

В. И. ПОЛЕЩУК

ЗАДАЧНИК ПО ЭЛЕКТРОНИКЕ

Допущено

*Экспертным советом по профессиональному образованию
в качестве практикума для использования в учебном процессе
образовательных учреждений, реализующих программы
среднего профессионального образования
электротехнических специальностей*

2-е издание, исправленное



Москва
Издательский центр «Академия»
2011

УДК 621.38(075.32)

ББК 32.85я723

П498

Рецензенты:

зам. директора по учебно-воспитательной работе
ГОУ СПО «Московский политехнический колледж»,
преподаватель электротехнических дисциплин *Т. Ю. Симонова*;
директор ГОУ СПО Колледжа связи № 54 г. Москвы *И. А. Павлюк*

Полещук В. И.

П498 Задачник по электронике : практикум для студ. учреждений
сред. проф. образования / В. И. Полещук. — 2-е изд., испр. —
М : Издательский центр «Академия», 2011. — 160 с.

ISBN 978-5-7695-8458-9

Приведены краткие сведения о полупроводниковых приборах, аналоговых и цифровых устройствах. Содержащиеся в практикуме задания предназначены для регулярного контроля знаний студентов, проведения практических занятий, приема зачетов и экзаменов, а также для самостоятельной проработки материала студентами.

Практикум может быть использован при изучении общепрофессиональной дисциплины «Электротехника и электроника» в соответствии с ФГОС СПО для всех электротехнических специальностей.

Для студентов учреждений среднего профессионального образования.

УДК 621.38(075.32)

ББК 32.85я723

*Оригинал-макет данного издания является собственностью
Издательского центра «Академия», и его воспроизведение любым способом
без согласия правообладателя запрещается*

© Полещук В. И., 2008

© Образовательно-издательский центр «Академия», 2008

ISBN 978-5-7695-8458-9

© Оформление. Издательский центр «Академия», 2008

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящий практикум является сборником программированных вопросов и задач по курсам «Электротехника и электроника» и «Электроника», предназначенным для развития навыков самостоятельной работы студентов, контроля и самоконтроля знаний. Он может быть использован для создания программ безмашинного и машинного контроля успеваемости студентов.

В каждой задаче помимо условия приводятся необходимые схемы и графики и дается несколько ответов. В некоторых задачах требуется определить правильный ответ среди нескольких неправильных. В других задачах указаны правильные ответы и один неправильный, который и требуется определить. Неправильные ответы к задачам соответствуют типичным ошибкам, допускаемым студентами. Таким образом, материал закрепляется не только определением правильного ответа, но и отбрасыванием правдоподобных, но неправильных ответов.

Номера правильных ответов к задачам указаны в подразделе «Ответы и решения». Там же приведены решения задач, отмеченных буквой «Р». Необходимый справочный материал дан в приложениях.

В каждой главе задачника приведены основные расчетные формулы. В целях облегчения усвоения материала в задачах расширена информационная часть. В частности, не только изложены принципы построения аналоговых и цифровых устройств, но и рассмотрены вопросы применения этих устройств в схемах автоматики.

Как показывает опыт преподавания электроники, проведение программированного контроля знаний студентов повышает их интерес к изучаемому курсу, а также самостоятельность и активность.

1.1. Основные положения и расчетные формулы

Полупроводниковые диоды имеют вентильные свойства, которые используются для выпрямления переменного тока.

Сопротивление диода постоянному току определяется по формуле

$$R_0 = U_a / I_a,$$

где U_a — анодное напряжение в прямом направлении, В; I_a — анодный ток в прямом направлении, А.

Дифференциальное сопротивление диода

$$R_i = \Delta U_a / \Delta I_a,$$

где ΔU_a — изменение прямого анодного напряжения, В; ΔI_a — изменение прямого анодного тока, А.

Для работы диоды выбирают по прямому току и обратному напряжению.

Обратная характеристика диода имеет ограничение по максимальному напряжению, приложение которого вызывает пробой $p-n$ -перехода. Электрический пробой не опасен, в стабилитроне он даже является рабочим режимом. Тепловой пробой приводит к разрушению $p-n$ -перехода.

