

[В начало](#)

РК1 Электроника

Темы:

[Физические основы работы п/п приборов](#)

[Диоды и вторичные источники питания](#)

[Биполярные транзисторы](#)

[Усилители на биполярных транзисторах](#)

[Если не знаешь ничего — не понимаешь к какой теме относится вопрос](#)

[В начало](#)

[В начало](#)

Физические основы работы п/п приборов

1. От чего зависит проводимость полупроводников и каким образом её можно управлять?
2. Статистика Ферми-Дирака. Каким образом её можно применить для описания свойств полупроводников?
3. Уравнение переноса. Какую информацию содержит это уравнение?
4. Уравнение непрерывности. Какие процессы в полупроводниках описывает это уравнение
5. Каково различие между симметричным, асимметричным и резко асимметричным р-п переходами? В каких электронных приборах такие переходы встречаются?
6. Какова неравновесная концентрация не основных носителей заряда на границе р- и п- областей в полупроводнике с симметричным р-п переходом? Как она изменится, если переход станет резко асимметричным?
7. Показать какова величина контактной разности потенциалов и ее зависимость от свойств р- и п- областей.
8. Чем определяется инерционность р-п перехода? Зависит ли она от режима работы р-п перехода?
9. Чем определяется тепловой ток р-п перехода? Какую информацию несет в себе его значение?
10. Чем отличаются между собой эмиттерный и коллекторный р-п переходы биполярного транзистора (способ изготовления, физическая структура, электрические параметры и т.д.)?

Диоды и вторичные источники питания

1. Какова совокупность параметров вторичного источника питания? определение.
2. Привести различные варианты однополупериодных выпрямителей и охарактеризовать их свойства.
3. Привести примеры различных двухполупериодных выпрямителей и сравнить их свойства?
4. Привести схему выпрямителя с удвоением напряжения и охарактеризовать его свойства.
5. Какова система параметров диода и как она связана с эквивалентной схемой диода? Любой ли диод можно представить с помощью такой схемы?
6. Почему у диодов в качестве предельных эксплуатационных параметров называется I прср макс и И обр макс?
7. Влияет ли на величину выходного напряжения емкость сглаживающего конденсатора, устанавливаемого на выходе выпрямителя? А каково это напряжение?
8. Стабилитрон. ВАХ. Система параметров. Области применения.
9. Дать определение коэффициенту стабилизации параметрического стабилизатора напряжения. Какие существуют пути улучшения этого показателя?
10. Чем определяются высокое быстродействие и хорошие температурные свойства туннельного диода?
11. Варикап. Свойства, режимы работы, области применения.
12. Фотодиод. Характеристики и параметры. Режимы работы. Области применения.

[В начало](#)

[В начало](#)

Биполярные транзисторы

1. Биполярный транзистор. Устройство, принцип действия, особенности работы, разновидности, условное графическое изображение.
2. Способы включения биполярного транзистора в схемах.
3. Режимы работы биполярного транзистора и его свойства в разных режимах.
4. Привести универсальную эквивалентную схему биполярного транзистора и перечислить его параметры, используемые в этой схеме.
5. Какова физическая структура и принцип действия биполярного транзистора?
6. Чем отличаются эквивалентные схемы для большого и малого сигнала у биполярного транзистора?
7. Какой параметр биполярного транзистора отражает его усиительные свойства? Каким образом (меняя структуру прибора) его можно изменять?
8. Привести систему ВАХ биполярного транзистора и показать какую информацию и как из них можно извлечь?

Усилители на биполярных транзисторах

1. Почему у транзисторных каскадов ОЭ и ОБ одинаковые коэффициенты усиления по напряжению?
2. А у какого каскада ОЭ или ОК больше коэффициент усиления по току (каскады состоят из одинаковых деталей)?
3. Почему усиительный каскад ОК не может иметь коэффициент усиления по напряжению больше 1?
4. Почему усиительный каскад ОБ имеет коэффициент усиления по току меньше 1?
5. Какому каскаду и почему следует отдать предпочтение при желании иметь в нагрузке максимальную мощность?
6. Могут ли каскады ОБ и ОЭ иметь одинаковые верхние граничные частоты?
7. Какой из каскадов ОЭ, ОБ или ОК имеет наименьшее выходное сопротивление и как его вычислить?
8. Какой из каскадов ОЭ, ОБ или ОК имеет наибольшее входное сопротивление? Как оно исчисляется?
9. Если ошиблись в назначении сопротивления резистора Яэ усиительного каскада, то к чему это может привести?
10. Если ошиблись в назначении сопротивления резистора Як усиительного каскада, то к чему это может привести?
11. Если транзистор имеет большой разброс коэффициента усиления по току В, то на каких параметрах и как это скажется?
12. Как стабилизируется положение рабочей точки в транзисторном каскаде на биполярном транзисторе?
13. Влияет ли коэффициент усиления по току В на коэффициент усиления по напряжению в каскадах на биполярных транзисторах?

[В начало](#)

[В начало](#)

Все вопросы!

1. От чего зависит проводимость полупроводников и каким образом ею можно управлять?
 2. Статистика Ферми-Дирака. Каким образом её можно применить для описания свойств полупроводников?
 3. Уравнение переноса. Какую информацию содержит это уравнение?
 4. Уравнение непрерывности. Какие процессы в полупроводниках описывает это уравнение
 5. Каково различие между симметричным, асимметричным и резко асимметричным р-п переходами? В каких электронных приборах такие переходы встречаются?
 6. Какова неравновесная концентрация не основных носителей заряда на границе р- и п- областей в полупроводнике с симметричным р-п переходом? Как она изменится, если переход станет резко асимметричным?
 7. Показать какова величина контактной разности потенциалов и ее зависимость от свойств р- и п- областей.
 8. Чем определяется инерционность р-п перехода? Зависит ли она от режима работы р-п перехода?
 9. Чем определяется тепловой ток р-п перехода? Какую информацию несет в себе его значение?
 10. Чем отличаются между собой эмиттерный и коллекторный р-п переходы биполярного транзистора (способ изготовления, физическая структура, электрические параметры и т.д.)?
-
1. Какова совокупность параметров вторичного источника питания? определение.
 2. Привести различные варианты однополупериодных выпрямителей и охарактеризовать их свойства.
 3. Привести примеры различных двухполупериодных выпрямителей и сравнить их свойства?
 4. Привести схему выпрямителя с удвоением напряжения и охарактеризовать его свойства.
 5. Какова система параметров диода и как она связана с эквивалентной схемой диода? Любой ли диод можно представить с помощью такой схемы?
 6. Почему у диодов в качестве предельных эксплуатационных параметров называется I прср макс и И обр макс?
 7. Влияет ли на величину выходного напряжения емкость сглаживающего конденсатора, устанавливаемого на выходе выпрямителя? А каково это напряжение?
 8. Стабилитрон. ВАХ. Система параметров. Области применения.
 9. Дать определение коэффициенту стабилизации параметрического стабилизатора напряжения. Какие существуют пути улучшения этого показателя?
 10. Чем определяются высокое быстродействие и хорошие температурные свойства туннельного диода?
 11. Варикап. Свойства, режимы работы, области применения.
 12. Фотодиод. Характеристики и параметры. Режимы работы. Области применения.

Больше вопросов на след стр! ;)

[В начало](#)

[В начало](#)

1. Биполярный транзистор. Устройство, принцип действия, особенности работы, разновидности, условное графическое изображение.
2. Способы включения биполярного транзистора в схемах.
3. Режимы работы биполярного транзистора и его свойства в разных режимах.
4. Привести универсальную эквивалентную схему биполярного транзистора и перечислить его параметры, используемые в этой схеме.
5. Какова физическая структура и принцип действия биполярного транзистора?
6. Чем отличаются эквивалентные схемы для большого и малого сигнала у биполярного транзистора?
7. Какой параметр биполярного транзистора отражает его усиительные свойства? Каким образом (меняя структуру прибора) его можно изменять?
8. Привести систему ВАХ биполярного транзистора и показать какую информацию и как из них можно извлечь?

1. Почему у транзисторных каскадов ОЭ и ОБ одинаковые коэффициенты усиления по напряжению?
2. А у какого каскада ОЭ или ОК больше коэффициент усиления по току (каскады состоят из одинаковых деталей)?
3. Почему усиительный каскад ОК не может иметь коэффициент усиления по напряжению больше 1?
4. Почему усиительный каскад ОБ имеет коэффициент усиления по току меньше 1?
5. Какому каскаду и почему следует отдать предпочтение при желании иметь в нагрузке максимальную мощность?
6. Могут ли каскады ОБ и ОЭ иметь одинаковые верхние граничные частоты?
7. Какой из каскадов ОЭ, ОБ или ОК имеет наименьшее выходное сопротивление и как его вычислить?
8. Какой из каскадов ОЭ, ОБ или ОК имеет наибольшее входное сопротивление? Как оно исчисляется?
9. Если ошиблись в назначении сопротивления резистора Яэ усиительного каскада, то к чему это может привести?
10. Если ошиблись в назначении сопротивления резистора Як усиительного каскада, то к чему это может привести?
11. Если транзистор имеет большой разброс коэффициента усиления по току В, то на каких параметрах и как это скажется?
12. Как стабилизируется положение рабочей точки в транзисторном каскаде на биполярном транзисторе?
13. Влияет ли коэффициент усиления по току В на коэффициент усиления по напряжению в каскадах на биполярных транзисторах?

[В начало](#)

[В начало](#)

1. От чего зависит проводимость полупроводников и каким образом ею можно управлять?

Проводимость зависит от ширины запретной зоны. Между зоной проводимости Е_п и валентной зоной Е_в расположена зона запрещённых значений энергии электронов Е_з. Разность Е_п–Е_в равна ширине запрещенной зоны Е_з. С ростом ширины Е_з число электронно-дырочных пар и проводимость собственного полупроводника уменьшается, а удельное сопротивление возрастает.

Проводимость записывается как $\sigma = q(\mu_n n + \mu_p p)$, причем в этой формуле

$n = n_i + N_D$, а $p = p_i + N_A$, где N_D, N_A - примеси и акцепторы.

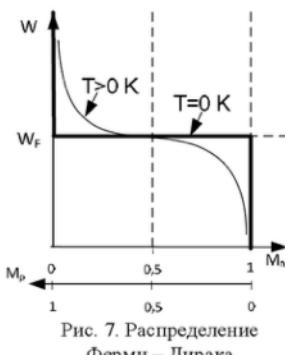


При отсутствии внешних воздействий нижние энергетические уровни заполнены. При этом электроны, которые находятся на них, обладают меньшей энергией, чем те, которые находятся на верхних уровнях. Но если каким-то образом сообщить электронам энергию, например тепловым воздействием, то электроны, которые получили энергию не смогут оставаться на низких уровнях и будут переходить на верхние. При этом, атом будет переходить в возбуждённое состояние. Если количество энергии достаточно велико, то электроны и вовсе могут покинуть атом, и тем самым его ионизировать. (Если коротко, проводимость полупроводников сильно зависит от температуры и в отличии от чистых металлов проводимость полупроводников с ростом температуры также увеличивается. Т.е. управлять с помощью температуры.)

[В начало](#)

[В начало](#)

2. Статистика Ферми-Дирака. Каким образом её можно применить для описания свойств полупроводников?



Статистика Ферми – Дирака определяет статистическое распределение фермионов по энергетическим уровням системы, находящейся в термодинамическом равновесии. Функция Ферми имеет физический смысл лишь для зон с разрешенным значением энергии, поэтому бессмысленно ожидание подвижных носителей с энергиями соответствующими запрещенной зоне полупроводника. Внутри запрещенной зоны ее применение недопустимо. Концентрация подвижных носителей в чистом полупроводнике может быть определена как интеграл плотности вероятности:

$$f_n(\varepsilon) = \frac{1}{e^{\frac{\varepsilon - \varepsilon_\Phi}{kT}} + 1} \approx e^{\frac{-\varepsilon + \varepsilon_\Phi}{kT}} \text{ с точностью до } 2\% \text{ для } \varepsilon > \varepsilon_\Phi \text{ на}$$

несколько kT , т.е. при большой ширине запрещённой зоны (для германия её ширина составляет 0,72 эВ, а для кремния – 1,11 эВ).

Концентрация подвижных носителей заряда в чистом полупроводнике может быть определена как интеграл плотности вероятности:

$$n_i = \int_{\varepsilon_{\text{пр}}}^{\infty} S(\varepsilon) f_n(\varepsilon) d\varepsilon = N_n \exp\left(-\frac{\varepsilon_{\text{пр}} - \varepsilon_\Phi}{kT}\right)$$

В полупроводнике n-типа, где концентрация носителей – свободных электронов n_n определяется концентрацией атомов донорной примеси N_D , происходит смещение уровня Ферми в

сторону зоны проводимости: $n_n = N_D$; $p_n = \frac{N^2}{N_D}$

Физическое уменьшение концентрации дырок в донорном полупроводнике может быть объяснено их скоротечной рекомбинацией при подавляющей концентрации свободных электронов.

