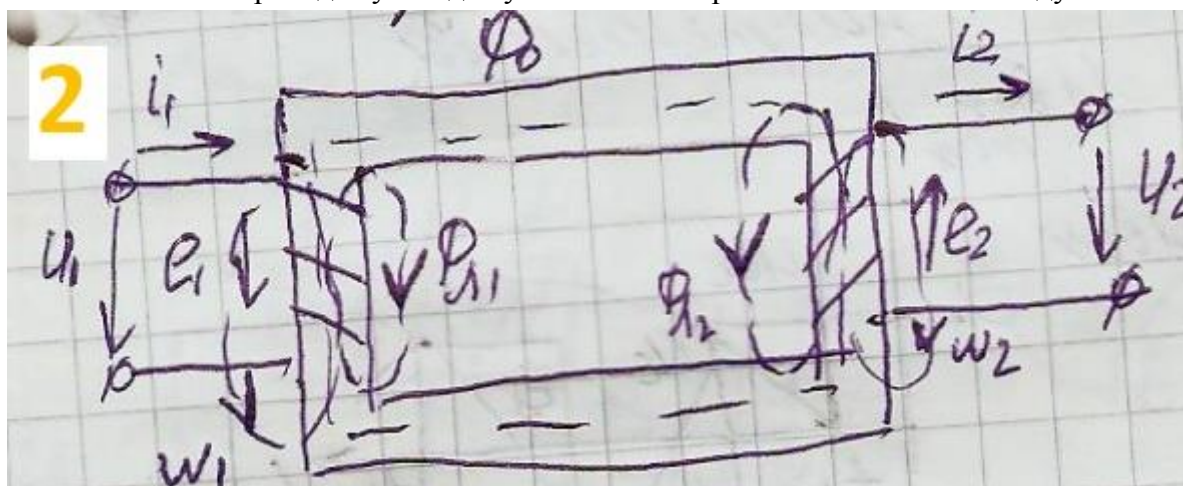
независимых индуктивностей, а также высокая стоимость и громоздкость последних. Особенно это проявляется при создании автогенераторов диапазона инфранизких частот, в которых даже при применении ферромагнитных сердечников габаритные размеры, масса и стоимость получаются большими.

В генераторе LC-типа формы выходного напряжения весьма близка к гармонической. Это обусловлено хорошими фильтрующими свойствами колебательного LC-контура. Они, как правило, работают с «отсечкой» тока активных приборов усилителя. Соответственно форма выходного тока усилителя резко отличается от синусоидальной.

Билет 4

1. Основные параметры и характеристики трансформатора.

Трансформатор – статический электромагнитный преобразователь переменного тока одного вида в переменный ток другого вида. Обычно ТР состоит из замкнутого ферромагнитного сердечника, на котором размещаются обмотки с различным числом витков. Магнитопровод служит для усиления электромагнитной связи между обмотками.

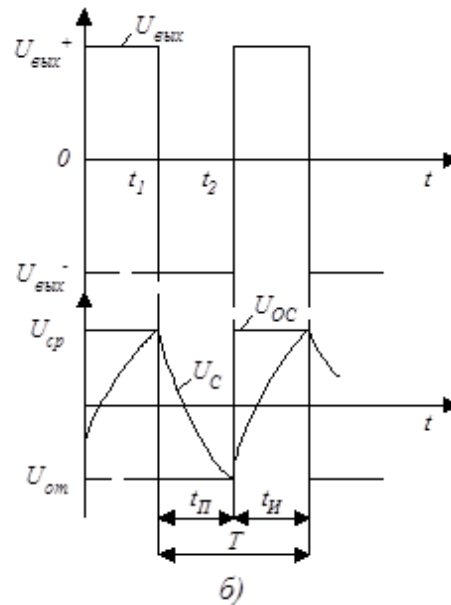
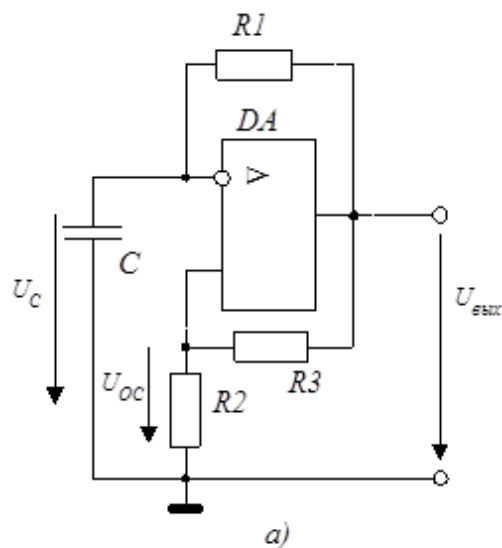


