

621.38-1749
СРЕДНЕЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

В. И. Полещук

ЗАДАЧНИК ПО ЭЛЕКТРОНИКЕ

2-е издание

ОБЩЕПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ
ДИСЦИПЛИНЫ



УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ



62/50
СРЕДНЕЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

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

2012

94518



Москва
Издательский центр «Академия»
2011

УДК 621.38(075.32)

ББК 32.85я723

П498

ММММ

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*

94518

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.

24512

ГЛАВА 1

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ

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 Д312 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. $R_{пр} = R_{обр}$.
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».

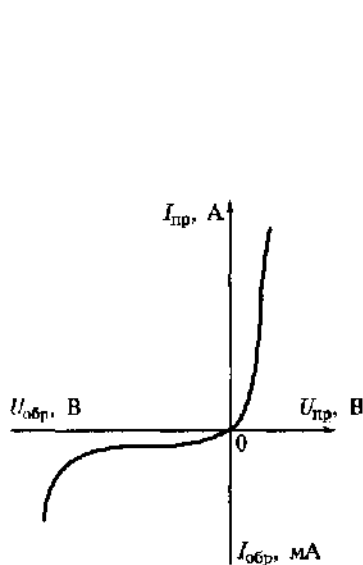


Рис. 1.1

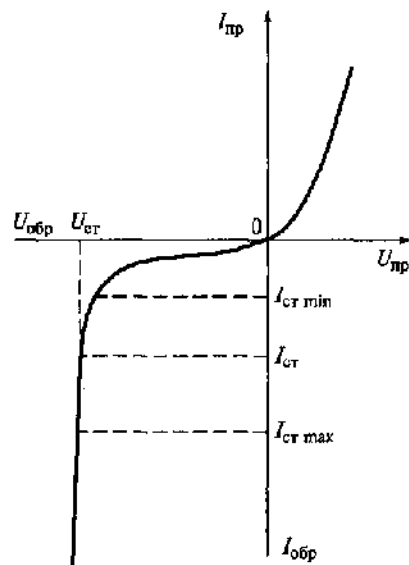


Рис. 1.2

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 отпираания 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-

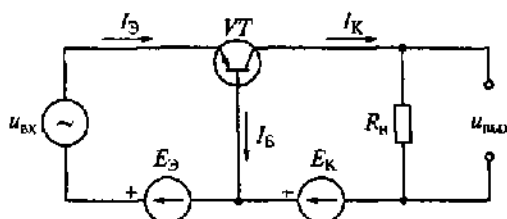


Рис. 1.4

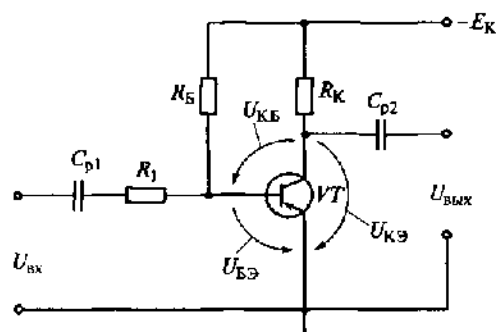


Рис. 1.5

иствующим 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 $R_3 = 1$ кОм. Определите, какой из ответов неверен.

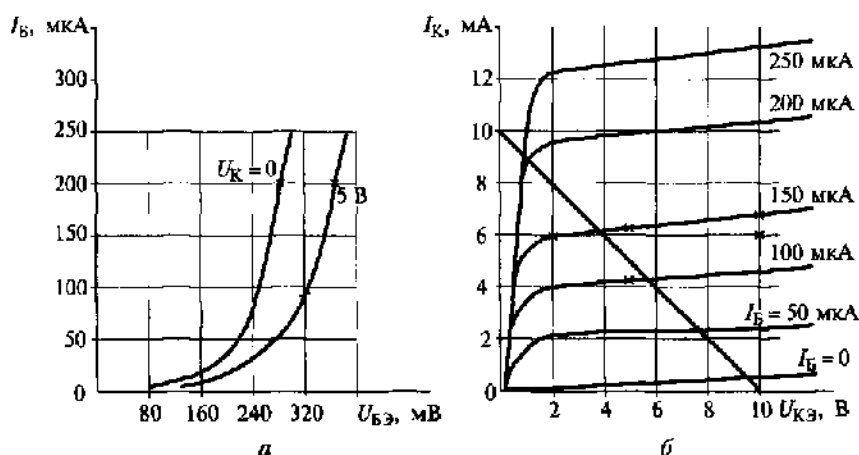


Рис. 1.6

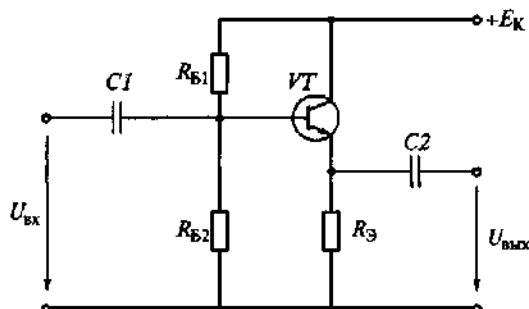


Рис. 1.7

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 ... 1 000 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.