Следует различать статический и динамический режимы работы диода. В динамическом режиме (при приложении к диоду импульсного напряжения) переключение диода из проводящего состояния в закрытое происходит с запаздыванием. Величина этого запаздывания существенно меньше в диодах Шоттки. Другим преимуществом диода Шоттки является меньшее значение прямого падения напряжения [3, 4, 7, 10].

Транзисторы (от *англ.* transfer — переносить и resistor — сопротивление) — биполярные и полевые — являются усилительными приборами. Биполярные транзисторы управляются напряжением и током. Существуют три схемы включения биполярных транзисторов: с общим эмиттером (ОЭ) (основной усилительный каскад), с общей базой (ОБ) и с общим коллектором (ОК).

Входное сопротивление транзистора переменному току

$$R_{\text{вх}} = \Delta U_{\text{вх}} / \Delta I_{\text{вх}},$$

где $\Delta U_{\text{вх}}$ — изменение входного напряжения, В; $\Delta I_{\text{вх}}$ — изменение входного тока, А.

Коэффициент усиления транзистора по току в схеме с общей базой

$$\alpha = \Delta I_{\text{к}} / \Delta I_{\text{э}};$$

коэффициент усиления транзистора по току в схеме с общим эмиттером

$$\beta = \Delta I_{\text{к}} / \Delta I_{\text{б}},$$

где $\Delta I_{\text{к}}$, $\Delta I_{\text{э}}$, $\Delta I_{\text{б}}$ — изменения токов соответственно коллектора, эмиттера и базы.

Мощность потерь на коллекторе

$$P_{\text{к}} = U_{\text{к}} I_{\text{к}},$$

где $U_{\text{к}}$ — напряжение на коллекторе, В; $I_{\text{к}}$ — ток коллектора, А.

Характеристики транзисторов в целом нелинейны. Для аналитических расчетов устройств с транзисторами используют так называемые h -параметры, записываемые для линейной характеристики транзистора по его схеме замещения.

Существует три режима работы транзистора: отсечки, насыщения (ключевые режимы) и активный (режим усиления). В быстродействующих схемах используют транзисторы Шоттки.

Существенно большее входное сопротивление по сравнению с биполярными транзисторами имеют полевые транзисторы, управляемые напряжением (электрическим полем). Схемы включения полевого транзистора аналогичны схемам включения биполярного транзистора. Полевые транзисторы выполняются с управляющим p — n -переходом и с изолированным затвором (МОП-транзисторы). Частотные свойства у полевых транзисторов хуже, чем у биполярных [3, 4, 7, 10, 11].

Интегральная чувствительность фоторезистора

$$K_{\text{фр}} = I_{\text{фр}} / \Phi,$$

интегральная чувствительность фотодиода

$$K_{\text{фд}} = I_{\text{фд}} / \Phi,$$

где $I_{\text{фр}}$ — фототок резистора, мкА; Φ — световой поток, лм; $I_{\text{фд}}$ — фототок диода, мкА [2, 3].

1.2. Задачи

1.2.1. Полупроводниковые диоды

1.1. Чем объясняется нелинейность вольт-амперной характеристики $p-n$ -перехода (рис. 1.1)?

1. Дефектами кристаллической структуры.
2. Вентильными свойствами.
3. Собственным сопротивлением полупроводника.

1.2.Р* На диоде марки ДЗ12 при изменении прямого напряжения от 0,2 до 0,4 В прямой ток увеличивается от 3 до 16 мА. Каково дифференциальное сопротивление этого диода?

1. 15,4 Ом.
2. 12,3 Ом.
3. 1,54 Ом.

1.3. Каково соотношение между прямым $R_{пр}$ и обратным $R_{обр}$ сопротивлениями полупроводникового диода?

1. $R_{пр} > R_{обр}$.
2. $R_{пр} < R_{обр}$.
3. $R_{пр} \approx R_{обр}$.
4. $R_{пр} \ll R_{обр}$.

1.4. Как выбирают выпрямительные диоды?

1. По прямому току.
2. По обратному напряжению.
3. По прямому току и обратному напряжению.

1.5. Какие диоды работают в режиме пробоя?

1. Варикапы.
2. Стабилитроны в режиме теплового пробоя.
3. Стабилитроны в режиме электрического пробоя.
4. Туннельные диоды.

1.6. Какой пробой опасен для $p-n$ -перехода?

1. Тепловой.
2. Электрический.
3. И тот и другой.