Основные параметры и характеристики:

1. Номинальное напряжение – действующее значение линейного напряжения, при котором предназначен работать ТТ (в паспорте).
2. Номинальный первичный ток $I_{1н}$ - ток, проходящий по первичной обмотке, при котором предусмотрена продолжительная работ ТТ.
3. Номинальный вторичный ток $I_{2н}$ – ток во вторичной обмотке
4. Вторичная нагрузка трансформатора соотв. полному сопротивлению его внешней вторичной цепи, выраженное в Ом.
5. Коэффициент трансформации – отношение первичного тока ко вторичному току.
6. Стойкость трансформатора к механическим и тепловым воздействиям.

2. Мультивибратор на ОУ: схема, временные диаграммы, принцип работы.

Мультивибратором называется генератор прямоугольных импульсов, принцип работы которого основан на периодическом заряде и разряде конденсатора.



а) Схема типовая схема мультивибратора на ОУ, б) Временные диаграммы выполненного на основе инвертирующего триггера Шмитта.

Принцип работы:

Рассмотрим работу мультивибратора по временным диаграммам. Пусть напряжение на

выходе ОУ равно $U_{вых}^+$. При этом на неинвертирующем входе ОУ устанавливается напряжение обратной связи $U_{ос}$, равное напряжению срабатывания триггера Шмитта

$U_{ср} = \gamma U_{вых}^+$, где $\gamma = R_2 / R_2 + R_3$. Наличие на выходе ОУ положительного

напряжения $U_{вых}^+$ обуславливает процесс заряда конденсатора С через резистор R1 соответствующей полярности. В момент, когда экспоненциально изменяющееся

напряжение на инвертирующем входе ОУ достигает напряжения $\gamma U_{вых}^+$ на неинвертирующем входе, т.е. порога срабатывания триггера, схема переключается и ее

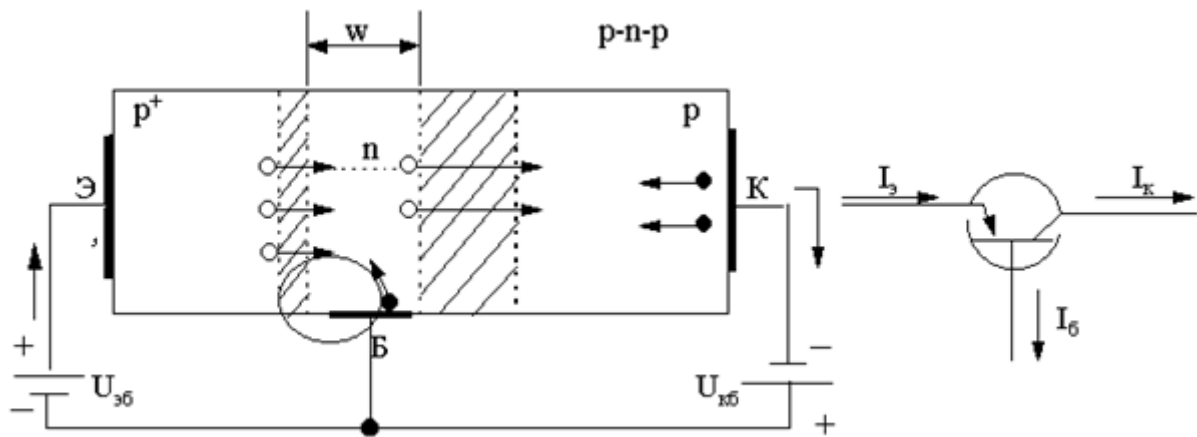
выходное напряжение скачком принимает отрицательное значение $U_{вых}^-$. С момента t_1 начинается перезаряд конденсатора и потенциал на инвертирующем входе ОУ начинает изменяться в противоположную сторону, пока не достигает другого порогового значения

$U_{от} = \gamma U_{вых}^-$.

Билет 5

1. Биполярный транзистор

Биполярные транзисторы – полупроводниковые приборы с двумя взаимодействующими *p-n*-переходами: (усилительные свойства транзистора обусловлены явлениями инжекции и экстракции неосновных носителей заряда).