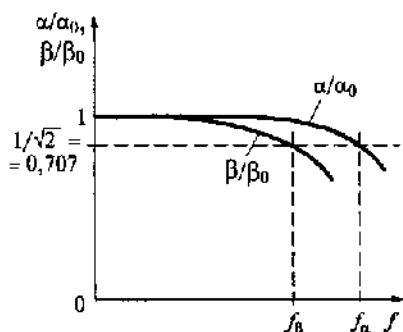


Рис. 1.8

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-

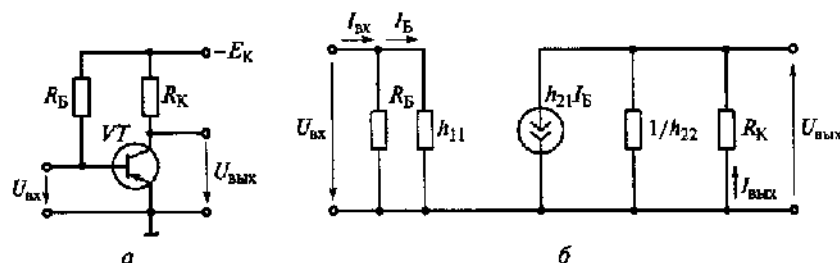


Рис. 1.9

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 $R_{вых}$ сопротивления 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. $R_E = 6,43$ 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?

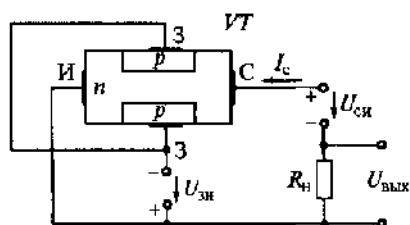


Рис. 1.10

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, правильное?

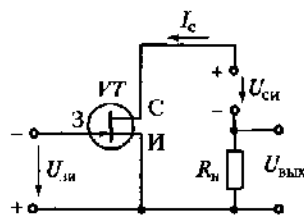


Рис. 1.11

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-

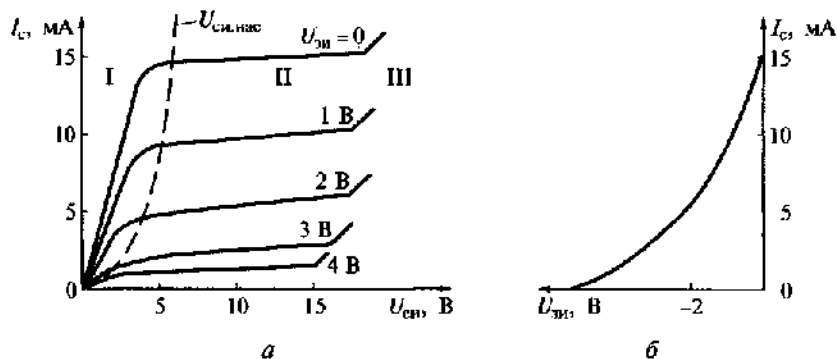


Рис. 1.12

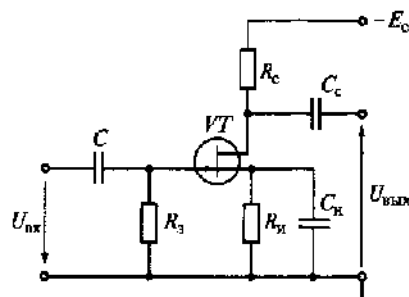


Рис. 1.13

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 стока I_c подобен характеру 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.