1.7. Полупроводниковый стабилитрон осуществляет стабилизацию напряжения, работая в режиме электрического пробоя на обратной ветви вольт-амперной характеристики (рис. 1.2). Чему равен номинальный ток стабилизации $I_{ст}$?

1. $I_{ст} = I_{ст \min}$.
2. $I_{ст} = I_{ст \max}$.
3. $I_{ст} = (I_{ст \min} + I_{ст \max})/2$.

* Буква «Р» после номера задачи означает, что ее решение приведено в подразделе «Ответы и решения».

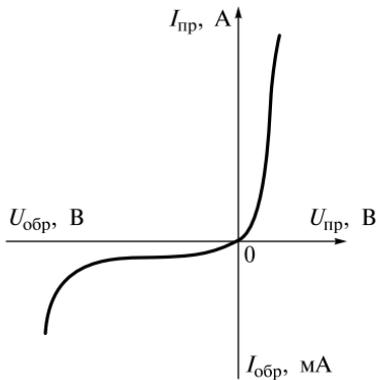


Рис. 1.1

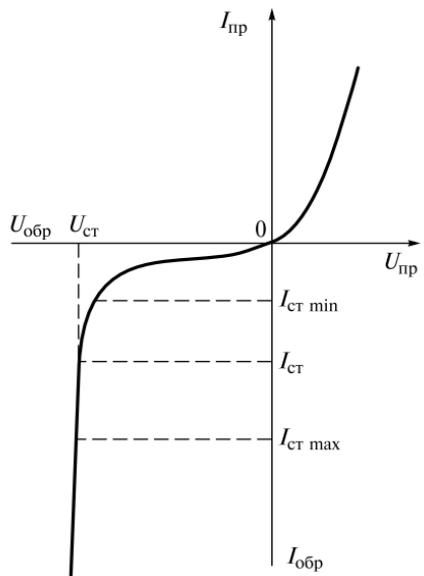


Рис. 1.2

1.8. Функциональная схема и условное обозначение диода Шоттки приведены соответственно на рис. 1.3, *а* и *б*. Диод Шоттки изготавливают следующим образом: на низкоомной подложке из кремния n^+ -типа наращивают эпитаксиальный слой n -типа, на поверхность эпитаксиального слоя наносят металл, образующий переход Шоттки.

Проанализируйте информацию о диоде Шоттки и найдите неверное высказывание.

1. Диод Шоттки используется в источниках питания с выпрямителями.

2. В диоде Шоттки ток обусловлен эмиссией основных носителей из полупроводника в металл.

3. Для отпириания диода Шоттки требуется напряжение 0,2...0,3 В, тогда как для диодов с $p-n$ -переходом — 0,4...0,7 В.

4. Время выключения диода Шоттки очень мало (до 100 пс), а для диодов с $p-n$ -переходом это время составляет 1...100 нс.

5. Падение напряжения на открытом диоде Шоттки существенно меньше, чем у кремниевого диода с $p-n$ -переходом.

6. Диод Шоттки встраивается в структуру биполярного транзистора, образуя транзистор Шоттки.

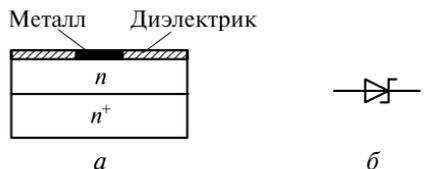


Рис. 1.3

1.2.2. Биполярные транзисторы

1.9. Какое из приведенных соотношений токов в биполярном транзисторе является правильным?

1. $I_{\text{Э}} = I_{\text{К}} + I_{\text{Б}}$.
2. $I_{\text{К}} = I_{\text{Э}} + I_{\text{Б}}$.
3. $I_{\text{Б}} = I_{\text{Э}} + I_{\text{К}}$.

1.10. В каком направлении включаются эмиттерный и коллекторный $p-n$ -переходы биполярного транзистора?

1. Это зависит от типа транзистора ($n-p-n$ или $p-n-p$).
2. Оба перехода в прямом направлении.
3. Эмиттерный — в обратном, коллекторный — в прямом.
4. Эмиттерный — в прямом, коллекторный — в обратном.