Различают:

1. **бездрейфовые** транзисторы с равномерным распределением примеси в базе.
2. **дрейфовые** транзисторы с неравномерным распределением примеси в базе: более высокая концентрация на границе с эмиттером и убывающая в направлении коллектора.

Рассмотрим работу бездрейфового транзистора. Через эмиттерный переход происходит инжекция неосновных носителей в базу, поэтому на границе базы с эмиттерным переходом их концентрация выше равновесной. За счёт градиента концентрации эти носители переносятся к коллекторному переходу, работающему в режиме экстракции (извлечение). Большинство носителей, инжектированных в базу, не успевают в ней рекомбинировать, если её толщина $w < L$, и, достигнув коллектора, втягиваются в него, создавая ток коллектора.

Таким образом, ток коллектора создаётся за счёт тока эмиттера:

$$I_k = \alpha I_\varepsilon + I_{k0}$$

α - коэффициент передачи тока эмиттера (β_{216} в схеме с ОБ).

I_{k0} - обратный ток коллекторного перехода при отключённом эмиттере, т.е. при $I_\varepsilon = 0$.

I_{k0} меньше 1, т.е. ток I_k – это часть тока I_ε

2. Выпрямители

Выпрямитель представляет собой прибор, преобразующий переменный по величине и направлению ток в ток одного направления.

Выпрямители относятся ко вторичным источникам электропитания. Простейший выпрямитель переменного тока состоит из трансформатора и полупроводникового диода

(рис. 4.11 а). На вход выпрямителя со вторичной обмотки трансформатора подается синусоидальное напряжение (рис. 4.11 б). В первый полупериод, когда на верхней (по схеме) точке обмотки положительный потенциал относительно нижней точки, диод открыт и через нагрузочный резистор протекает ток. Во второй полупериод (полярность напряжения указана в скобках) диод закрыт и ток в резисторе отсутствует. Таким образом,

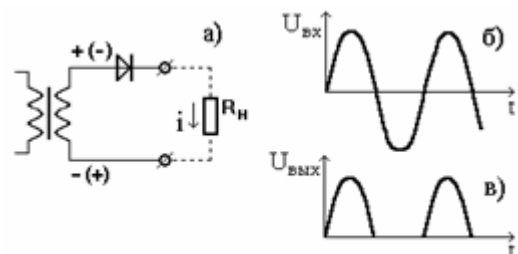


Рис. 4.11

выходное напряжение (оно снимается с нагрузочного резистора) имеет форму половинок синусоиды (рис. 4.11в). Оно называется пульсирующим.

Рассмотренный выпрямитель называется **однополупериодным**, поскольку в нем

используются только половины каждого из периодов сетевого напряжения.

В практике применяются **двухполупериодные** выпрямители. Они бывают мостовыми и с выводом от средней точки вторичной обмотки трансформатора. В двухполупериодных выпрямителях используются оба полупериода напряжения сети, поэтому они являются более

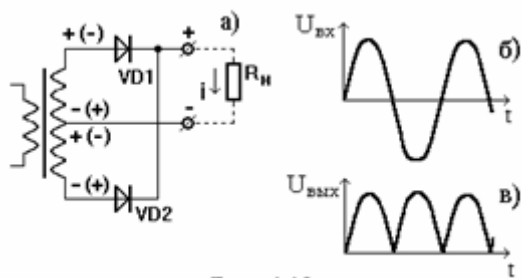


Рис. 4.12

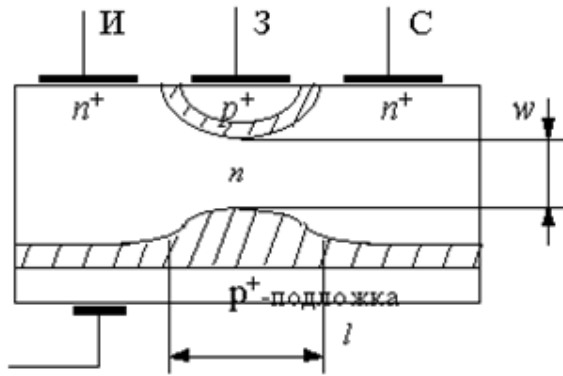
эффективными, чем однополупериодные.