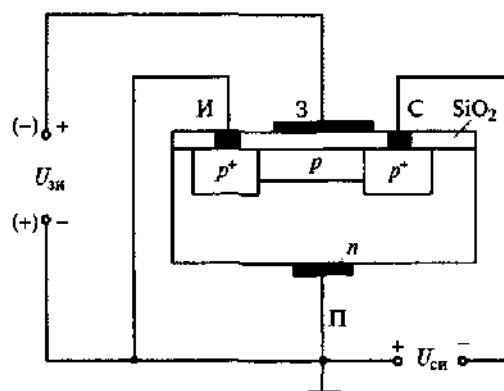


Рис. 1.14

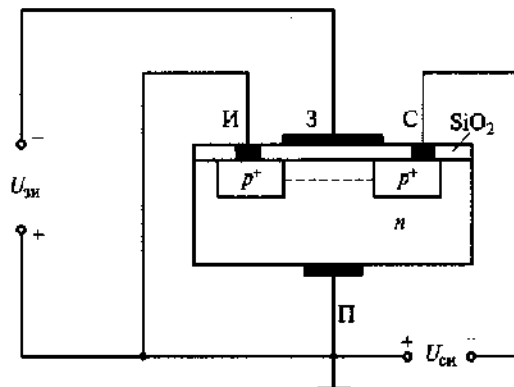


Рис. 1.15

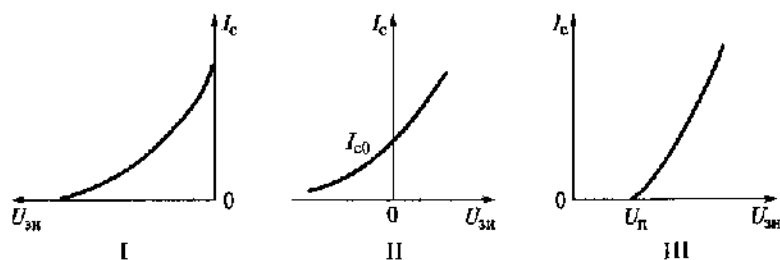


Рис. 1.16

1.30. Какая из передаточных характеристик $I_c = f(U_{зи})$, представленных на рис. 1.16, принадлежит полевому МОП-транзистору с индуцированным каналом?

1. I. 2. II. 3. III.

1.31. Какие элементы целесообразно использовать для преобразования электрической энергии больших мощностей?

1. Биполярные транзисторы.
2. Полевые транзисторы.
3. Тиристоры.

1.2.4. Тиристоры

1.32. Какой способ используется на практике для перевода триодного тиристора из закрытого состояния в открытое?

1. Повышение анодного напряжения.
2. Изменение полярности напряжения на управляющем электроде.

3. Подача положительного напряжения на управляющий электрод.

4. Изменение полярности анодного напряжения.

1.33. Какой способ используется на практике для перевода триодного тиристора из открытого состояния в закрытое?

1. Изменение полярности анодного напряжения.

2. Установление анодного тока ниже тока удержания.

3. Подача отрицательного напряжения на управляющий электрод.

1.2.5. Оптоэлектронные устройства

1.34. От чего зависит энергия кванта излучения (фотона)?

1. От спектрального состава излучения.

2. От частоты излучения.

3. От интенсивности светового потока.

1.35. Как изменятся напряжения на нагрузке U_n и фоторезисторе U_f (рис. 1.17) при увеличении светового потока Φ ?

1. U_n увеличится, U_f уменьшится.

2. U_f увеличится, U_n уменьшится.

3. U_f уменьшится, U_n не изменится.

4. U_f увеличится, U_n не изменится.

1.36. Фотодиод в схеме, показанной на рис. 1.18, работает в генераторном режиме, преобразуя световую энергию в электрическую (как элемент солнечной батареи).

Как изменится фотоЭДС фотодиода E_f при возрастании светового потока Φ ?

1. Не изменится.

2. Уменьшится.

3. Увеличится.

1.37. Какое из утверждений неправильное?

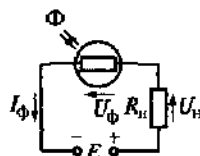


Рис. 1.17

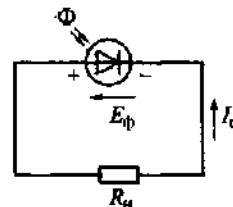


Рис. 1.18



Рис. 1.19

1. Оптрон — прибор, содержащий источник и приемник излучения, помещенные в один корпус.

2. Оптрон — элемент связи, информация в котором передается оптически.

3. В оптроне достигается гальваническая развязка входной и выходной цепей.

4. Источником излучения является светодиод.

5. Свойства оптрона не зависят от приемника излучения.

1.38. На рис. 1.19 приведены схемы фоторезисторного 1, фотодиодного 2, фототранзисторного 3 и фототиристорного 4 оптронов. Какое из утверждений, касающихся этих оптронов, не соответствует действительности?

1. Фоторезисторный и фототранзисторный оптроны имеют небольшое быстродействие.

2. Фотодиодный оптрон обладает высоким быстродействием.

3. Фототиристорный оптрон коммутирует силовые цепи напряжением 1 300 В и с током 300 А.

4. У фотодиодного оптрона коэффициент передачи по току больше, чем у фототранзисторного.

5. У фотодиодного оптрона коэффициент передачи по току меньше, чем у фототранзисторного.

1.39. Какие из перечисленных особенностей характерны для интегральных микросхем?

1. Миниатюрность.

2. Минимум внутренних соединительных линий.