3. В полупроводнике p-типа, где концентрация носителей – дырок p_p определяется концентрацией атомов акцепторной примеси N_A , происходит смещение уровня Ферми в сторону

валентной зоны $p_p = N_A$; $n_p = \frac{N^2}{N_A}$

Физическое уменьшение концентрации свободных электронов в акцепторном полупроводнике может быть объяснено их скоротечной рекомбинацией при подавляющей концентрации дырок. Смещение уровня Ферми пропорционально концентрации внесенной примеси.

В особо сильно легированных полупроводниках уровень Ферми может попадать внутрь зоны проводимости для полупроводника n-типа или внутрь валентной зоны для полупроводника p-типа, такие полупроводники называются вырожденными.

[В начало](#)

[В начало](#)

3. Уравнение переноса. Какую информацию содержит это уравнение?

$$j_p = q \left(-D_p \frac{dp_n}{dx} + E \int p_p \right)$$

за счёт:

дрейф

j - интенсивность тока

дифузии

Ну подробнее вот откуда и что:

[В начало](#)

[В начало](#)

4. Уравнение непрерывности. Какие процессы в полупроводниках описывает это уравнение

Это - изменение плотности объемного заряда в любом объеме в единицу времени должно быть равно числу вытекающих из этого объема (или втекающих в этот объем) элементарных электрических зарядов.

Закон сохранения количества электричества для дырочного и электронного полупроводников с учетом указанных процессов записывается в виде следующих уравнений, называемых уравнениями непрерывности:

Уравнение непрерывности:

$$\frac{\partial p}{\partial t} = - \frac{p - p_0}{\tau_p} - \frac{1}{q} \frac{\partial j_p(x)}{\partial x}$$

Аналогично еще с n вместо p тоже напишите.

Здесь первые члены в правых частях характеризуют процесс рекомбинации частиц (p и n – неравновесные концентрации, p_0 и n_0 – равновесные концентрации (концентрации акцепторов и доноров), а τ_p и τ_n – времена жизни неравновесных носителей заряда);
ну думаю q и j логично что такое.

Это если вдруг

\tilde{p}_n - неравномерная концентрация;

p_{n0} – равномерная концентрация;

$\tilde{p}_n - p_{n0}$ – избыточная концентрация;

τ_p – среднее время жизни неосновного носителя;

$\frac{1}{q} \frac{\partial J_p}{\partial x}$ – концентрация носителей переноса;

$\frac{\tilde{p}_n - p_{n0}}{\tau_p}$ - рекомбинация.

[В начало](#)

[В начало](#)

5. Каково различие между симметричным, асимметричным и резко асимметричным р-п переходами? В каких электронных приборах такие переходы встречаются?

Для простоты примем концентрации основных носителей заряда в обеих областях одинаковыми:

$$p_p = n_n,$$

где p_p – концентрация дырок в р-области; n_n – концентрация электронов в п-области. Такой р-п-переход называют **симметричным**.

На практике наибольшее распространение получили р-п-структуры с неодинаковой концентрацией внесенных акцепторной Na и донорной Nd примесей, т.е. с неодинаковой концентрацией основных носителей заряда в слоях $p_p \gg \text{Na}$ и $n_n \gg \text{Nd}$.

(Если величина концентрации примеси в одной из областей р-п-перехода значительно превышает концентрацию в соседней, то такой переход называется **несимметричным** (в отличие от симметричного, у которого $\text{Nd} = \text{Na}$).

Переход, в котором область изменения концентрации примесей значительно меньше ширины ОПЗ, называется **резким**

ОПЗ – область пространственного заряда

Применение [[править](#) | [править код](#)]

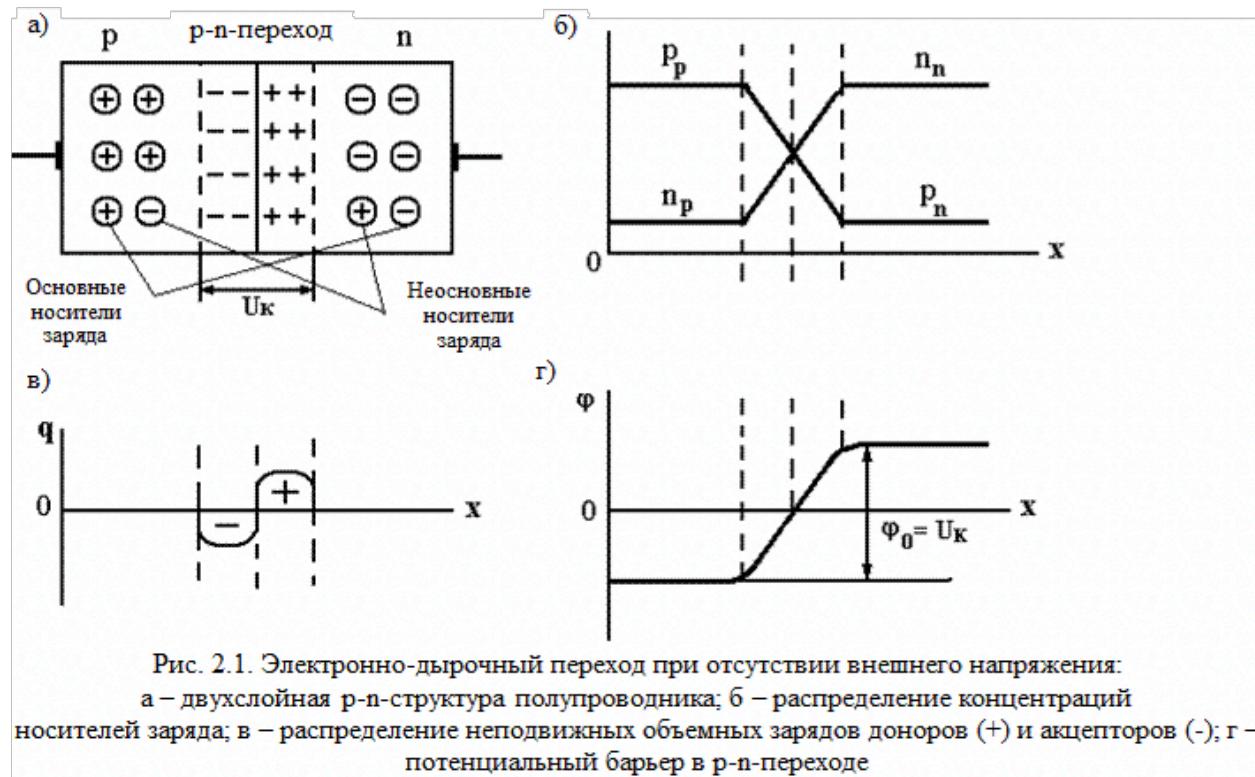
- Диод
- Транзистор
- Тиристор
- Варикап
- Стабилитрон (диод Зенера)
- Светодиод
- Фотодиод
- Стабистор
- pin диод

[В начало](#)

[В начало](#)

6. Какова неравновесная концентрация не основных носителей заряда на границе р- и п- областей в полупроводнике с симметричным р-п переходом? Как она изменится, если переход станет резко асимметричным?

р-п переход называют симметричным, если концентрации основных носителей заряда в обеих областях одинаковы
 $p_p = n_n$, где p_p – концентрация дырок в р-области; n_n – концентрация электронов в п-области.



В каждой области кроме основных носителей заряда имеются неосновные носители, концентрация которых значительно меньше, чем основных:
 $p_p \ll n_n$ и $n_p \ll p_p$,
где p_p – концентрация дырок в п-области; n_p – концентрация электронов в р-области.

На границе двух областей возникает разность концентраций одноименных носителей заряда. Одни и те же носители заряда в одной области являются основными, а в другой – неосновными, так что дырок в р-области гораздо больше, чем в п-области, и наоборот, электронов в п-области значительно больше, чем в р-области.

[В начало](#)

[В начало](#)

7. Показать какова величина контактной разности потенциалов и ее зависимость от свойств р- и n- областей.

Контактная разность потенциалов — это разность потенциалов, возникающая при соприкосновении двух различных твердых проводников, имеющих одинаковую температуру. Различают внутреннюю и внешнюю разности потенциалов в зависимости от того, рассматриваются ли потенциалы эквипотенциального объема контактирующих проводников или же потенциалы вблизи их поверхности.

Обозначается контактная разность потенциалов: ψ_k

$$\psi_k = \varphi_t + \ln \left(\frac{n_n p_p}{n_i^2} \right) = \varphi_t + \ln \left(\frac{N_A N_D}{n_i^2} \right) \approx \frac{2}{3} \Delta \varepsilon$$

$$\varphi_t = \frac{kT}{q} \approx 25mB$$

Окончательная формула для контактной разности потенциалов р-п перехода определяет ее зависимость от трех факторов:

1. материал полупроводника

Зависимость ψ_k от материала полупроводника определяется различным значением их ширины запрещенной зоны.

2. Степень легирования исходных полупроводников также влияет на значение контактной разности потенциалов. Чем больше степень легирования полупроводника, то есть чем больше вносится в полупроводник атомов примеси, тем большее значение имеет контактная разность потенциалов.

3. Контактная разность потенциалов зависит от температуры окружающей среды. С увеличением температуры контактная разность потенциалов уменьшается. Это связано с тем, что в выражении для ψ_k с увеличением температуры окружающей среды возрастает значение температурного потенциала φ_t

[В начало](#)

[В начало](#)

8. Чем определяется инерционность р-п перехода? Зависит ли она от режима работы р-п перехода?

Под инерционностью понимается запаздывание реакции р-п-перехода на электрическое воздействие. Под воздействием может пониматься как изменение во времени приложенного напряжения (тогда реакция – это ток через р-п-переход), так и изменение во времени заданного через р-п-переход тока (тогда реакция – напряжение на переходе). Основным последствием инерционности р-п-перехода является потеря свойства преимущественно односторонней проводимости при быстрых изменениях во времени (высокой частоте) входного воздействия.

Физической причиной инерционности являются конечное время движения основных носителей через переход и конечное время перезаряда паразитных емкостей перехода. Паразитными эти емкости называются потому, что они возникают помимо воли разработчиков-технологов, в силу особенности физических процессов в р-п-переходе. Чаще всего временем переноса носителей из-за малых геометрических размеров можно пренебречь и рассматривать только влияние паразитных емкостей.

[В начало](#)

[В начало](#)

9. Чем определяется тепловой ток р-п перехода? Какую информацию несет в себе его значение?

Тепловой ток обусловлен термогенерацией электронно-дырочных пар в областях р- и н-типа, удаленных от i-области не далее чем на диффузионную длину. Он довольно сильно возрастает при увеличении температуры. Обычно тепловой ток возрастает в 2 раза при увеличении температуры на каждые 10°C . Естественной представляется зависимость теплового тока от ширины запрещенной зоны полупроводника, из которого выполнен р-п переход. Чем больше ширина, тем меньше тепловой ток. Ток I_0 не зависит от величины обратного напряжения, а зависит от материала полупроводника, температуры окружающей среды, степени легирования полупроводников.

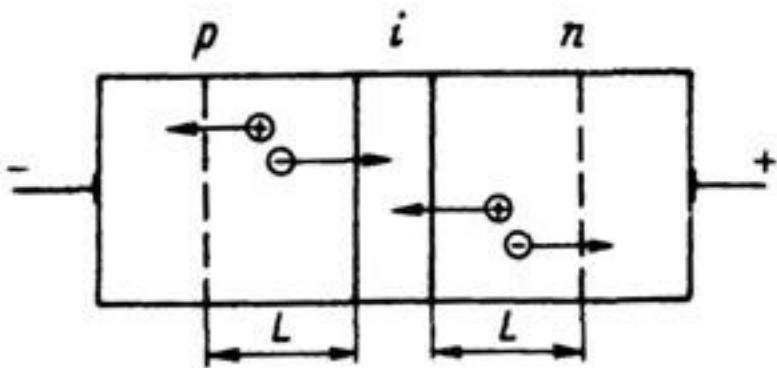


Рис. 1.12

$$I_0 = BS \exp\left(\frac{-\Delta W_3}{kT}\right) - \text{тепловой ток.}$$

[В начало](#)

[В начало](#)

10. Чем отличаются между собой эмиттерный и коллекторный р-п переходы биполярного транзистора (способ изготовления, физическая структура, электрические параметры и т.д.)?