Пусть в первый полупериод на верхней (по схеме) точке обмотки трансформатора оказался положительный потенциал относительно нижней точки и, соответственно, относительно средней точки. Тогда ток будет протекать от верхней точки обмотки через диод VD1 к выводу “+”, через резистор нагрузки к выводу “-” и средней точке обмотки. Во второй полупериод на нижней (по схеме) точке обмотки окажется положительный потенциал относительно средней и верхней точки. Ток в этом случае будет протекать от нижней точки обмотки через диод VD2 к выводу “+”, через резистор нагрузки к выводу “-” и средней точке вторичной обмотки трансформатора.

Билет 6

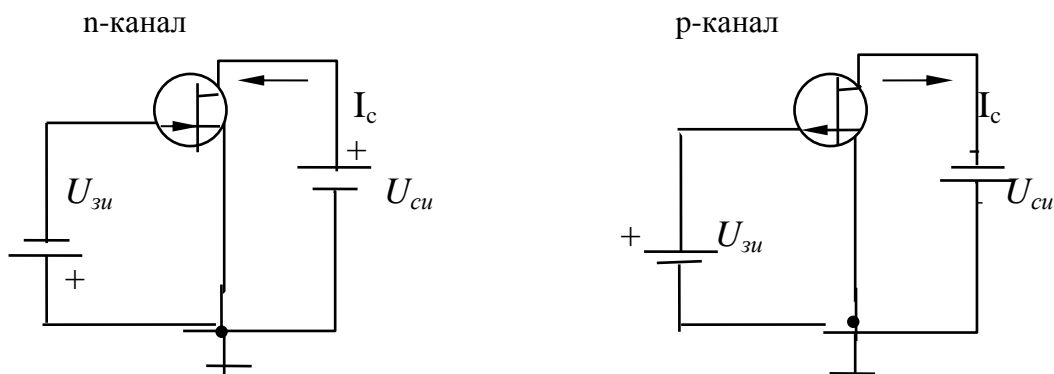
1. Полевой транзистор с управляющим переходом.

Полевой транзистор – это полупроводниковый прибор, усилительные свойства которого обусловлены потоком основных носителей заряда, протекающим через токопроводящий канал, и управляемым электрическим полем.



Рассмотрим устройство транзистора с n-каналом. Тонкий слой слабо легированного p-полупроводника наносится на сильно легированную подложку p-типа.

Над поверхностью канала имеется сильно легированная p-область, которая служит затвором. Для хорошего контакта с выводами стока и истока концы n-канала тоже сильно легированы. P-n - переходы между затвором и каналом должны быть смещены в обратном направлении. Для этого на затворе должно быть отрицательное напряжение, а на канале - положительное относительно подложки. В транзисторе с p-каналом затвор и подложка должны иметь n-электропроводность и полярности напряжений противоположны. Обычно напряжения на затвор и сток подают относительно истока, с которым соединяют и подложку.



Полевой транзистор в отличие от биполярного иногда называют униполярным, т. к. его работа основана только на основных носителях заряда либо электронах, либо дырках.

Вследствие этого в полевом транзисторе отсутствуют процессы накопления и рассасывания объемного заряда неосновных носителей, оказывающих заметное влияние на быстрдействие биполярного транзистора.

Основным процессом переноса носителей заряда, образующим ток полевого транзистора, является дрейф в электрическом поле. Проводящий слой, в котором создается рабочий ток полевого транзистора, называется токопроводящим каналом.

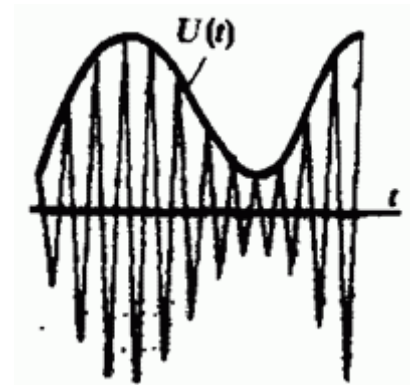
2. Амплитудная модуляция.

Амплитудной модуляцией (АМ) называется образование сигнала путем изменения амплитуды гармонического колебания пропорционально мгновенным значением напряжения или тока другого электрического сигнала (сообщения).

Принцип амплитудной модуляции.

Если переменной оказывается амплитуда сигнала $U(t)$ причем остальные два параметра ω и φ неизменны, то имеется амплитудная модуляция несущего колебания. Форма записи амплитудно-модулированного, или АМ-сигнала, такова:

$$u_{AM}(t) = U(t) \cos(\omega_0 t + \varphi_0).$$



Осциллограмма АМ-сигнала имеет характерный вид (см. рис. 4.1). Обращает на себя внимание симметрия графика относительно оси времени. В соответствии с формулой (4.2) АМ-сигнал есть произведение огибающей $U(t)$ и гармонического заполнения $\cos(\omega_0 t + \varphi_0)$.