3. Комплексная технология изготовления.

4. Все перечисленные особенности.

1.40. Сколько генераторов и усилителей электрических колебаний может быть размещено в объеме одного полупроводникового кристалла интегральной микросхемы?

1. Один.

2. Десять.

3. Сто.

4. Любое из указанных чисел.

1.41. Какие микросхемы называют гибридными?

1. В которых используются тонкие и толстые пленки.

2. В которых используются пассивные и активные элементы.
3. В которых используются пленочные и навесные элементы.

1.42.Р. Какие микросхемы могут быть изготовлены без навесных элементов?

1. Тонкопленочные.
2. Толстопленочные.
3. Полупроводниковые.

ГЛАВА 2

АНАЛОГОВЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ УСТРОЙСТВА

2.1. Основные положения и расчетные формулы

Выпрямленное напряжение однополупериодного выпрямителя

$$U_0 = \sqrt{2}U_2/\pi = 0,45U_2;$$

двухполупериодных выпрямителей (мостовая схема и схема со средней точкой)

$$U_0 = 2\sqrt{2}U_2/\pi = 0,9U_2,$$

где U_2 — действующее значение напряжения вторичной обмотки трансформатора, В.

Максимальное обратное напряжение, приложенное к диоду, для однополупериодного выпрямителя и мостовой схемы равно амплитудному:

$$U_{\text{обр max}} = U_{2\text{м}} = \sqrt{2}U_2.$$

Коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения

$$p = U_{1\text{м}}/U_0,$$

где $U_{1\text{м}}$ — амплитуда первой гармоники напряжения на нагрузке.

Коэффициент сглаживания

$$q = p_{\text{вх}}/p_{\text{вых}},$$

где $p_{\text{вх}}$, $p_{\text{вых}}$ — коэффициенты пульсаций на входе и выходе сглаживающего фильтра.

Выпрямители, работающие на промышленной частоте, имеют значительные габаритные размеры и массу. Чтобы их уменьшить, выпрямление проводят на повышенной частоте [2—4, 10].

Коэффициент усиления усилителя по напряжению равен отношению напряжений на выходе и входе:

$$K_U = U_{\text{вых}}/U_{\text{вх}}.$$

Коэффициент усиления многокаскадного усилителя равен произведению коэффициентов усиления отдельных каскадов:

$$K = K_1 K_2 \dots K_n.$$

Коэффициент частотных искажений усилительного каскада

$$M = K_0/K,$$

где K_0 — коэффициент усиления на средних частотах; K — коэффициент усиления на какой-либо частоте рабочего диапазона.

Емкость блокировочного конденсатора в цепи эмиттера

$$C \geq 10/(2\pi f_n R_{\text{э}}),$$

где f_n — нижняя частота спектра усиливаемых колебаний, Гц; $R_{\text{э}}$ — сопротивление резистора цепи эмиттера, Ом.

Электрический КПД усилителя

$$\eta = P_{\text{вых}}/P_0,$$

где $P_{\text{вых}}$ — выходная мощность усилителя; P_0 — мощность, расходуемая источником коллекторного питания.

Коэффициент усиления усилителя, охваченного отрицательной обратной связью (ООС), определяется по формуле

$$K_{\text{о.с.}} = K/(1 + \beta K),$$

где K — коэффициент усиления до введения ООС; β — коэффициент обратной связи.

В целях создания устойчивых гармонических автоколебаний в усилительный каскад вводят положительную обратную связь (ПОС). При этом должны выполняться условия баланса амплитуд и баланса фаз.

Частота колебаний автогенератора LC-типа

$$f_0 = 1/(2\pi\sqrt{L_{\text{к}}C_{\text{к}}}),$$

где $L_{\text{к}}$ и $C_{\text{к}}$ — соответственно индуктивность и емкость колебательного контура.

Частота колебаний автогенератора RC-типа с тремя RC-контурами в цепи обратной связи

$$f_0 = 1/(2\pi\sqrt{6}RC),$$

где R , C — параметры цепи обратной связи.

В инженерной практике для упрощения расчетов реальный источник электроэнергии представляют в виде источника ЭДС или источника тока.

Большая роль в аналоговой технике принадлежит операционному усилителю, с помощью которого выполняют физически различные математические операции [2, 7, 10, 11].

2.2. Задачи

2.2.1. Вторичные источники электропитания

2.1. Какое напряжение U_0 покажет вольтметр магнитоэлектрической системы (рис. 2.1), если $U_{2\text{м}} = 282$ В?