С точки зрения типов проводимостей эмиттерный и коллекторный слои не различимы, но при изготовлении они существенно различаются степенью легирования для улучшения электрических параметров прибора. Коллекторный слой легируется слабо, что повышает допустимое коллекторное напряжение. Эмиттерный слой — сильно легированный: величина пробойного обратного напряжения эмиттерного перехода не критична, так как обычно в электронных схемах транзисторы работают с прямосмешённым эмиттерным переходом. Кроме того, сильное легирование эмиттерного слоя обеспечивает лучшую инжекцию неосновных носителей в базовый слой, что увеличивает коэффициент передачи по току в схемах с общей базой. Слой базы легируется слабо, так как располагается между эмиттерным и коллекторным слоями и должен иметь большое электрическое сопротивление.

Так же коллектор должен иметь больший, чем эмиттер, объём, так как токи рассеиваются на нём большую мощность.

Независимо от типа транзистора (рpr- или prp-), соотношение концентраций примесей будет следующим: $N_e > N_k > N_b$.

[В начало](#)

[В начало](#)

11. Какова совокупность параметров вторичного источника питания? определение.

Источники вторичного электропитания отличаются от первичных тем, что в них происходит многократное преобразование энергии.

На рис.2.1. представлена структурная схема источника вторичного электропитания, на выходе которого, после многократного преобразования, к нагрузке подводится постоянное стабилизированное напряжение.

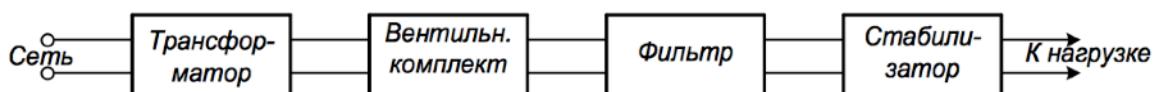


Рис.

Рис.2.1. Структурная схема источника вторичного электропитания

Трансформатор преобразует переменное напряжение в переменное, но одной величины в другую (понижает или повышает).

Вентильный комплект преобразует переменное напряжение в постоянное (параметры и характеристики полупроводниковых диодов подробно даны в разделе первом, в лекции 1).

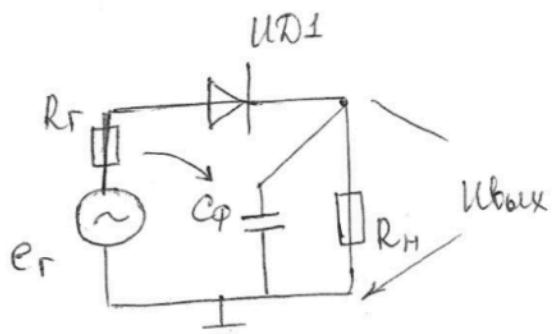
Фильтры сглаживают пульсацию в выпрямленном напряжении.

Стабилизаторы поддерживают постоянным заданное для нагрузки напряжение (стабилизирует).

[В начало](#)

[В начало](#)

12. Привести различные варианты однополупериодных выпрямителей и охарактеризовать их свойства.

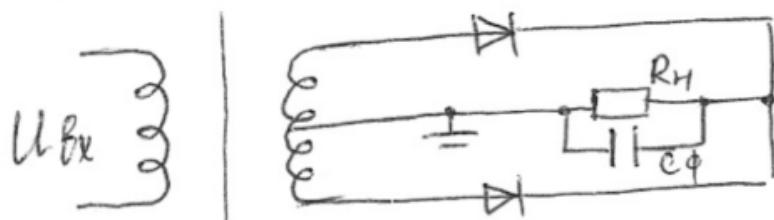


$$\tau_{заряда} = \frac{(R_f + \chi_d) C_f}{макс \Sigma}, \text{ если } R_H \gg (R_f + \chi_d)$$

$$\tau_{разр} = R_H C_f$$

$$\tau_{зар} \ll \tau_{раз}$$

$$U_{вых} \approx U_{вхм} (\cos \theta), \text{ где } \theta - \text{угол отсечки}$$



Диоды в схемах выпрямителей включаются по одно- и двухполупериодной схемам. Если взять один диод, то ток в нагрузке будет протекать за одну половину периода, поэтому такой выпрямитель называется однополупериодным. Его недостаток – малый КПД.

Параметры:

- Номинальное выходное напряжение постоянного тока и допустимый диапазон его изменения;
- Номинальный ток нагрузки;
- Диапазон эффективного входного напряжения переменного тока (например 220 В ± 10%);
- Допустимая выходная пульсация, её амплитудно-частотные характеристики;
- Нагрузочная характеристика.
- Эквивалентное внутреннее комплексное (в первом приближении активное) сопротивление.

[В начало](#)

[В начало](#)

13. Привести примеры различных двухполупериодных выпрямителей и сравнить их свойства?

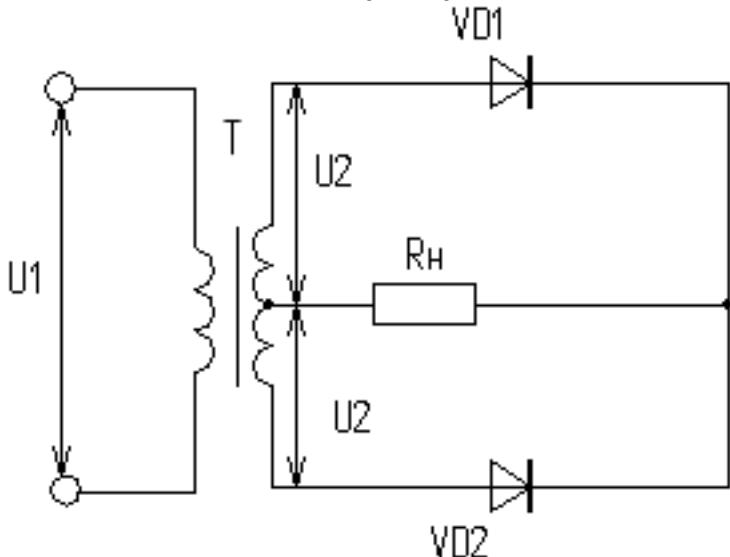


Рисунок 1 - Схема однофазного двухполупериодного выпрямителя с выводом от средней точки.

Достоинствами данной схемы является то, что она имеет лучший коэффициент использования вентилей по току, меньшую расчётную мощность трансформатора, меньший коэффициент пульсации выпрямленного напряжения.

К недостаткам схемы следует отнести: плохое использование вентилей по напряжению, высокое обратное напряжение, прикладываемое к выпрямительным диодам, усложнённая конструкция трансформатора.

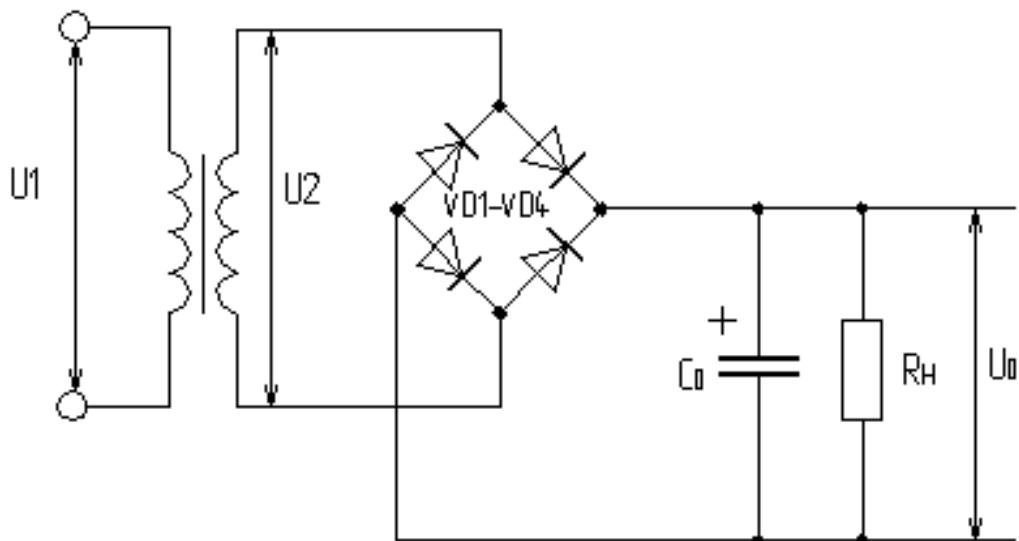


Рисунок 2 - Схема однофазного двухполупериодного мостового выпрямителя.

Главным достоинством мостовой схемы являются: лучший коэффициент использования вентилей по напряжению, меньшая расчётная мощность трансформатора, благодаря этому мостовая схема широко применяется в установках малой и средней мощности, а также простота конструкции трансформатора.

Недостатками мостовой схемы являются: требуется строгая симметрия напряжений на обмотках, две обмотки вместо одной, большое обратное напряжение на диодах, удвоенное количество диодов по сравнению с выпрямителем со средней точкой. Однако суммарное сопротивление постоянному току двух диодов и обмотки мостового выпрямителя чаще оказывается меньше сопротивления одного диода и обмотки выпрямителя со средней точкой.

[В начало](#)

[В начало](#)

14. Привести схему выпрямителя с удвоением напряжения и охарактеризовать его свойства.

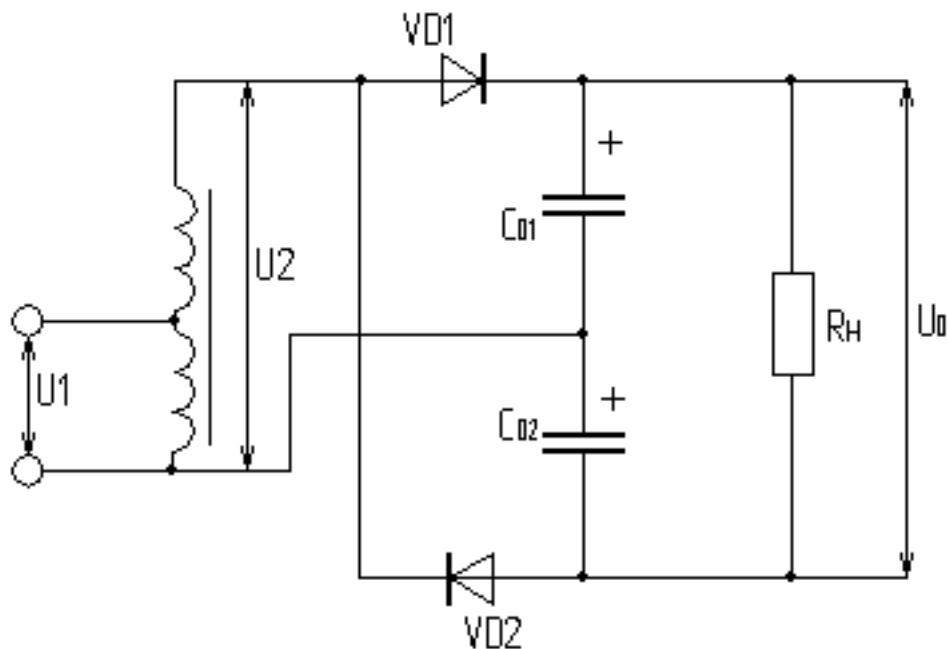


Схема двухполупериодного выпрямителя с удвоением напряжения. Данную схему используют, когда трудно намотать многовитковую вторичную обмотку, или когда обмотка имеющегося трансформатора дает недостаточное напряжение. Схема удвоения (как и однополупериодного выпрямителя) имеет круто падающую нагрузочную характеристику. Кроме того, при пробое одного из диодов переменное напряжение оказывается приложенным к электролитическому конденсатору, что обычно приводит к его взрыву. Достоинством схемы является то, что конденсаторы несколько сглаживают пульсации выпрямленного тока. Недостатком является то, что данную схему нельзя применять для получения выпрямленного напряжения свыше 200-300 В, так как возможен пробой изоляции в кенотроне между катодами и нитью накала.

[В начало](#)

[В начало](#)

15. Какова система параметров диода и как она связана с эквивалентной схемой диода? Любой ли диод можно представить с помощью такой схемы?

Основные параметры:

А) параметры номинального режима

1. $U_{\text{пр}}$ при заданном $I_{\text{пр}}$. У идеального выпрямителя $U_{\text{пр}}=0$, у реальных диодов $U_{\text{пр}}$ равны десятым долям вольта

2. $I_{\text{обр}}$ при заданном $U_{\text{обр}}$. У идеального $I_{\text{обр}} \approx 0$, у реальных – от долей микроампера до миллиампер. Задание этих параметров есть задание сопротивлений

$R_{\text{пр}}=U_{\text{пр}}/I_{\text{пр}}$; $R_{\text{обр}}=U_{\text{обр}}/I_{\text{обр}}$

3. Максимальная частота работы диода f_d – частота, на которой U_0 уменьшается в $\sqrt{2}$ раз по сравнению с U_0 на низких частотах для вполне определенной схемы выпрямителя.