1.11. Транзистор VT включен по схеме с общей базой (рис. 1.4). Могут ли превышать единицу коэффициент усиления по току K_I и коэффициент усиления по напряжению K_U ?

1. Оба коэффициента могут.
2. K_I может, K_U не может.
3. K_I не может, K_U может.

1.12.Р. При включении биполярного транзистора VT по схеме с общей базой коэффициент усиления по току равен 0,95. Чему будет равен коэффициент усиления по току биполярного транзистора, если его включить по схеме с общим эмиттером, как показано на рис. 1.5?

1. 0,95. 2. 0,05. 3. 19. 4. 20.

1.13.Р. В транзисторе марки КТ315А, включенном по схеме с общим эмиттером, ток базы изменился на 0,1 мА. Как при этом изменится ток эмиттера, если коэффициент усиления $\alpha = 0,975$?

1. 4 мА. 2. 0,4 мА. 3. 40 мА.

1.14.Р. Найдите h -параметры транзистора ГТ322Б по его входной (рис. 1.6, а) и выходной (рис. 1.6, б) характеристикам, соот-

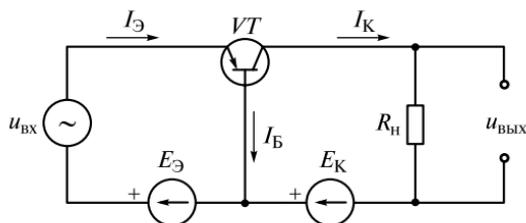


Рис. 1.4

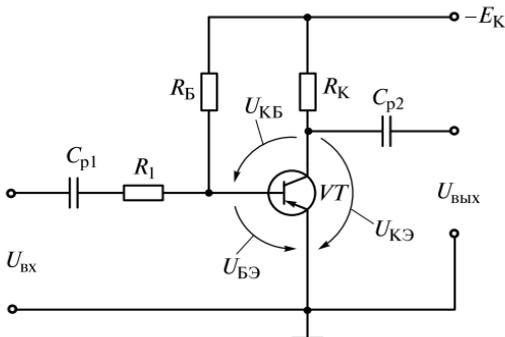
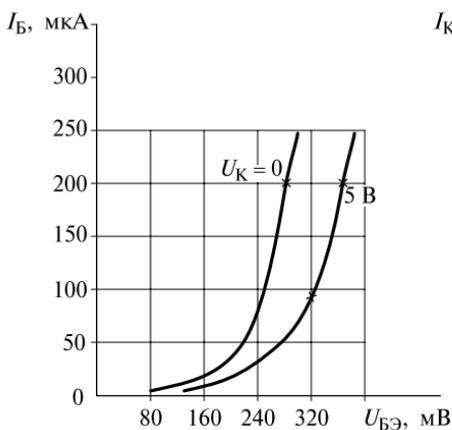


Рис. 1.5

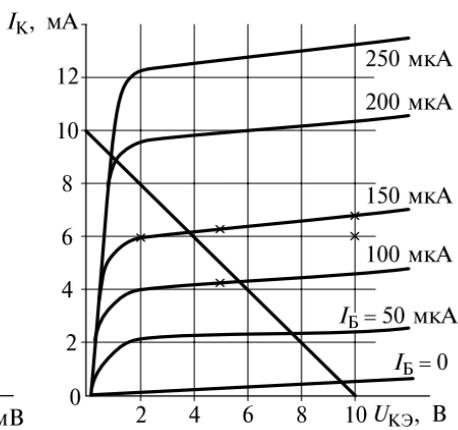
ветствующим схеме с общим эмиттером для $U_K = 5$ В и $I_B = 150$ мкА. Начертите схему замещения транзистора. Определите, какой из ответов неверен.

1. $h_{11} = 330$ Ом.
2. $h_{12} = 16 \cdot 10^{-3}$.
3. $h_{21} = 46$.
4. $h_{22} = 10^{-6}$ См.
5. $h_{22} = 10^{-4}$ См.

1.15.Р. Найдите коэффициенты усиления по напряжению K_U и по току K_I , входное $R_{ВХ}$ и выходное $R_{ВЫХ}$ сопротивления усилительного каскада с общим коллектором (рис. 1.7) на транзисторе ГТ322Б, у которого $h_{11} = 330$ Ом, $h_{21} = 46$, $h_{22} = 10^{-4}$ См, если сопротивление резистора $R_Э = 1$ кОм. Определите, какой из ответов неверен.