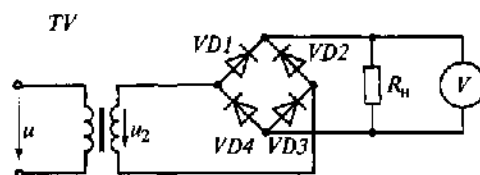


Рис. 2.1

1. $U_0 = 141$ В.
2. $U_0 = 127$ В.
3. $U_0 = 90$ В.

2.2. Как включается емкостный фильтр C_{ϕ} ?

1. Параллельно нагрузке $R_{\text{н}}$.
2. Последовательно с нагрузкой $R_{\text{н}}$.
3. Параллельно вторичной обмотке трансформатора.

2.3. Как включается индуктивный фильтр L_{ϕ} ?

1. Параллельно нагрузке $R_{\text{н}}$.
2. Последовательно с нагрузкой $R_{\text{н}}$.
3. Параллельно вторичной обмотке трансформатора.

2.4. Как изменится коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения выпрямителя с емкостным фильтром (рис. 2.2, а) при уменьшении сопротивления нагрузки $R_{\text{н}}$?

1. Уменьшится.
2. Увеличится.
3. Останется неизменным.

2.5. Что называется коэффициентом пульсаций выпрямленного напряжения?

1. Отношение среднего значения выпрямленного напряжения к его действующему значению.
2. Отношение амплитуды основной гармоники выпрямленного напряжения к его среднему значению.
3. Отношение максимально допустимого обратного напряжения диода к амплитуде выпрямленного напряжения.

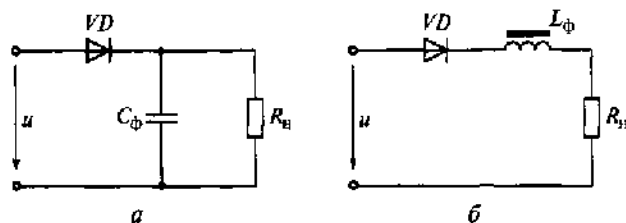


Рис. 2.2

2.6. Каково соотношение между индуктивным сопротивлением $X_L = \omega L_\Phi$ сглаживающего дросселя и сопротивлением нагрузки R_H для схемы, показанной на рис. 2.2, б?

1. $X_L > R_H$.
2. $X_L \gg R_H$.
3. $X_L < R_H$.
4. $X_L \approx R_H$.

2.7. Какая из приведенных формул рядов Фурье для однофазных и трехфазных выпрямителей относится к трехфазному мостовому выпрямителю?

1. $U_H = U_{H.c.p.} \left(1 + \frac{\pi}{2} \cos(\omega t) + \frac{2}{3} \cos(2\omega t) - \frac{2}{15} \cos(4\omega t) + \dots \right)$.
2. $U_H = U_{H.c.p.} \left(1 + \frac{2}{3} \cos(2\omega t) - \frac{2}{15} \cos(4\omega t) + \dots \right)$.
3. $U_H = U_{H.c.p.} \left(1 + \frac{1}{4} \cos(3\omega t) - \frac{2}{35} \cos(6\omega t) + \frac{1}{40} \cos(9\omega t) - \dots \right)$.
4. $U_H = U_{H.c.p.} \left(1 + \frac{2}{35} \cos(6\omega t) - \frac{2}{143} \cos(12\omega t) + \frac{2}{323} \cos(18\omega t) - \dots \right)$.

2.8.Р. Для схемы двухполупериодного выпрямителя с индуктивным сглаживающим фильтром определите коэффициент сглаживания q , если известно, что амплитуда напряжения вторичной обмотки трансформатора $U'_{2m} = 300$ В, выпрямленный ток, проходящий через нагрузку, $I_0 = 200$ мА, частота сети $f = 50$ Гц, индуктивность дросселя $L_\Phi = 10$ Гн.

1. $q = 3,3$.
2. $q = 6,6$.
3. $q = 13,2$.

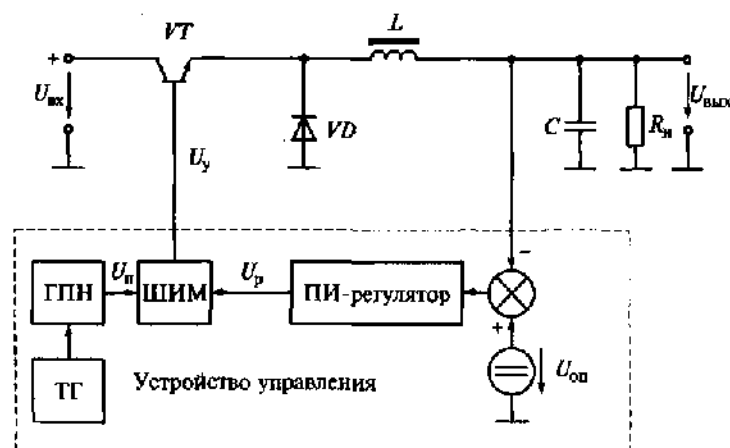


Рис. 2.3

2.9. В источниках питания компьютеров используется импульсный регулятор напряжения (рис. 2.3). Транзистор VT переключается с частотой около 20 кГц из полностью закрытого в полностью открытое состояние (ключевой режим). Диод VD предотвращает появление высокого напряжения самоиндукции дросселя L при закрывании транзистора. Таким образом, в течение времени, когда транзистор VT закрыт, протекание тока через нагрузку R_H обусловлено не только разрядом конденсатора C , но и самоиндукцией дросселя. Это обеспечивает хорошее сглаживание выходного напряжения $U_{\text{вых}}$ без потерь мощности.