Обычно значение не выше 50кГц

4. Параметры, характеризующие температурные зависимости: ТКН ($\alpha_n=2\text{мВ}^{\circ}\text{C}$) для $U_{\text{пр}}$, α_i , $^{\circ}\text{C}$ для $I_{\text{обр}}$. Для зависимости тока от температуры используются две аппроксимации:
 $I_{\text{обр}}(t)=I_{\text{обр}}(20^{\circ}\text{C})\exp(\Delta t\alpha_i)$, $\alpha_i=11\dots 14^{\circ}\text{C}$ или $I_{\text{обр}}(t)=I_{\text{обр}}(20^{\circ}\text{C})\cdot 2^{\Delta t/10}$

Б) предельные эксплуатационные параметры

1. $T_{\text{макс,обр}}$ макс, "спр" макспр – наибольшее значение выпрямленного тока в однополупериодной схеме

2. $I_{\text{макс}}$ – максимальное амплитудное значение тока

3. $U_{\text{обр}} \text{ макс} = f(t, {}^{\circ}\text{C})$ – максимальное обратное напряжение для нормальной температуры.
Это десятки – сотни вольт

4. $I_{\text{ср}} \text{ макс}$ – десятки мА – десятки А

5. $T_{\text{макс}}=70-85$ для Ge и 120-170 для Si

Если $U_{\text{обр}} \text{ макс} < U_{\text{обр}}$, то применяют последовательное включение диодов.

Если $I_{\text{ср}} \text{ макс} < I_{\text{ср}}$ выпрямителя, то применяют параллельное включение диодов.

[В начало](#)

[В начало](#)

16. Почему у диодов в качестве предельных эксплуатационных параметров называется $I_{пр\ ср\ макс}$ и $I_{обр\ макс}$?

Предельные эксплуатационные параметры – значения, которые нельзя превышать, иначе прибор выйдет из строя. Для большинства диодов указываются:

- максимально допустимое постоянное обратное напряжение;
- максимально допустимый постоянный прямой ток;

[В начало](#)

[В начало](#)

17. Влияет ли на величину выходного напряжения емкость сглаживающего конденсатора, устанавливаемого на выходе выпрямителя? А каково это напряжение?

Конденсатор С – резервуар энергии. Когда диод открыт и ток протекает через нагрузку, то конденсатор (подсоединен параллельно) заряжается до величины напряжения в цепи. А когда диод закрыт (отрицательная волна синусоиды), благодаря наличию емкости, уровень напряжения не может резко снизиться. Конденсатор постепенно разряжается через нагрузку, таким образом, сглаживая огромные скачки уровня напряжения. Разряжается он до следующей положительной волны, а точнее, когда напряжение на катоде диода превысит напряжение на конденсаторе. И он вновь начнет заряжаться. Такая цикличность действий будет происходить постоянно.

[В начало](#)

[В начало](#)

18. Стабилитрон. ВАХ. Система параметров. Области применения.

Стабилитрон - полупроводниковый диод, работающий при обратном смещении в режиме пробоя. До наступления пробоя через стабилитрон протекают незначительные токи утечки, а его сопротивление весьма высоко. При наступлении пробоя ток через стабилитрон резко возрастает, а его дифференциальное сопротивление падает до величины, составляющей для различных приборов от долей Ома до сотен Ом. Поэтому в режиме пробоя напряжение на стабилитроне поддерживается с заданной точностью в широком диапазоне обратных токов. Основное назначение стабилитронов — стабилизация напряжения.

Основная область применения стабилитрона — стабилизация постоянного напряжения источников питания. В простейшей схеме линейного параметрического стабилизатора стабилитрон выступает одновременно и источником опорного напряжения, и силовым регулирующим элементом. В более сложных схемах стабилитрону отводится только функция источника опорного напряжения, а регулирующим элементом служит внешний силовой транзистор.

Параметрический стабилизатор представляет собой делитель напряжения, на вход которого подается входное нестабильное напряжение, а выходное стабилизированное напряжение снимается с нижнего плача делителя.

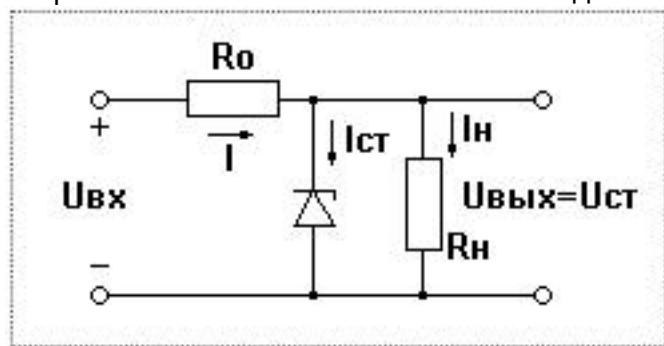


Схема параметрического стабилизатора напряжений состоит из балластного резистора R_o (для ограничения тока через стабилитрон), и стабилитрона, подключенного параллельно нагрузке, выполняющий основную функцию стабилизации:

Основным свойством стабилитрона, на базе которого функционирует параметрический стабилизатор напряжения, является то, что U на нем в рабочем диапазоне (от $I_{стmin}$ до $I_{стmax}$) остается практически прежним.

Основные параметры стабилитронов.

1. Напряжение стабилизации
2. Максимальный ток стабилизации
3. Минимальный ток стабилизации
4. Дифференциальное сопротивление
5. Температурный коэффициент напряжения стабилизации

[В начало](#)

[В начало](#)

19. Дать определение коэффициенту стабилизации параметрического стабилизатора напряжения. Какие существуют пути улучшения этого показателя?

Коэффициент стабилизации, равный отношению приращений входного и выходного напряжений. Коэффициент стабилизации характеризует качество работы стабилизатора.

$$K_{ст} = (\Delta U_{вх}/U_{вх})/(\Delta U_{вых}/U_{вых})$$

Использование стабилизатора позволяет значительно уменьшить

коэффициент пульсации ($k_n = \frac{U_{m1}}{U_0}$ - отношение амплитуды первой гармоники к постоянной составляющей), $R_{вых}$, а также зависимость U_0 от колебаний напряжения сети и тока нагрузки. Качество стабилизации оценивается коэффициентом стабилизации при постоянном токе нагрузки

$$k_{cm} = \frac{\Delta U_{вх.}}{U_{вх.ном.}} / \frac{\Delta U_{вых.}}{U_{вых.ном.}}$$

(здесь $\Delta U_{вых.}$ - приращение U_0 при изменении $U_{вх.}$ на величину $\Delta U_{вх.}$, $U_{вх.ном.}$ и $U_{вых.ном.}$ - номинальные значения напряжений). В параметрическом стабилизаторе (состоит из балластного сопротивления R_b и стабилитрона) увеличение балластного сопротивления приводит к увеличению коэффициента стабилизации:

$$k_{cm} = (R_b / r_{дин} + 1) \frac{U_{вых.ном.}}{U_{вх.ном.}}$$

(где $r_{дин}$ - динамическое сопротивление стабилитрона).

С целью увеличения коэффициента стабилизации возможно каскадное включение нескольких параметрических стабилизаторов напряжения.

[В начало](#)

[В начало](#)

20. Чем определяются высокое быстродействие и хорошие температурные свойства туннельного диода?

Хорошие температурные свойства объясняются тем, что изменения температуры слабо влияют на статическую характеристику и ее параметры. Это происходит потому, что оба слоя являются вырожденными полупроводниками - полуметаллами.

Высокое быстродействие объясняется тем, что р-п-переход в диоде очень узкий, и барьерная емкость имеет значительную величину. В эквивалентной схеме она подключается параллельно участку обратного сопротивления. Поэтому время переходных процессов очень мало. При этом усиливаемые и генерируемые частоты - сотни и тысячи мегагерц.



[В начало](#)

[В начало](#)

21. Варикап. Свойства, режимы работы, области применения.

Варикап – это полупроводниковый диод, в работе которого используется зависимость емкости р-п перехода от обратного напряжения.

Варикапы применяются в качестве элементов с электрически управляемой емкостью в схемах перестройки частоты колебательного контура, деления и умножения частоты, частотной модуляции и т.д.

Варикап можно рассматривать как конденсатор, емкость которого можно регулировать при помощи электрического сигнала. Максимальное значение емкости варикап имеет при нулевом обратном напряжении. При увеличении обратного напряжения емкость варикапа уменьшается. На рис показана зависимость емкости варикапа от приложенного напряжения.

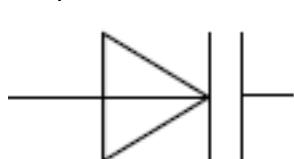


Рис. 31.
Варикап

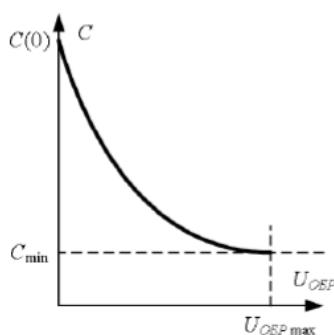


Рис. 32. Зависимость емкости варикапа от приложенного напряжения

Барьерная емкость перехода уменьшается по мере увеличения приложенного обратного напряжения за счет увеличения толщины перехода:

$$C(U_{obr}) = C(0) \left(\frac{\psi_k}{\psi_k + U_{obr}} \right)^{1/m}$$

Где U_{obr} - приложенное обратное напряжение; $C(U_{obr})$ - текущая емкость перехода при напряжении U_{obr} ; $C(0)$ - емкость при нулевом напряжении на диоде; ψ_k – контактная разность потенциалов

ТКЕ – температурный коэффициент емкости – отношение относительного изменения емкости к вызвавшему его абсолютному изменению температуры окружающей среды: $TKE = \Delta C / \Delta T^\circ$

Основными параметрами варикапа являются:

- начальная емкость варикапа $C(0)$;
- минимальная емкость при максимальном напряжении C_{min} ;
- коэффициент перестройки $K_c = C(0)/C_{min}$;
- добротность Q ;
- максимально допустимое обратное напряжение $U_{OBR max}$;
- максимально допустимая мощность P_{max} ;
- температурный коэффициент емкости TKE .

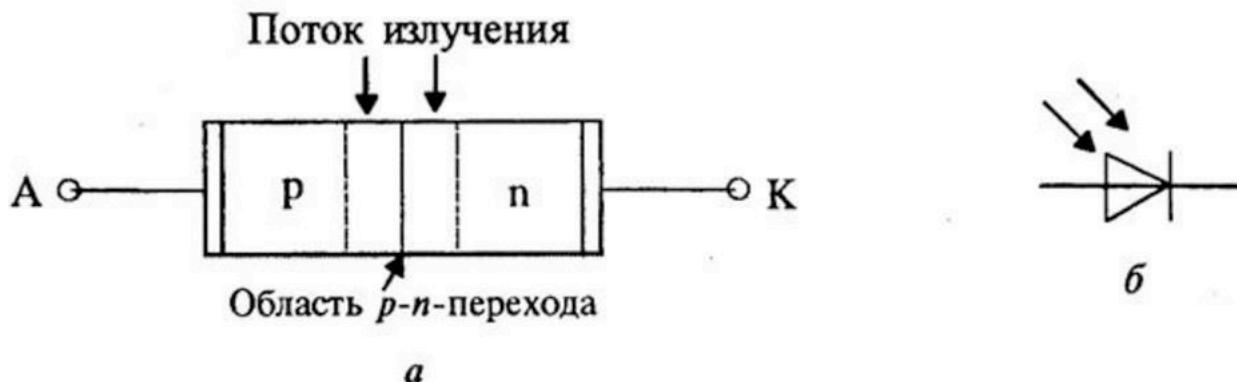
[В начало](#)

[В начало](#)

22. Фотодиод. Характеристики и параметры. Режимы работы. Области применения.

Фотодиод – полупроводниковый оптопреобразовательный прибор, в работе которого используется явления внутреннего фотоэффекта. Фотоэффект возникает непосредственно в зоне р-п перехода, поэтому для его возникновения фотодиод должен иметь оптический канал для проникновения излучения в зону перехода.

ФД преобразует световую энергию в энергию электрического тока. Под действием светового излучения в области р-п-перехода происходит ионизация атомов примеси, в результате чего генерируются носители заряда обоих типов – электрон и дырка, которые под действием электрического поля способны формировать во внешней цепи электрический фототок I_F .



Ис. 6.7. Структура (а) и обозначение (б) фотодиода

- Фотогенераторный (вентильный) (без внешнего источника питания).
- Фотопреобразовательный (фотодиодный) (с внешним источником питания). ФД, работающие в режиме фотогенератора, часто применяют в качестве источников питания, преобразующих энергию солнечного излучения в электрическую. Они называются солнечными элементами и входят в состав солнечных батарей, используемых на космических кораблях.