а



б

Рис. 1.6

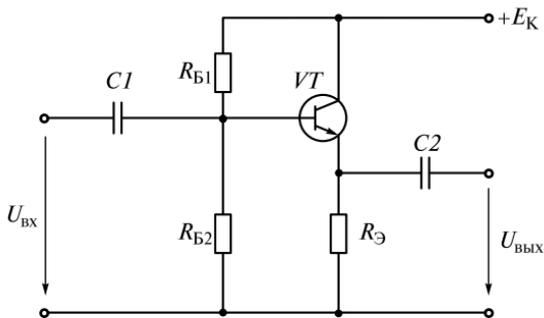


Рис. 1.7

1. $K_U = 9,92$.
2. $K_U = 0,992$.
3. $K_I = 40,9$.
4. $R_{ВХ} = 41,25 \text{ кОм}$.
5. $R_{ВЫХ} = 7 \text{ Ом}$.

1.16. На рис. 1.8 приведены графики зависимости относительных коэффициентов усиления по току α/α_0 и β/β_0 биполярного транзистора в функции частоты f (α — коэффициент усиления в схеме с ОБ, β — коэффициент усиления в схеме с ОЭ, α_0 β_0 — те же коэффициенты при низкой частоте).

В диапазоне частот 800... 1000 Гц коэффициенты α и β остаются постоянными. С повышением частоты α и β снижаются. Частоты f_α и f_β — граничные частоты, на которых α и β снижаются в $\sqrt{2}$ раз.

Определите по графикам, в области каких частот снижаются коэффициенты α и β .

1. В области низких частот.
2. В области средних частот.
3. В области высоких частот.

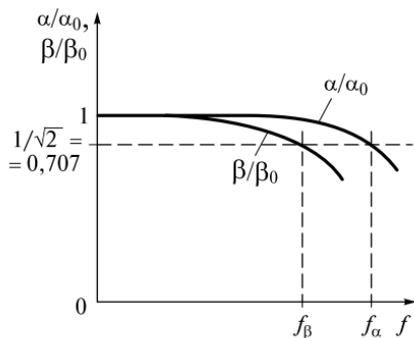


Рис. 1.8

1.17. На рис. 1.5 приведена схема усилительного каскада с общим эмиттером. В каком направлении смещены эмиттерный и коллекторный переходы транзистора VT , работающего в режиме отсечки?

1. Оба перехода смещены в обратном направлении.
2. Оба перехода смещены в прямом направлении.
3. Эмиттерный переход смещен в прямом направлении, а коллекторный — в обратном.

4. Эмиттерный переход смещен в обратном направлении, а коллекторный — в прямом.

1.18. В каком направлении смещены эмиттерный и коллекторный переходы транзистора VT (см. рис. 1.5), если он находится в активном режиме?

1. Оба перехода смещены в обратном направлении.
2. Оба перехода смещены в прямом направлении.
3. Эмиттерный переход смещен в прямом направлении, а коллекторный — в обратном.
4. Эмиттерный переход смещен в обратном направлении, а коллекторный — в прямом.

1.19. В каком направлении смещены эмиттерный и коллекторный переходы транзистора VT (см. рис. 1.5), если он находится в режиме насыщения?

1. Оба перехода смещены в обратном направлении.
2. Оба перехода смещены в прямом направлении.
3. Эмиттерный переход смещен в прямом направлении, а коллекторный — в обратном.
4. Эмиттерный переход смещен в обратном направлении, а коллекторный — в прямом.

1.20. В каком режиме работы транзистора VT (см. рис. 1.5) происходит усиление входного сигнала $U_{вх}$ до уровня выходного сигнала $U_{вых}$?

1. В режиме отсечки.
2. В активном режиме.
3. В режиме насыщения.

1.21.Р. На рис. 1.9, *а* приведена схема усилительного каскада с общим эмиттером на транзисторе ГТ322Б, а на рис. 1.9, *б* — его схема замещения.