При амплитудной модуляции связь между огибающей $U(t)$ и модулирующим полезным сигналом $s(t)$ принято определять следующим образом:

$$U(t) = U_m [1 + Ms(t)].$$

Здесь U_m — постоянный коэффициент, равный амплитуде несущего колебания в отсутствие модуляции; M — коэффициент амплитудной модуляции.

Величина M характеризует глубину амплитудной модуляции. Смысл этого термина поясняется осциллограммами АМ-сигналов, изображенными на рис. 4.1, а-в.

При малой глубине модуляции относительное изменение огибающей невелико, т. е. $|Ms(t)| \ll 1$ во все моменты времени независимо от формы сигнала $s(t)$.

Билет 7

1. Основные параметры и характеристики полевого транзистора.

Ток насыщения I_{c0} в цепи стока транзистора, включённого по схеме с общим истоком, при затворе накоротко замкнутым с истоком.

Напряжение отсечки $U_{отс}$ - при напряжении на затворе, численно равном напряжению отсечки, практически полностью перекрывается канал полевого транзистора, и ток стока при этом стремится к нулю.

Крутизна проходной характеристики

$$S = \frac{\Delta I_c}{\Delta U_{з.н}} \text{ при } U_{с.н} = \text{const.}$$

Пробивное напряжение

Механизм пробоя полевого транзистора можно объяснить возникновением лавинного процесса в переходе затвор - канал. Обратное напряжение диода затвор - канал изменяется вдоль длины затвора, достигая максимального значения у стокового конца канала (для полевого транзистора с p-n-переходом)

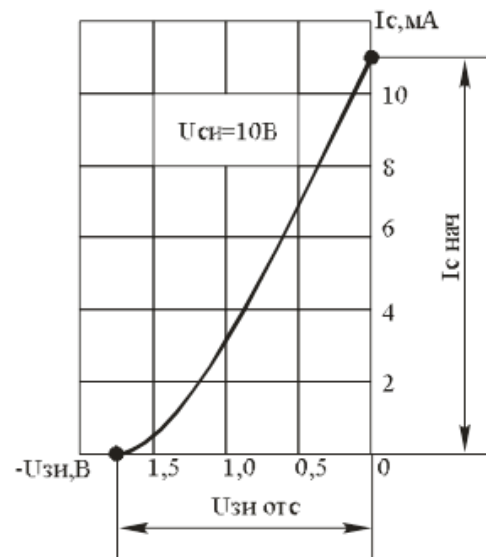
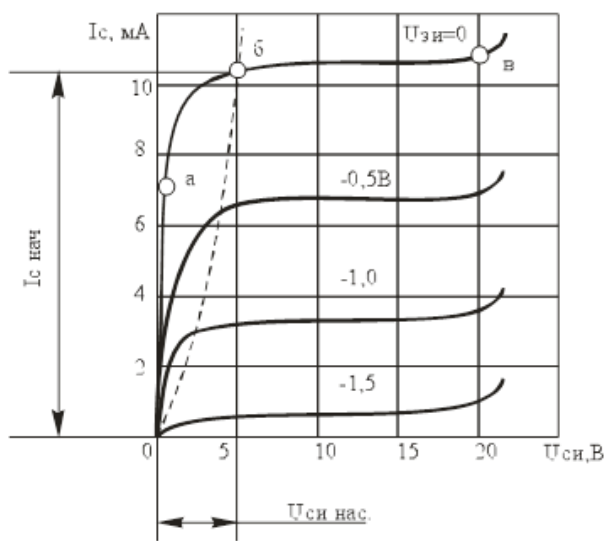
Динамическое сопротивление канала r_k

$$r_k = \frac{\Delta U_c}{\Delta I_c} \text{ при } U_{з.н} = \text{const} \quad r_k = \frac{U_{отс}}{2I_{c0} (1 - U_{з.н}/U_{отс})}$$