При работе фотодиода в режиме фотопреобразователя, источник питания Е включается в цепь в запирающем направлении (рис. 1, а). Используются обратные ветви ВАХ фотодиода при различных освещенностях

Вентильный режим характеризуется отсутствием источника внешнего напряжения в цепи. При этом внешнее сопротивление в общем случае может быть включено во внешнюю цепь. При разомкнутой внешней цепи ($R = \infty$) ток в ней отсутствует и напряжение на выводах фотодиода максимально. Эту величину называют вентильной фотоЭДС. Её можно определить непосредственно, подключая к выводам фотодиода вольтметр, но внутреннее сопротивление вольтметра должно быть много больше сопротивления р-п - перехода. При коротком замыкании напряжение на выводах фотодиода равно нулю и ток фотодиода определяется только фототоком. Эту величину называют током короткого замыкания фотодиода.

В фотодиодном режиме обычно используются достаточно большие обратные напряжения на р-п-переходе. При таких обратных напряжениях через диод в темноте протекает ток насыщения, а при освещении полный ток возрастает.

[В начало](#)

[В начало](#)

23. Биполярный транзистор. Устройство, принцип действия, особенности работы, разновидности, условное графическое изображение.

Биполярный транзистор Биполярный же транзистор представляет собой, говоря грубо, два диода с одним общим полупроводником р- или н-типа, т.е. онный содержит 2 р-п перехода, общая часть которых называется **базой**, а две другие - **коллектором и эмиттером**.

Принцип действия биполярного транзистора

Любой р-п переход транзистора работает аналогично **диоду**. При приложении к его полюсам разности потенциалов происходит его "смещение". Если приложенная разность потенциалов условно положительна, при этом р-п переход открывается, говорят, что переход смещён в прямом направлении. При приложении условно отрицательной разности потенциалов происходит обратное смещение перехода, при котором он запирается. Особенностью работы транзистора является то, что при **положительном смещении хотя бы одного перехода, общая область, называемая базой, насыщается электронами, или электронными вакансиями** (в зависимости от типа проводимости материала базы), что **обуславливает значительное снижение потенциального барьера второго перехода и как следствие, его проводимость при обратном смещении**.

Разновидности биполярных транзисторов

Биполярные транзисторы разделяют по различным признакам на виды:

- По материалу изготовления: кремний или арсенид галлия.
- По величине частоты: до 3 МГц – низкая, до 30 МГц – средняя, до 300 МГц – высокая, более 300 МГц – сверхвысокая.
- По наибольшей рассеиваемой мощности: 0-0,3 Вт, 0,3-3 Вт, выше 3 Вт.
- По типу прибора: 3 слоя полупроводника с последовательной очередностью типа проводимости.

Таблица 2. Особенности схем включения транзисторов

Тип соединения	Входное сопротивление	Выходное сопротивление	Усиление по напряжению	Усиление по току	Усиление по мощности
ОБ	Низкое	Высокое	Высокое	< 1	Среднее
ОЭ	Среднее	Среднее	Среднее	Среднее	Высокое
ОК	Высокое	Низкое	< 1	Среднее	Среднее

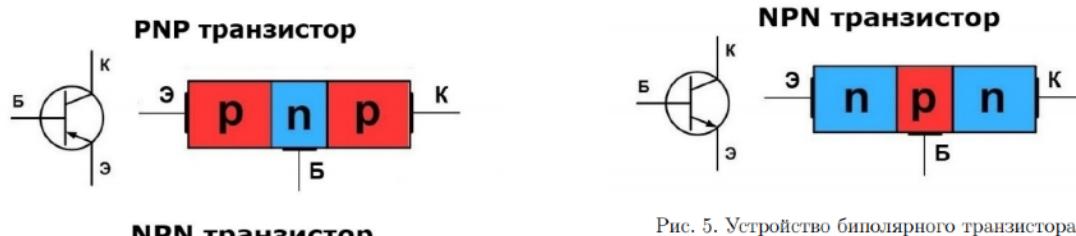


Рис. 5. Устройство биполярного транзистора

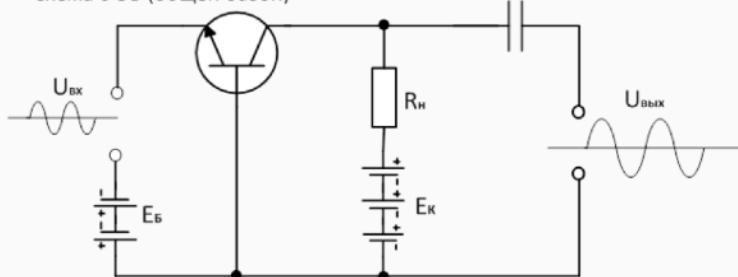
[В начало](#)

[В начало](#)

24. Способы включения биполярного транзистора в схемах.

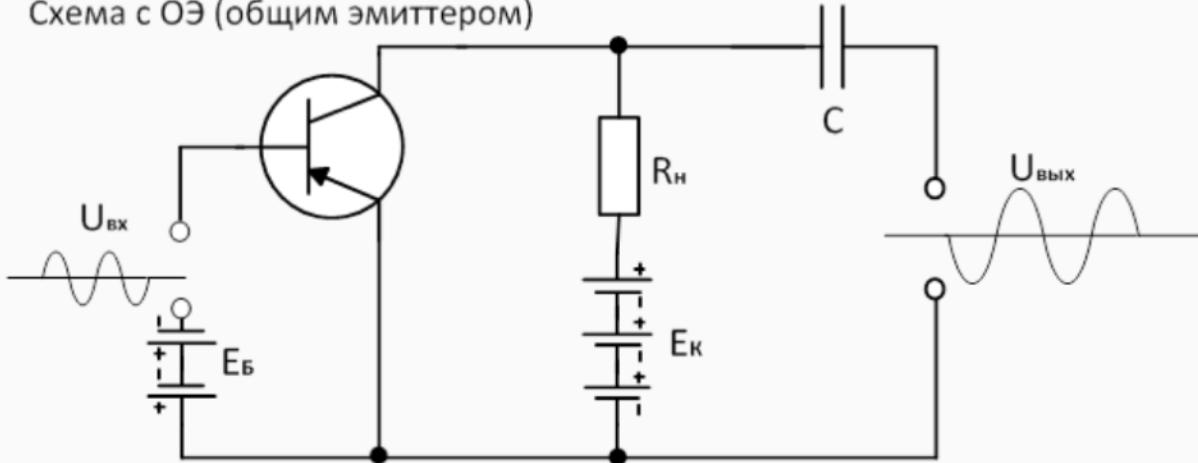
Транзистор имеет три электрода: эмиттер, базу и коллектор. На вход транзистора подводится входной сигнал, а с выхода снимается выходной. Для подачи входного сигнала нужны два электрода, а для снятия - еще два. Так как электродов у транзистора три, то один из них делают общим для входного и выходного сигналов. Существует несколько способов включения транзистора: схема с общей базой, схема с общим эмиттером, схема с общим коллектором. В каждой из этих схем один из выводов транзистора служит общей точкой, а два других являются входом и выходом.

Схема с ОБ (общей базой)



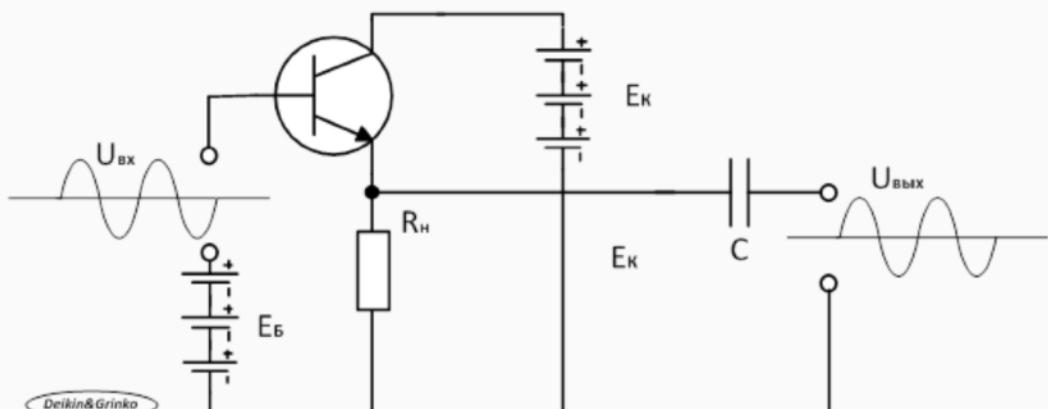
Входной сигнал подается в цепь Э-Б, а выходной получается в цепи К-Б.
База является общей для входа и выхода.

Схема с ОЭ (общим эмиттером)



Входной сигнал подается в цепь Э-Б, выходной сигнал снимается с нагрузки в цепи Э-К. Это наиболее широко применяемая схема.

Схема с ОК (общим коллектором)



Входной сигнал подается в цепь Б-К, а выходной снимается в цепи Э-К. Здесь коллектор является общим для входа и выхода. Служит для согласования входных и выходных сопротивлений каскадов.

[В начало](#)

[В начало](#)

25. Режимы работы биполярного транзистора и его свойства в разных режимах.

Усилительный или активный режим – на эмиттерный переход подано прямое напряжение, а на коллекторный – обратное.

Именно этот режим работы транзистора соответствует максимальному значению коэффициента передачи тока эмиттера. Ток коллектора пропорционален току базы, обеспечиваются минимальные искажения усиливаемого сигнала.

Инверсный режим – к коллекторному переходу подведено прямое напряжение, а к эмиттерному – обратное. Инверсный режим приводит к значительному уменьшению коэффициента передачи тока базы транзистора по сравнению с работой транзистора в активном режиме и поэтому на практике используется только в ключевых схемах.

Режим насыщения – оба перехода (эмиттерный и коллекторный) находятся под прямым напряжением. Выходной ток в этом случае не зависит от входного и определяется только параметрами нагрузки. Из-за малого напряжения между выводами коллектора и эмиттера режим насыщения используется для замыкания цепей передачи сигналов.

Режим отсечки – к обоим переходам подведены обратные напряжения. Так как выходной ток транзистора в режиме отсечки практически равен нулю, этот режим используется для размыкания цепей передачи сигналов.

Основным режимом работы биполярных транзисторов в аналоговых устройствах является активный режим. В цифровых схемах транзистор работает в ключевом режиме, т.е. он находится только в режиме отсечки или насыщения, минуя активный режим.

[В начало](#)

[В начало](#)

26. Привести универсальную эквивалентную схему биполярного транзистора и перечислить его параметры, используемые в этой схеме.

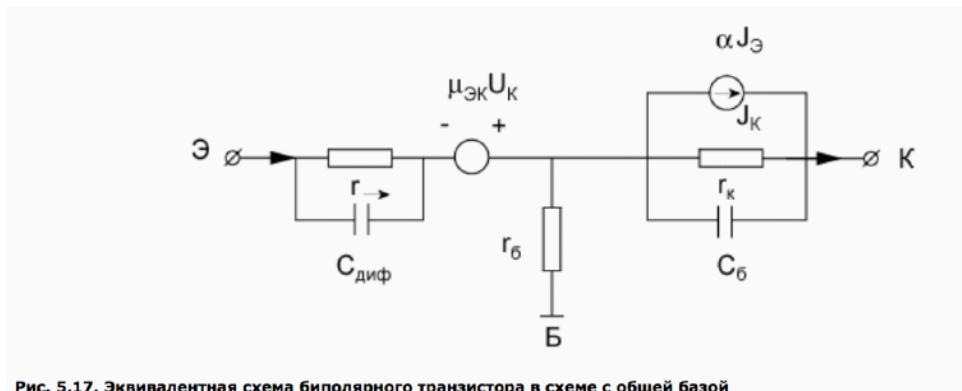


Рис. 5.17. Эквивалентная схема биполярного транзистора в схеме с общей базой

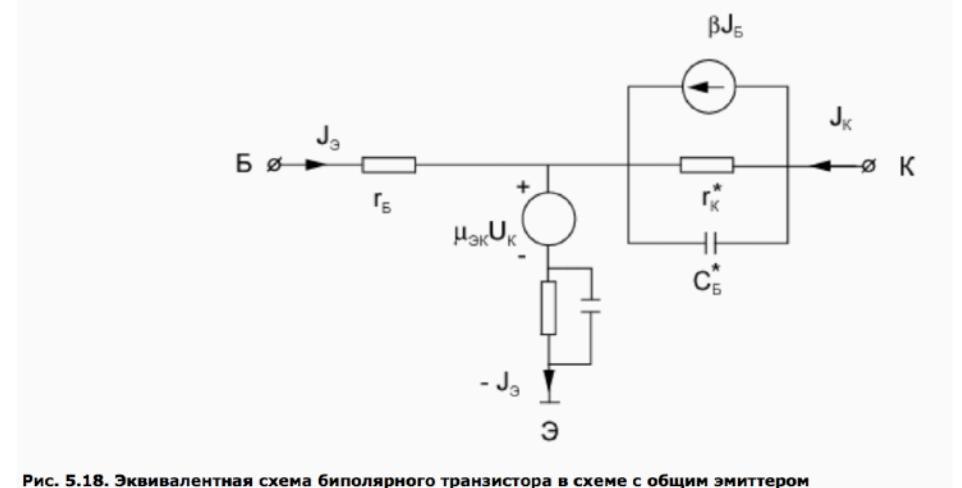


Рис. 5.18. Эквивалентная схема биполярного транзистора в схеме с общим эмиттером

Основные параметры эквивалентной схемы транзистора выражаются через конструктивно-технологические параметры следующим образом:

$$r_3 = \frac{kT}{q} \frac{1}{I_3}; \quad r_k = \sqrt{\frac{2qN_D}{\varepsilon_s \varepsilon_0}} \cdot \frac{L_p^2}{W} \cdot \frac{\sqrt{|U_k|}}{\gamma}; \quad \mu_{\text{эк}} = -\sqrt{\frac{\varepsilon_s \varepsilon_0}{q N_{DE}}} \frac{kT/q}{W \sqrt{|U_k|}};$$

$$\alpha = \frac{\partial J_{sp}}{\partial J_3} \frac{\partial J_k}{\partial J_{sp}} = \gamma \cdot \kappa; \quad \gamma = \frac{dJ_{sp}}{dJ_3} = 1 - \frac{N_{DE}}{N_{A3}}; \quad \kappa = \frac{dJ_k}{dJ_{sp}} = 1 - \frac{1}{2} \frac{W^2}{L^2}.$$