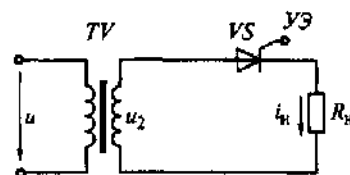


Рис. 2.4

В устройстве управления осуществляется сравнение выходного напряжения с опорным $U_{\text{оп}}$. Сигнал рассогласования, прошедший через ПИ-регулятор (U_p), сравнивается в широтно-импульсном модуляторе (ШИМ) с пилообразным напряжением U_n генератора пилообразного напряжения (ГПН), частота импульсов которого задается тактовым генератором (ТГ). В момент равенства U_n и U_p формируется импульс управления U_y , поступающий на базу транзистора.

Если $U_{\text{вых}} < U_{\text{оп}}$, то ШИМ увеличивает время $t_{\text{откр}}$ открытого состояния транзистора VT в периоде T тактового генератора. Частота импульсов $f = 1/T$ остается постоянной. Среднее значение напряжения на нагрузке $U_{\text{вых}} = U_{\text{вх}}(t_{\text{откр}}/T)$. КПД импульсного регулятора, работающего в режиме стабилизатора, доходит до 80 % [7].

Определите, каково назначение пропорционально-интегрального (ПИ) регулятора в устройстве управления.

1. Повышение быстродействия работы стабилизатора.
2. Повышение точности стабилизации напряжения.
3. Обеспечение устойчивости устройства управления.

2.10.Р. В каких пределах необходимо изменить время подачи управляющего импульса t_y на управляющий электрод УЭ в схеме однополупериодного выпрямителя на тиристоре (рис. 2.4), чтобы ток в нагрузке изменился от максимального значения до нуля?

1. $0 \leq t_y \leq T$.
2. $T/4 \leq t_y \leq T/2$.
3. $0 \leq t_y \leq T/2$.
4. $0 \leq t_y \leq T/4$.

2.2.2. Усилители

2.11. Какими электрическими параметрами определяется сопротивление резистора R_b усилительного каскада, приведенного на рис. 1.5?

1. Напряжениями E_K и $U_{БЭ0}$.

2. Напряжением $U_{БЭ0}$.
3. Током $I_{Б0}$.
4. Напряжениями E_K , $U_{БЭ0}$ и током $I_{Б0}$.

2.12.Р. В эмиттерном усилителе (см. рис. 1.7) резистор $R_Э$, определяющий динамический режим работы транзистора VT , включен в его эмиттерную цепь. Сам транзистор оказывается включенным по схеме с общим коллектором (ОК). Выходное напряжение $U_{вых}$ снимается с эмиттера транзистора, поэтому $U_{о.с} = U_{вых}$, т.е. усилитель охвачен 100%-й последовательной отрицательной обратной связью по напряжению.

Почему эта схема с ОК обладает весьма высоким входным сопротивлением?

1. Из-за наличия сильной отрицательной обратной связи по напряжению.
2. Из-за того, что вывод коллектора непосредственно соединен с источником питания.
3. Из-за наличия делителя напряжения $R_{Б1}$, $R_{Б2}$.

2.13. Усилительный каскад с общим эмиттером (см. рис. 1.5) должен работать с минимальными искажениями сигнала (класс А). При каком условии это требование выполняется?

1. Стабильность напряжения E_K .
2. Стабильность сопротивления нагрузки.
3. Линейность рабочих участков входной и выходной характеристик транзистора.