Рассчитайте сопротивление резистора R_B , при котором рабочая точка будет находиться на середине линейных участков вход-

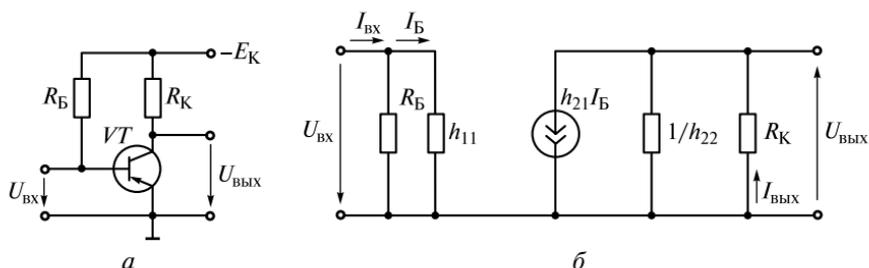


Рис. 1.9

ной и выходной характеристик, если $E_K = 10$ В и $R_K = 1$ кОм. Определите коэффициенты усиления по напряжению K_U , по току K_I и по мощности K_P , а также входное $R_{вх}$ и выходное $R_{вых}$ сопротивление усилительного каскада. Значения h -параметров и характеристики транзистора ГТ322Б возьмите из задачи 1.14, значение h_{12} примите равным нулю.

Определите, какой из ответов неверен.

1. $R_B = 64,3$ кОм.
2. $K_U = 140$.
3. $K_I = 46,2$.
4. $K_P = 6468$.
5. $R_{вх} = 330$ Ом.
6. $R_{вых} = 1$ кОм.
7. $R_B = 6,43$ кОм.

1.2.3. Полевые транзисторы

1.22. Среди перечисленных высказываний о полевых транзисторах (ПТ) найдите неправильное.

1. Сток, исток и затвор ПТ не являются аналогами коллектора, эмиттера и базы биполярного транзистора.
2. В качестве аналоговых переключателей и усилителей со сверхвысоким входным сопротивлением ПТ не имеют себе равных.
3. ПТ целесообразно использовать в качестве резисторов, управляемых напряжением (нелинейных резисторов), и источников тока.
4. ПТ особенно полезны в интегральных микросхемах (ИМС) для создания больших интегральных схем (БИС), применяемых в микрокалькуляторах, микропроцессорах, устройствах памяти.
5. Сток, исток и затвор ПТ являются аналогами коллектора, эмиттера и базы биполярного транзистора.
6. Существуют n -канальные и p -канальные ПТ с управляющим p — n -переходом и ПТ с изолированным затвором (МОП-транзисторы).

1.23. В каком направлении включены p — n -переходы затвора полевого транзистора, показанного на рис. 1.10?

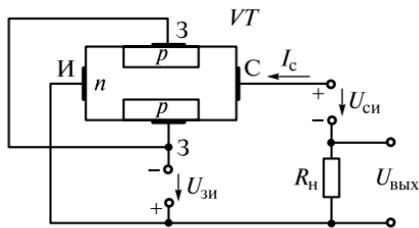


Рис. 1.10

1. В прямом.
2. В обратном.
3. Направление не имеет значения.

1.24. Как изменится ток стока I_c при увеличении напряжения $U_{зи}$ на затворе 3 полевого транзистора (рис. 1.11) относительно истока И?

1. Не изменится.
2. Увеличится.
3. Уменьшится.

1.25. Стоковая и передаточная характеристики полевого транзистора с управляющим $p-n$ -переходом приведены соответственно на рис. 1.12, *а* и *б*. Какое из перечисленных высказываний, сделанных на основании этих характеристик, неправильное?

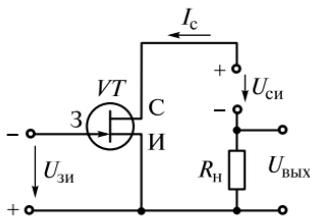


Рис. 1.11

1. На участке I ($U_{си} < U_{си.нас}$) ток I_c и напряжение $U_{си}$ связаны по закону Ома. Этот участок используется при работе транзистора в качестве резистора.

2. На участках насыщения II канал перекрыт (режим насыщения). На этих пологих участках происходит работа транзистора в усилительном режиме.

3. На участке III работа невозможна, так как здесь происходит пробой $p-n$ -перехода между затвором и каналом.

4. Полевой транзистор с управляющим $p-n$ -переходом может работать в режимах обеднения и обогащения.