Величины коэффициентов α , r_3 , r_k , $\mu_{\text{эк}}$ для биполярного транзистора лежат в пределах:

$$\alpha = 0,95 \div 0,995, \quad r_3 = 1 \div 10 \text{ Ом}, \quad r_k = 10 \div 10^6 \text{ Ом}, \quad \mu_{\text{эк}} = 10^{-3} \div 10^{-5}.$$

Для биполярного транзистора в схеме с общим эмиттером эквивалентная схема выглядит аналогично.

Основные параметры эквивалентной схемы имеют тот же вид, что и в схеме с общей базой, кроме C_k^* и r_k^* , равных: $C_k^* = C_k(\beta + 1)$, $r_k^* = r_k(\beta + 1)$.

[В начало](#)

[В начало](#)

27. Какова физическая структура и принцип действия биполярного транзистора?

Биполярный транзистор представляет собой полупроводниковый элемент, имеющий трехслойную структуру, которая образует два **электронно-дырочных перехода**. Поэтому транзистор можно представить в виде двух встречно включенных диода. В зависимости от того, что будет являться основными носителями заряда, различают **p-n-p** и **n-p-n** транзисторы.

Принцип действия биполярного транзистора

Любой p-n переход транзистора работает аналогично **диоду**. При приложении к его полюсам разности потенциалов происходит его "смещение". Если приложенная разность потенциалов условно положительна, при этом p-n переход открывается, говорят, что переход смещён в прямом направлении. При приложении условно отрицательной разности потенциалов происходит обратное смещение перехода, при котором он запирается. Особенностью работы транзистора является то, что **при положительном смещении хотя бы одного перехода, общая область, называемая базой, насыщается электронами, или электронными вакансиями** (в зависимости от типа проводимости материала базы), что **обуславливает значительное снижение потенциального барьера второго перехода и как следствие, его проводимость при обратном смещении**.

[В начало](#)

[В начало](#)

28. Чем отличаются эквивалентные схемы для большого и малого сигнала у биполярного транзистора?

На рис. 3 приведены типичные вольтамперные характеристики транзисторов. На рис.3,а изображены характеристики биполярного транзистора при различных значениях тока управления базы. На этих характеристиках можно выделить три области: область насыщения при малых напряжениях между коллектором и эмиттером, активную область и область отсечки (или пробоя) при больших напряжениях между коллектором и эмиттером.

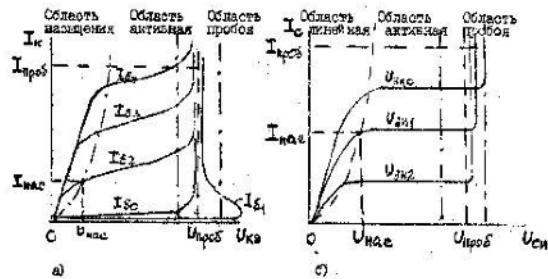


Рис.3

В области насыщения транзистор можно рассматривать как управляемый резистивный элемент с малым значением сопротивления. Эта область характеризуется напряжением U_{nac} и током I_{nac} насыщения при заданном значении тока I_b базы. В активной области транзистор можно рассматривать как линейный четырехполюсник, причем наиболее часто для описания биполярного транзистора используют систему Н-параметров четырехполюсника.

В области отсечки или пробоя характерными значениями являются напряжение $U_{проб}$ пробоя и ток $I_{проб}$. Напряжение пробоя зависит от тока базы и увеличивается при отрицательном значении тока базы. Длительное пребывание транзистора в области пробоя может привести к повреждению прибора из-за его перегрева.

[В начало](#)

[В начало](#)

. Какой параметр биполярного транзистора отражает его усилительные свойства? Каким образом (меняя структуру прибора) его можно изменять?

Усилительные свойства транзистора можно характеризовать тремя параметрами:

$$K_I = \frac{I_{\text{вых}}}{I_{\text{вх}}}$$

- коэффициентом усиления по току;

$$K_U = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}}$$

- коэффициентом усиления по напряжению;

$$K_P = \frac{P_{\text{вых}}}{P_{\text{вх}}} = K_I \cdot K_U$$

- коэффициентом усиления по мощности;

где $I_{\text{вх}}, I_{\text{вых}}, U_{\text{вх}}, U_{\text{вых}}$ - амплитуды или действующие значения входного и выходного переменного токов и напряжений.

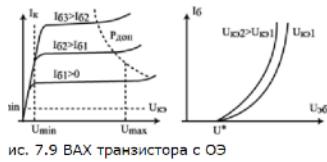
Для расчета усилительных свойств во входную цепь транзистора во всех трех схемах включения включается генератор ЭДС для задания переменного входного сигнала, а во выходную цепь - нагрузочный резистор R_L на котором выделяется переменный выходной сигнал (см. рис. 3.4-3.6).

[В начало](#)

[В начало](#)

. Привести систему ВАХ биполярного транзистора и показать какую информацию и как из них можно извлечь?

Биполярный транзистор характеризуется двумя ВАХ, вид которых зависит от схемы включения и типа транзистора – п-п-п или п-п-н-структуры. ВАХ биполярного транзистора п-п-н-структуры в схеме с ОЭ показаны на рис. 7.9. Первое слева семейство характеристик называется выходными ВАХ, а второе семейство – входными характеристиками. Из выходных ВАХ видно, что ток коллектора I_C увеличивается при увеличении тока базы I_B . При увеличении напряжения U_{CE} ток коллектора сначала растет, а затем становится постоянным. На выходных ВАХ можно выделить пять областей. Область, для которой ток $I_C < I_{sat}$ соответствует режиму отсечки. Область, в которой напряжение $U_{CE} < U_{be}$ определяет режим насыщения. Область $U_{CE} > U_{ceo}$ принадлежит режиму электрического пробоя р-п-перехода транзистора разрушается. Оставшаяся область, ограниченная указанными выше режимами, соответствует активному режиму и обычно является рабочей областью транзистора в усилительном режиме. Также, в ключевых схемах транзистор может работать в режиме насыщения и отсечки.



ис. 7.9 ВАХ транзистора с ОЭ

[В начало](#)

[В начало](#)

31. Почему у транзисторных каскадов ОЭ и ОБ одинаковые коэффициенты усиления по напряжению?

Каскад ОЭ (каскад с общим эмиттером) – каскад, у которого входной сигнал подаётся на базу, а снимается с коллектора. При этом выходной сигнал инвертируется относительно входного (для гармонического сигнала фаза выходного сигнала отличается от входного на 180°). Каскад усиливает и ток, и напряжение.



Рисунок 1.21 - Каскад с общим эмиттером

Анализ схемы: C_{p1}, C_{p2} – разделительно – связующие конденсаторы, необходимые чтобы исключить влияние нагрузки и источника сигнала на режим работы каскада по постоянному току.

Описание элементов: $R1, R2$ – сопротивления по переменному току, подключенные параллельно между базой и эмиттером.

Rk, Rh – сопротивления, подключенные параллельно между коллектором и эмиттером.

$r_b, r_e, r_k(\beta)$ – дифференциальное сопротивление базы, эмиттерного, коллекторного перехода.

$\beta * I_b$ – эквивалентный источник тока, $C_k(\beta)$ – ёмкость коллекторного перехода.



Рисунок 1.22 - Эквивалентная схема замещения каскада с общим эмиттером

1) **Входное сопротивление каскада ОЭ:**

$$R_{bx} = (R1 || R2 || r_{bx})$$

2) Для входной цепи можно записать:

$$U_{63} = I_b r_b + I_3 r_3.$$

Если учесть, что $I_3 = (\beta + 1)I_b$, то

$$U_{63} = I_b [r_b + (\beta + 1)r_3]$$

3) **Входное сопротивление транзистора:** $\frac{U_{63}}{I_b} = r_{bx} = r_b + r_3(\beta + 1)$

4) **Коэффициент усиления по току K_i :** $K_i = \frac{I_H}{I_{bx}}$

Из схемы замещения: $I_b r_{bx} = I_{bx} R_{bx}$, $I_{bx} = I_b \frac{r_{bx}}{R_{bx}}$. Ток нагрузки находим путем

анализа выходной эквивалентной схемы (т.к. r_β весьма мало), то $I_H R_H = \beta I_b (r_{k3} || R_K || R_H) \Rightarrow I_H = \beta I_b \frac{(r_{k3} || R_K || R_H)}{R_H}$

$$\Leftrightarrow K_i = \beta \frac{R_{bx}}{r_{bx}} * \frac{R_K || R_H}{R_H}$$

Таким образом, коэффициент усиления по току каскада с общим эмиттером пропорционален коэффициенту β транзистора, зависит от шунтирующего действия входного делителя и величины сопротивлений R_k, R_h . Для ориентировочной оценки K_i можно принять $R_{bx} \approx r_{bx}$, тогда коэффициент усиления по току: $K_i = \beta * \frac{R_k || R_H}{R_H}$, т.е. он довольно велик и стремится в пределы к коэффициенту усиления транзистора β при $R_K || R_H$.

4) **Коэффициент усиления по напряжению схемы ОЭ:** $K_u = \frac{U_{\text{вых}}}{E_r} = \frac{I_H R_H}{I_{bx} (R_h + R_{bx})} = K_i \frac{R_H}{R_h + R_{bx}}$

Коэффициент усиления каскада по напряжению тем больше, чем выше коэффициент β транзистора и сопротивление выходной цепи по сравнению с сопротивлением входной цепи. В частности, коэффициент усиления по напряжению возрастает с уменьшением внутреннего сопротивления источника сигнала.

[В начало](#)

одинаковых деталей?

5.1. Каскад с общим эмиттером.

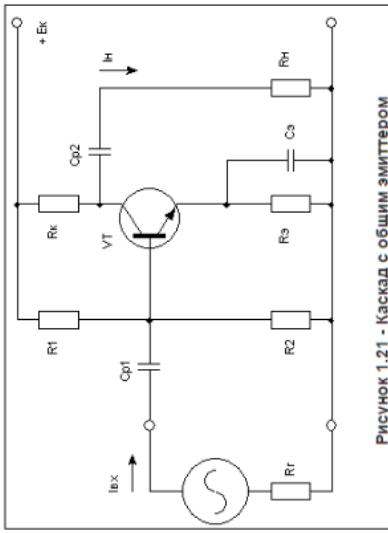


Рисунок 1.21 · Каскад с общим эмиттером

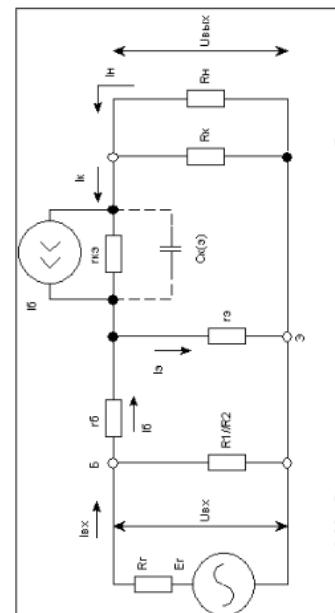


Рисунок 1.22 · Эквивалентная схема замещения каскада с общим эмиттером

Коэффициент усиления по току: $K_t = \frac{I_H}{I_{Bx}}$. Из эквивалентной схемы замещения: $I_{Bx} = I_{Bx} R_{Bx} \Rightarrow I_{Bx} = \frac{I_{Bx}}{R_{Bx}} R_{Bx} = \frac{I_H}{R_H} R_{Bx}$.