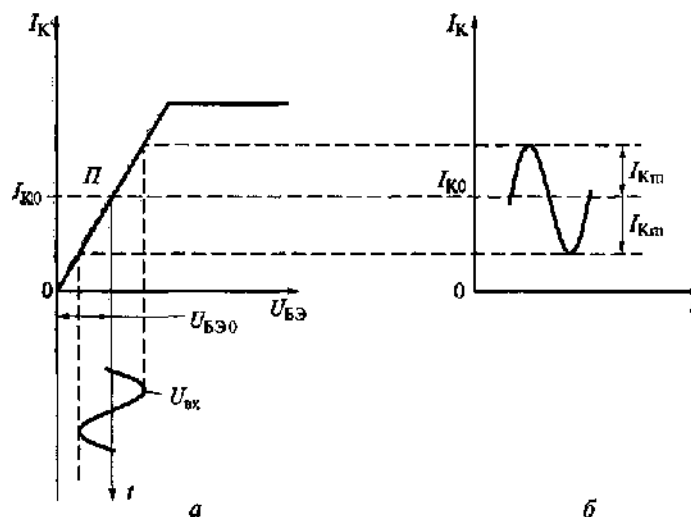


Рис. 2.5

2.14. В зависимости от выбранного положения точки покоя P различают три основных класса усиления: А, В и С. В режиме, который иллюстрирует рис. 2.5, а, точка покоя P располагается на середине линейного участка проходной характеристики и имеет координаты I_{K0} , $U_{BЭ0}$. При этом классе усиления ток коллектора протекает в течение всего периода изменения входного сигнала $U_{вх}$ (рис. 2.5, б), обеспечивается малый уровень нелинейных искажений, однако КПД составляет менее 50 %. Режим используется в каскадах предварительного усиления.

Какому классу усиления соответствует рассмотренный режим?

1. А. 2. В. 3. С.

2.15. В режиме, который иллюстрирует рис. 2.6, а, точка покоя P располагается в начале проходной характеристики транзистора. Коллекторный ток протекает в течение полупериода входного сигнала $U_{вх}$ (рис. 2.6, б). Режим характеризуется высоким уровнем нелинейных искажений (коллекторный ток имеет форму отдельных импульсов), зато КПД усилителя достигает 70 %. Этот режим используют в двухтактных схемах.

Какому классу усиления соответствует рассмотренный режим?

1. А. 2. В. 3. С.

2.16. На параметры и характеристики биполярных транзисторов влияют дестабилизирующие факторы (в частности, температура). Поэтому в полупроводниковых схемах наряду с обеспечением режима транзистора по постоянному току необходи-

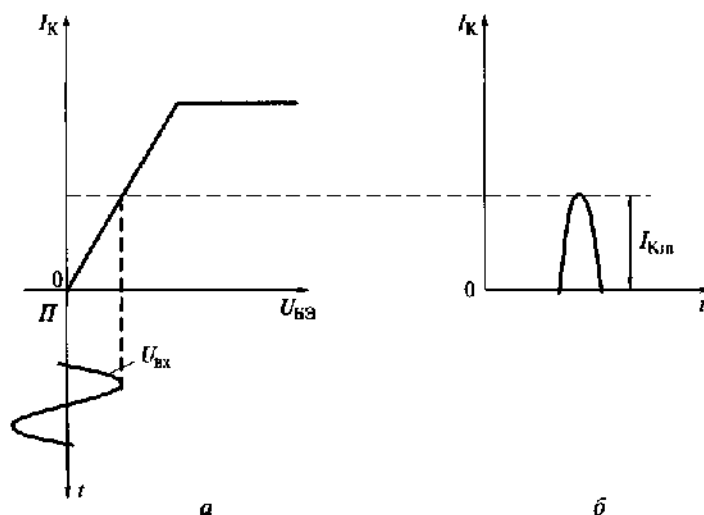


Рис. 2.6

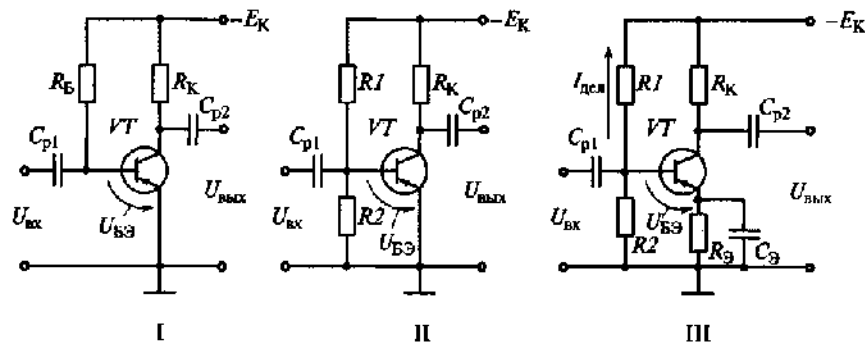


Рис. 2.7

ма стабилизация рабочей точки при воздействии дестабилизирующих факторов.

Какая из схем, приведенных на рис. 2.7, обеспечивает наиболее стабильное положение рабочей точки?