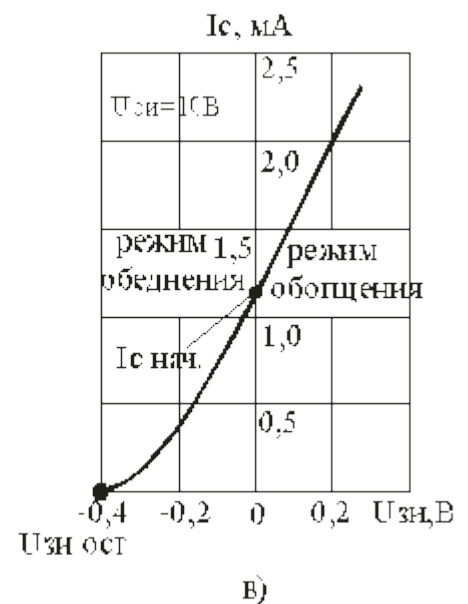
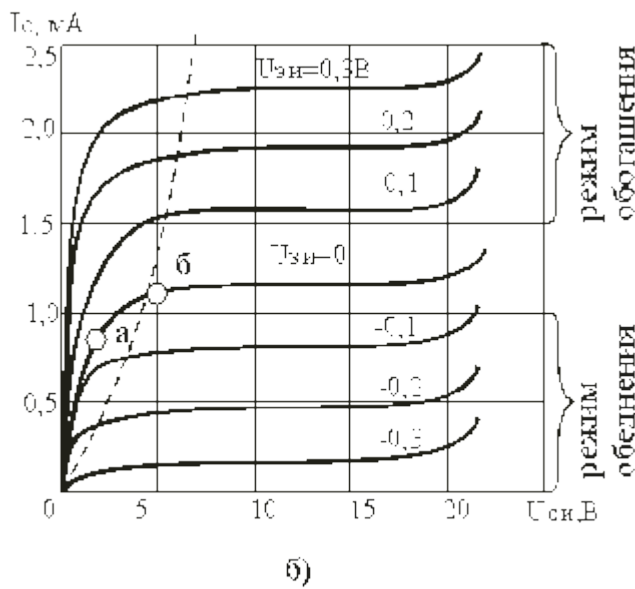
при $U_{с.н} = 0$ и произвольном смещении $U_{з.н}$

Основные характеристики:

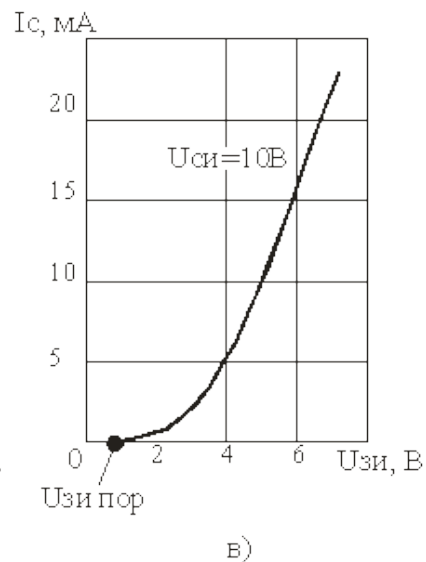
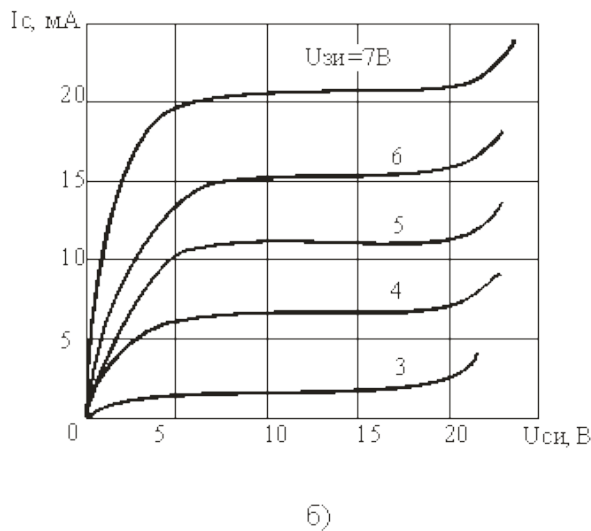
1. Стоковая
2. Стоко-затворная



Вольт-амперные характеристики полевого транзистора с *p-n*-переходом и каналом *n*-типа: а – стоковые (выходные); б – стоко - затворная