Так напружи может быть найден путем анализа выходной цепи эквивалентной схемы рис. 1.22. Так как сопротивление r_3 весьма мало по сравнению с сопротивлениями эмиттерных эмиттеров выходной цепи, можно записать: $I_{H} R_H = I_{Bx} (r_{k(\beta)} || R_{H})$ и $I_H = I_B \beta \frac{r_{k(\beta)} || R_{H}}{R_H}$.

Таким образом, коэффициент усиления по току каскада с общим эмиттером пропорционален коэффициенту β транзистора, зависит от погонного действия входного джиттера и величины сопротивлений R_k , R_H . Для ориентировочной оценки K_t можно принять $R_{Bx} \approx r_{k(\beta)}$, тогда коэффициент усиления по току $K_t = \frac{\beta R_k || R_H}{R_k || R_H}$, т.е. он довольно велик и стремится в пределе к коэффициенту усиления транзистора β при

5.2. Каскад с общим коллектором.

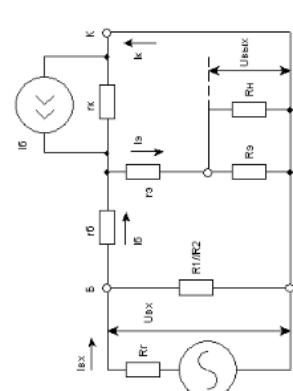
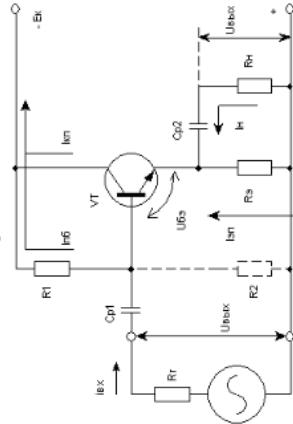


Рисунок 1.23 · Схема усилительного каскада ОК (а) и его схема замещения (б)

Коэффициент усиления по току можно определить, используя эквивалентную схему замещения, аналогично каскаду ОК $K_t = \frac{I_H}{I_{Bx}}$. Ток нагрузки является частью эмиттерного тока транзистора, поэтому: $I_H R_H = I_g (R_3 || R_H)$, откуда: $I_H = (1 + \beta) I_g \frac{R_3 || R_H}{R_H}$. Выразив аналогично схеме ОЭ ток базы через входной ток каскада получаем: $I_H = I_{Bx} (1 + \beta) \frac{R_{Bx} R_3 || R_H}{R_{Bx} R_H}$. Разделив левую и правую часть уравнения на I_{Bx} имеем: $K_t = (1 + \beta) \frac{R_{Bx} R_3 || R_H}{R_{Bx} R_H}$, т.е. коэффициент усиления каскада ОК зависит от соотношений R_{Bx} и $r_{k(\beta)}$, а также R_3 и R_H . Если предположить, что $R_{Bx} \approx r_{k(\beta)}$, имеем: $K_t = (1 + \beta) \frac{R_3 || R_H}{R_H}$. Таким образом, каскад ОК обеспечивает усиление по току, причем при $R_3 = R_k$ и одинаковых значениях R_H коэффициенты усиления по току в схемах ОК и ОЭ примерно одинаковы.

[В начало](#)

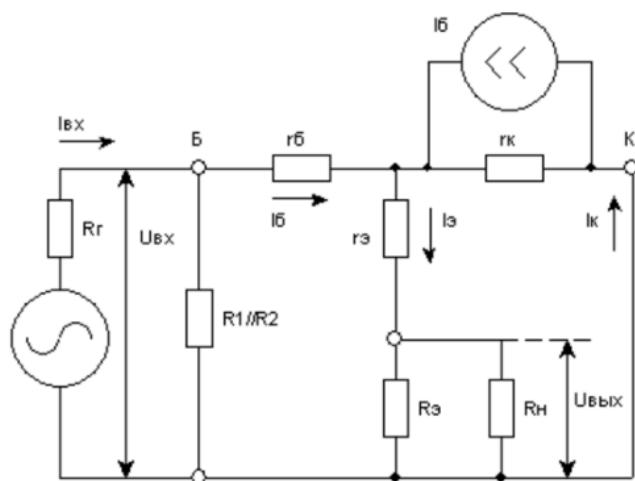
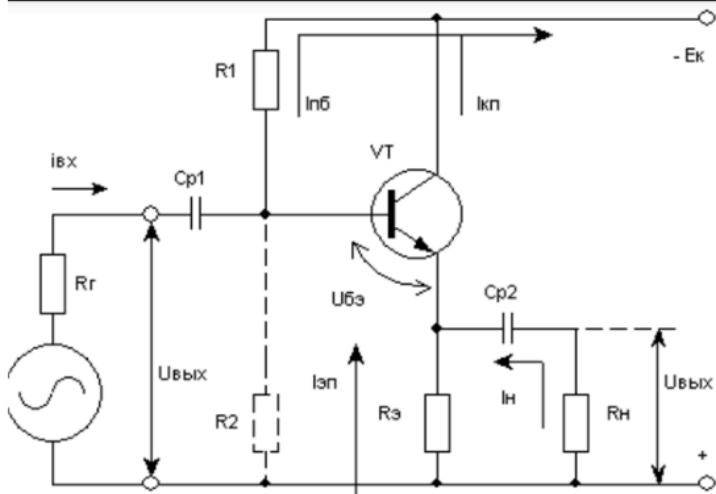
32. А у какого каскада ОЭ или ОК больше коэффициент усиления по току (каскады состоят из одинаковых деталей)?

[В начало](#)

[В начало](#)

33. Почему усиленный каскад ОК не может иметь коэффициент усиления по напряжению больше 1?

Каскад с общим коллектором (ОК) – схема подключения, при которой, напряжение питания подается на коллектор, входной сигнал подается на базу, а выходной сигнал снимается с эмиттера. Нагрузка подключается в цепь эмиттера, входным напряжением является напряжение между базой и корпусом, выходным напряжением – между эмиттером и корпусом.



Коэффициент усиления по току можно определить, используя эквивалентную схему замещения, аналогично каскаду ОК $K_i = \frac{I_H}{I_{BX}}$. Ток нагрузки является частью эмиттерного тока транзистора, поэтому: $I_H R_H = I_E (R_E || R_H)$ откуда: $I_H = (1 + \beta) I_E \frac{R_E R_H}{R_H}$. Выразив аналогично схеме ОЭ ток базы через входной ток каскада получаем: $I_H = I_{BX} (1 + \beta) \frac{R_{BX} R_E || R_H}{r_{BX} R_H}$. Разделив левую и правую часть уравнения на I_{BX} имеем: $K_i = (1 + \beta) \frac{R_{BX} R_E || R_H}{r_{BX} R_H}$, т.е. коэффициент усиления каскада ОК зависит от соотношений R_{BX} и r_{BX} , а также R_E и R_H .

Если предположить, что $R_{BX} \approx r_{BX}$, имеем:

$$K_i \approx (1 + \beta) \frac{R_E || R_H}{R_H}$$
.

Таким образом, каскад ОК обеспечивает усиление по току, причем при $R_E = R_K$ и одинаковых значениях R_H коэффициенты усиления по току в схемах ОК и ОЭ примерно одинаковы.

[В начало](#)

[В начало](#)

34. Почему усилительный каскад ОБ имеет коэффициент усиления по току меньше 1?

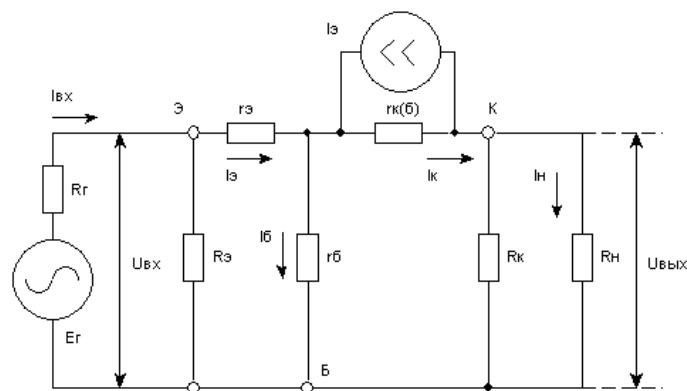
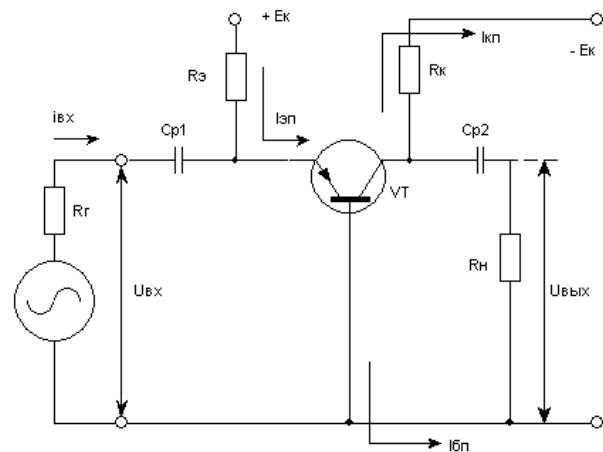


Рисунок 1.24 - Схема усилительного каскада с общей базой(а) и его схема замещения (б)

Коэффициент усиления по переменному току можно найти, исходя из того, что $I_{\text{вх}} \approx I_3$ (т.к. $R_{\text{вх}} \approx r_3$) и $I_k = \alpha I_3$. Так как коллекторный ток делится между R_k и $R_H \Rightarrow K_i \approx \frac{R_k || R_H}{R_H}$, где R_H значительно больше чем R_k , а $\alpha \approx 0,9 \div 0,9999 \Rightarrow K_i < 1$

[В начало](#)

[В начало](#)

35. Какому каскаду и почему следует отдать предпочтение при желании иметь в нагрузке максимальную мощность?

Так как коэффициент усиления по мощности – это произведение коэффициента усиления по току и коэффициента усиления по напряжению ($K_p = K_i K_u$), а коэффициенты усиления по напряжению и току имеют максимальное значение у каскада с ОЭ, то в случае, если мы хотим иметь максимальную мощность, то мы должны использовать именно его.

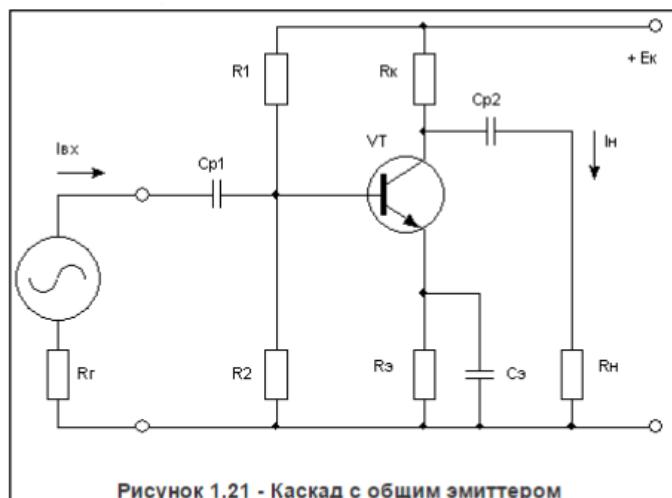


Рисунок 1.21 - Каскад с общим эмиттером

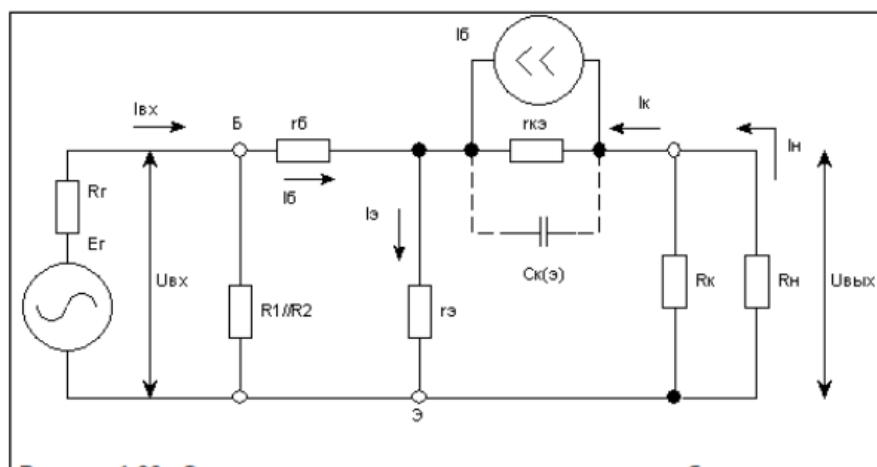


Рисунок 1.22 - Эквивалентная схема замещения каскада с общим эмиттером

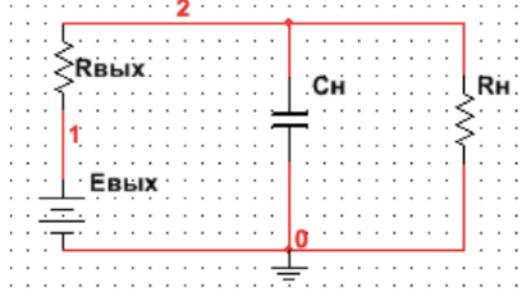
$$K_i = \beta \frac{R_k || R_H}{R_H}$$
$$K_u = \frac{U_{\text{вых}}}{E_g} = \frac{I_H R_H}{I_{Bx}(R_g + R_{Bx})} = K_i \frac{R_H}{R_g + R_{Bx}}$$

[В начало](#)

[В начало](#)

36. Могут ли каскады ОБ и ОЭ иметь одинаковые верхние граничные частоты?