5. Полевой транзистор с управляющим $p-n$ -переходом может работать только в режиме обеднения.

1.26. Определите крутизну характеристики $S = dI_c/dU_{зи}$ полевого транзистора КП103Л, если при изменении напряжения на затворе на 1,5 В ток стока изменился на 2,25 мА.

1. 0,5 мА/В.
2. 1,0 мА/В.
3. 1,5 мА/В.

1.27. Определите коэффициент усиления K_U усилительного каскада (рис. 1.13) на полевом транзисторе КП103М при $R_c = 4$ кОм, если крутизна характеристики $S = dI_c/dU_{зи} = 2,5$ мА/В. Звено авто-

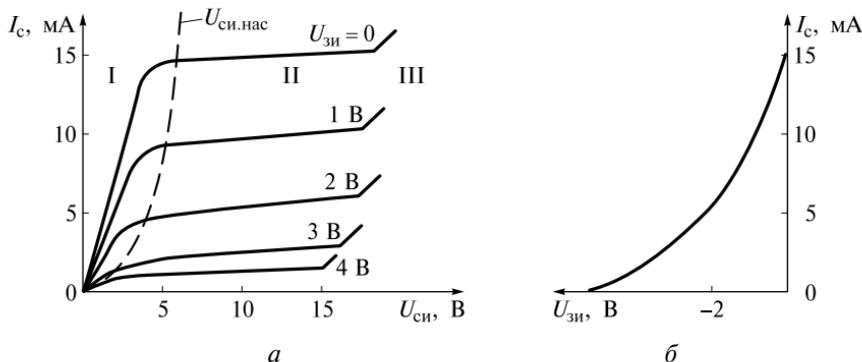


Рис. 1.12

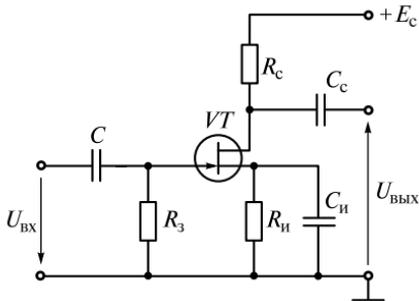


Рис. 1.13

матического смещения $R_{и}$ — $C_{и}$ и разделительные конденсаторы C и C_c не учитывать.

1. $K_U=5$.
2. $K_U=10$.
3. $K_U=15$.

1.28. Какое из высказываний о МОП-транзисторе со встроенным каналом, схема которого приведена на рис. 1.14, неправильное?

1. При $U_{зи} = 0$ характер изменения тока I_c в полевом транзисторе с управляющим $p-n$ -переходом.

2. При $U_{зи} < 0$ будет иметь место режим обеднения.
3. При $U_{зи} < 0$ транзистор будет работать в режиме обогащения.
4. Если $U_{зи} > 0$, наступит работа в режиме обеднения.
5. МОП-транзистор со встроенным каналом может работать как в режиме обогащения, так и в режиме обеднения.

1.29. Какое из высказываний о МОП-транзисторе с индуцированным каналом, схема которого показана на рис. 1.15, неправильное?

1. При $U_{зи} = 0$ канал между И и С отсутствует и $I_c = 0$.
2. При $U_{зи} < 0$ произойдет инверсия типа проводимости между И и С, образуется тонкий канал p -типа и транзистор начнет проводить ток, если $|U_{зи}| > |U_{зи.пор}|$.
3. МОП-транзистор с индуцированным каналом может работать только в режиме обеднения.
4. МОП-транзистор с индуцированным каналом может работать только в режиме обогащения.

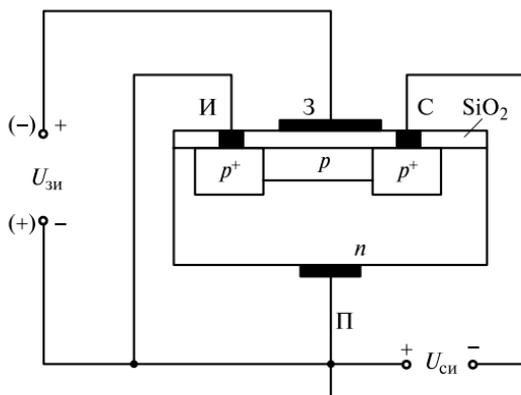


Рис. 1.14