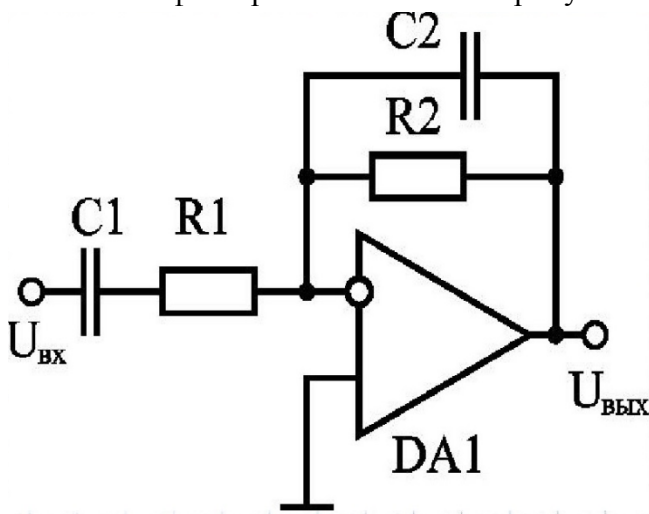
МДП - транзистор со встроенным каналом *n*-типа: семейство его стоковых характеристик (а); стоко-затворная характеристика (б)



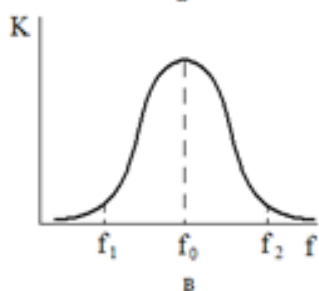
МДП - транзистор с индуцированным каналом n-типа: семейство его стоковых характеристик (б); стоко-затворная характеристика (в)

2. Полосовой фильтр на ОУ: схема, временные диаграммы, принцип работы.

Полосовые фильтры обеспечивают пропускание сигналов определенных частот



Полосовой фильтр содержит элементы фильтров низких и высоких частот.



Полосовые фильтры пропускают сигналы в некоторой полосе частот от f_1 до f_2

АЧХ полосового фильтра

Билет 8

1. Оптоэлектронные приборы

Оптоэлектронными называют **приборы**, чувствительные к электромагнитному излучению в видимой, инфракрасной и ультрафиолетовой областях, а также приборы, производящие или использующие такое излучение.

В конкретном оптоэлектронном приборе наличие всех трех составляющих данного выше определения является обязательным, но перечисленные отличительные признаки могут быть воплощены в большей или меньшей степени. Это позволяет разделить опто- и фотоэлектронные приборы (фотоэлектронные умножители, электроннолучевые приборы).

Основные достоинства оптоэлектронных приборов:

Высокая пропускная способность оптического канала.

Идеальная электрическая развязка входа и выхода. Использование в качестве носителя информации электрически нейтральных фотонов обуславливает бесконтактность оптической связи.

Наличие разнородных материалов, применяемых в оптоэлектронных приборах и системах, обуславливает: малый общий КПД устройства из-за поглощения излучения в пассивных областях структур, отражения и рассеяния на оптических границах; снижение надежности из-за различия температурных коэффициентов расширения материалов; сложность общей герметизации устройства; технологическую сложность и высокую стоимость

Основными оптоэлектронными элементами являются:

- источники когерентного оптического излучения (полупроводниковый лазер);
- источники некогерентного оптического излучения (светоизлучающий диод);
- активные и пассивные оптические среды;
- приемники оптического излучения (фотодиод);
- волоконно-оптические элементы (волоконно-оптический жгут);
- интегрально-оптические элементы (интегрально-оптическое зеркало).

2. Фазочувствительные выпрямители.

Фазочувствительными называются выпрямители, у которых полярность выходного выпрямленного напряжения зависит от фазы, а значение — от амплитуды переменного входного напряжения. Фазочувствительные выпрямители широко распространены в схемах автоматического управления дифференциальным реле, магнитным усилителем и т. д. Однополупериодный фазочувствительный выпрямитель (фазовый дискриминатор) для маломощных схем, выполненный на полупроводниковых диодах (рис. 8.11, а), работает следующим образом. В течение положительного полупериода переменного опорного напряжения $u_{оп}$ («+» в точке а, «-» в точке б) при нулевом входном сигнале оба диода открыты и проводят токи i_{D1} и i_{D2} , протекающие через резисторы R_1 и R_2 в направлениях, показанных стрелками. Полагая, что параметры диодов идентичны, при равенстве резисторов R_1 и R_2 и будем иметь равенство токов, т. е. $i_{D1} = i_{D2}$, и напряжений: $u_{R1} = i_{D1}R_1$; $u_{R2} = i_{D2}R_2$. Тогда выходное напряжение $u_{вых} = u_{R1} - u_{R2}$ равно нулю. Если на вход выпрямителя поступает входной сигнал $u_{вх}$, совпадающий по фазе с опорным напряжением, то ток через диод VD1 увеличивается, поэтому $u_{R1} > u_{R2}$.