О частотных свойствах транзистора судят по граничной частоте f_α , при которой коэффициент передачи уменьшается в $\sqrt{2}$ раз. Частота f_α входит в число основных параметров транзистора и определяет его частотные свойства. При этом схема включения транзистора с общей базой имеет максимальную граничную частоту. Что касается схемы с общим эмиттером, то граничная частота: $f_\beta = \frac{f_\alpha}{1+\beta}$, т.е. частотные свойства схемы с общим эмиттером значительно хуже.



ВЧ:

$\tau_B = G_{(OЭ/OБ)}(\tau_B + C_{KЭ}R_{KH}) + C_H R_{KH}$, где $C_{KЭ}R_{KH}$ – инерционность эмиттерного перехода, $C_H R_{KH}$ - инерционность коллекторного перехода.

$G_{OЭ} = \frac{R'_\Gamma + r_6 + r_3}{R'_\Gamma + r_6 + r_3(1+B)}$ и $G_{OБ} = \frac{R'_\Gamma + r_6 + r_3}{R'_\Gamma(B+1) + r_6 + r_3(1+B)}$. Если $R'_\Gamma \rightarrow \infty$, то $G_{OЭ} = 1, G_{OБ} = \frac{1}{1+B}$.

Если $R'_\Gamma \rightarrow 0$, то $G_{OЭ} = \frac{1}{1+B}, G_{OБ} = \frac{1}{1+B}$. G принимает значения $0.2 \div 0.5$ и 1 . Когда G равно 1 , то это плохо влияет на схему на ВЧ. Поэтому частотные свойства схемы с общим эмиттером значительно хуже.

[В начало](#)

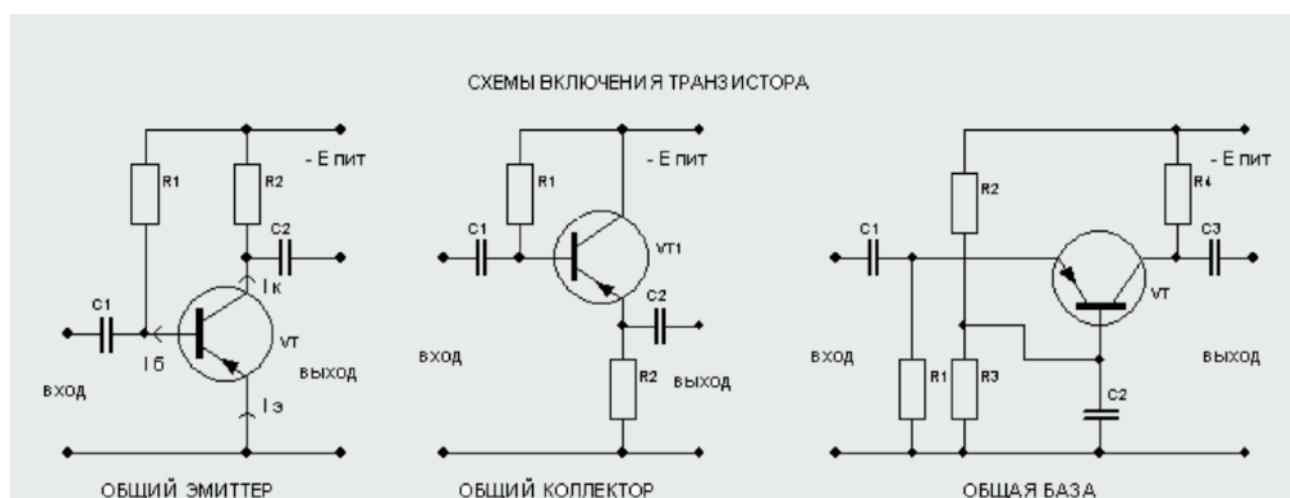
[В начало](#)

37. Какой из каскадов ОЭ, ОБ или ОК имеет наименьшее выходное сопротивление и как его вычислить?

38. Какой из каскадов ОЭ, ОБ или ОК имеет наибольшее входное сопротивление? Как оно исчисляется?

Наименьшее выходное сопротивление имеет каскад с общим коллектором, и вычисляется формулой:

$$R_{\text{выходOK}} = \frac{r_3 \cdot R_1}{r_3 + R_1} , \text{ где } r_3 = \frac{26 \text{ мВ}}{i_3} \text{ а } R_1 - \text{входное Сопротивление.}$$



Соответственно, наибольшее входное сопротивление имеет транзистор с общим коллектором (как и в прошлом пункте).

Входное сопротивление у схемы очень большое. $R_{\text{ВХ}}$ определяется, как в схеме с ОЭ, параллельным соединением $R_{\text{Б1}}, R_{\text{Б2}}$ и эквивалентного сопротивления транзистора $r_{\text{БЭ}} = I_{\text{Б}}/U_{\text{БЭ}}$. В схеме с ОК такой же, как и в схеме с ОЭ, порядок величин $I_{\text{Б}}$, но к тому же мало меняется $U_{\text{БЭ}}$ (так как при подаче входного переменного сигнала $f_{\text{Б}}$ и $f_{\text{Э}}$ изменяются синхронно). Обычно $R_{\text{ВХ}}$ схемы с общим коллектором составляет килоомы-десятки килоом.

$$1/R_{\text{ВХ}} = 1/R_{\text{Б1}} + 1/R_{\text{Б2}} + 1/r_{\text{БЭ}}$$

Параметры	Сравнительные показатели свойств транзисторов в схемах		
	с общей базой	с общим эмиттером	с общим коллектором
Коэффициенты передачи по току	0,6 — 0,95	Десятки — сотни	Больше, чем в схеме с ОЭ
усиления по напряжению	Тысячи	Меньше, чем в схеме с ОБ	0,7 — 0,99
усиления по мощности	Менее чем на схеме с ОЭ	Большое (тысячи)	Меньше, чем в схеме с ОЭ
Сопротивление:			
входное	Малое (единицы — десятки омов)	Большое (десятки — тысячи омов)	Большое (сотни килоомов)
выходное	Большое (тысячи омов — единицы мегаомов)	Сотни омов, — десятки килоомов	Единицы омов — десятки килоомов
Сдвиг фаз	0°	180°	0°

[В начало](#)

[В начало](#)

39. Если ошиблись в назначении сопротивления резистора R_E усилительного каскада, то к чему это может привести?

Резистор в цепи эмиттера R_E необходим для задания коэффициента усиления, увеличения входного сопротивления и для температурной стабилизации работы усилителя. Отметим, что если не использовать R_E , коэффициент усиления будет максимальным для данного транзистора, но будет наблюдаться высокая температурная нестабильность.

[В начало](#)

[В начало](#)

40. Если ошиблись в назначении сопротивления резистора R_k усилительного каскада, то к чему это может привести?

R_k является нагрузкой усилителя. Т.к. напряжение источника питания E_k постоянное, изменение коллекторного напряжения равно изменению напряжения на резисторе коллекторной нагрузки, т.е. $U_k = I_k \cdot R_k$. Из этого выражения видно, что чем больше сопротивление резистора R_k , тем сильнее изменяется на нем напряжение и тем больше будет усиление. Однако увеличивать сопротивление резистора R_k можно лишь до некоторого предела, превышение которого может привести даже к снижению усиления и появлению больших искажений усиливаемого сигнала.

[В начало](#)

[В начало](#)

41. Если транзистор имеет большой разброс коэффициента усиления по току В, то на каких параметрах и как это скажется?

Коэффициент В транзистора – это коэффициент усиления транзистора по току. Показывает во сколько раз ток коллектора больше тока базы. Для согласованной работы нескольких транзисторов в каскадах, их подбор часто начинают по коэффициенту усиления. Учитывая большой разброс параметров В, важно точно знать этот параметр у каждого транзистора.

$$\beta = \frac{I_k}{I_b}$$

Коэффициент усиления зависит не только от тока на входе, но и от температуры.

[В начало](#)

[В начало](#)

42. Как стабилизируется положение рабочей точки в транзисторном каскаде на биполярном транзисторе?

Как известно, все параметры биполярного транзистора имеют сильную температурную зависимость. Если не предусмотреть специальные схемы стабилизации, то рабочая точка в зависимости от температуры будет передвигаться, что может привести к выходу ее за пределы рабочей области характеристики.

Широкое применение находят **коллекторная** и **эмиттерная** схемы стабилизации режимов работы транзисторов. Надо отметить, что все схемы стабилизации реализованы с использованием **отрицательной обратной связи** по постоянному току.

Коллекторная: При повышении температуры увеличивается ток коллектора, следовательно, возрастает падение напряжения на сопротивлении нагрузки, вследствие чего уменьшается потенциал коллектора. Это приводит к уменьшению напряжения смещения, следовательно, к уменьшению тока коллектора.

Эмиттерная: Стабилизация осуществляется введением в схему последовательной отрицательной обратной связи (ООС) по постоянному току. Для этого в схему усилительного каскада в цепь эмиттера добавлен резистор R_E . Обратная связь представляет собой процесс подачи выходного напряжения усилительного каскада на его вход.

[В начало](#)

[В начало](#)

43. Влияет ли коэффициент усиления по току В на коэффициент усиления по напряжению в каскадах на биполярных транзисторах?

Коэффициент усиления транзистора по току – отношение изменения соответствующего показателя в цепи коллектора и в цепи базы.

Для схем с общей базой этот коэффициент обозначается буквой α (h_{fB} или h_{21B}), с общим эмиттером буквой β (h_{fE} или h_{21E}).

Рассмотрим три каскада:

1) Каскад с ОЭ: $K_u = \frac{B * R_K || R_n}{r_3 * (B+1) + r_6}$, если r_b мало, то $K_u = \frac{R_K || R_n}{r_3}$

Т.о. K_u не зависит от B , где $B = \frac{I_K}{I_B}$

Пусть $R_n \rightarrow \infty$ ($R_r = 0$): $K_u = \frac{R_K}{r_3}, r_3 = \frac{\varphi T}{I_{E\text{раб.точки}}}$

Т.к $\alpha = \frac{B}{B+1} \Rightarrow K_u = \frac{\alpha * R_K * I_{E\text{раб.точки}}}{\varphi T} = \frac{R_K I_K}{\varphi T} = \frac{E_K}{2 * \varphi T}$.

2) Каскад с ОБ:

если r_b мало, то

$$K_U = \frac{B * R_{kn}}{r_e * (B+1)} \approx \frac{R_{kn}}{r_e}$$

Не зависит от B .

$$K_{IO} = \frac{R_E * \alpha * R_{kn}}{R_E + \frac{R_{in,tr.}}{(B+1)}}$$

$$\frac{R_{..}}{(B+1)} = \frac{r_b}{(B+1)} + r_e \approx r_e \rightarrow 0$$

следовательно:

$$K_{IO} = \frac{R_E * \alpha * R_{kn}}{R_E + 1}$$

3) Каскад ОК (всё аналогично):

$$K_U = \frac{R_{En} * (B+1)}{r_b + r_e * (B+1) + R_{En} * (B+1)} \approx \frac{R_{En}}{r_e + R_{En}}$$

следовательно не зависит от B .

$$K_{IOK} = \frac{R_b * (B+1) * R_e}{[R_b + R_{in,tr.} + R_{En} * (B+1)] * (R_e + R_n)} = \\ = \frac{R_b * (B+1) * R_e}{(B+1)[\frac{R_b+r_b}{B+1} + r_e + R_{En}] * (R_e + R_n)} = \frac{R_b * R_e}{(r_E + R_{En})(R_E + R_n)}$$

[В начало](#)