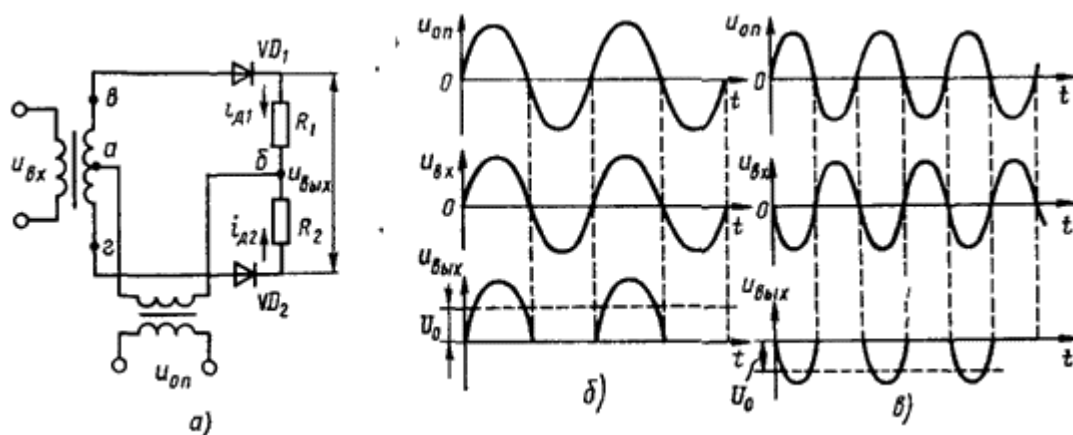
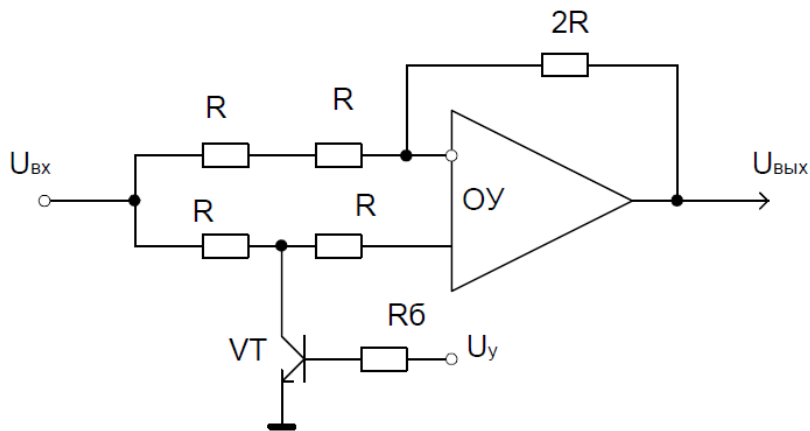


Рис. 8.11.

б)-синфазный; в)-противофазный сигнал

В течение отрицательного полупериода опорного напряжения оба диода закрыты, и ток через резисторы не протекает. Выходное напряжение равно нулю.



Используется дифференциальное включение ОУ; VT выполняет роль ключа. Если $U_y > U_{вкл}$ (0,7 В), то VT включен, насыщен и его $U_{кэ} \cong 0$, т. е. НИ вход соединен с землей через резистор R и усилитель инвертирующий и $K_I = -2R/2R = -1$.

Когда $U_y = 0$, VT – закрыт и $U_{вх}$ одновременно подается на НИ и И входы ОУ. Имеет место:

для И входа: $K_I = -1$;

для НИ входа: $K_{НИ} = 2R/2R + 1 = 2 \Rightarrow$

$K_S = K_{НИ} + K_I = 1$ (повторитель напряжения).

Для того чтобы $|K_I| = |K_{НИ}| = 1$ необходимо, чтобы все сопротивления были строго согласованы между собой: $R + R \equiv 2R$.

Таким образом, в зависимости от управляющего сигнала эта схема являлась либо *инвертором*, либо *повторителем*. С помощью управляющего сигнала U_y можно менять знак $U_{вых}$.