1. I.
2. II.
3. III.

2.17.Р. В усилительном каскаде (схема III на рис. 2.7) $I_{Б0} = 50 \text{ мкА}$, $I_{Э0} = 5 \text{ мА}$, $U_{БЭ} = 0,8 \text{ В}$, $E_K = 10 \text{ В}$. Каскад работает в режиме, соответствующем классу А. Рассчитайте элементы температурной стабилизации $R_Э$, R_1 , R_2 . Примите $U_Э = 0,2E_K$, $I_{дел} = 10I_{Б0}$.

1. $R_Э = 200 \text{ Ом}$, $R_1 = 14,4 \text{ кОм}$, $R_2 = 5,6 \text{ кОм}$.
2. $R_Э = 400 \text{ Ом}$, $R_1 = 14,4 \text{ кОм}$, $R_2 = 5,6 \text{ кОм}$.
3. $R_Э = 600 \text{ Ом}$, $R_1 = 14,4 \text{ кОм}$, $R_2 = 5,6 \text{ кОм}$.

2.18.Р. Как изменится КПД двухтактного усилителя мощности (рис. 2.8), если он будет переведен из режима В в режим А?

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

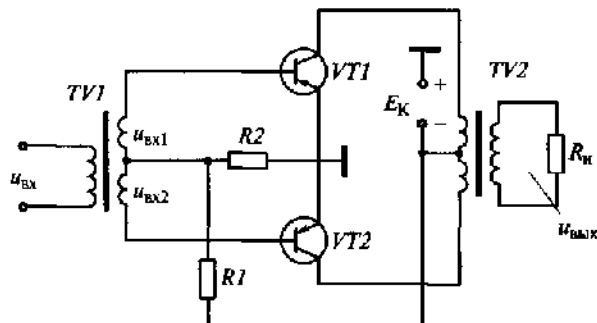


Рис. 2.8

2.19. Основное преимущество бестрансформаторного усилителя мощности — отсутствие входного и выходного трансформаторов, уменьшающее габаритные размеры и вес усилителя. Бестрансформаторные усилители выполняют двухтактными на биполярных транзисторах различного типа проводимости по схеме комплементарного эмиттерного повторителя, в котором транзисторы работают поочередно (рис. 2.9).

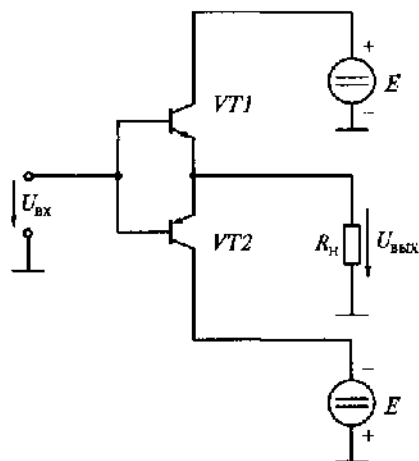


Рис. 2.9

Проанализируйте характеристики бестрансформаторного усилителя и определите, какое из приведенных утверждений неправильное.

1. Недостатком бестрансформаторного усилителя является трудность подбора одинаковых транзисторов типа $p-n-p$ и $n-p-n$.
2. При работе в экономичном режиме класса В в бестрансформаторном усилителе имеют место нелинейные искажения при малой величине входного сигнала $U_{вх}$.
3. Для исключения упомянутых нелинейных искажений усилитель переводят в режим класса А.
4. Для исключения нелинейных искажений используют режим класса АВ, подавая небольшие смещения на базы транзисторов.

2.20. На рис. 2.10 приведена схема усилительного каскада на полевом транзисторе с общим истоком. Какое соотношение между выходным $R_{вых}$ и входным $R_{вх}$ сопротивлениями справедливо для этого каскада?

1. $R_{вых} \gg R_{вх}$.
2. $R_{вых} \ll R_{вх}$.
3. $R_{вых} \approx R_{вх}$.

2.21. На рис. 2.10 приведена схема усилительного каскада на полевом транзисторе с общим истоком.

Проанализируйте свойства этого каскада и определите, какое из приведенных утверждений неверное.

1. Входное сопротивление каскада равно сопротивлению транзистора между затвором и истоком, равному 10^8 Ом.
2. Входное сопротивление каскада равно сопротивлению резистора $R_3 = 10^5 \dots 10^6$ Ом.
3. Выходное сопротивление усилительного каскада определяется сопротивлением R_c : $R_{вых} \approx R_c = 10^3 \dots 10^4$ Ом.
4. В усилительном каскаде на полевом транзисторе $R_{вых} \ll R_{вх}$, что является важным преимуществом каскадов указанного типа.

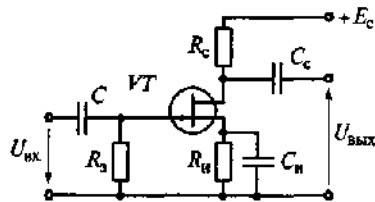


Рис. 2.10

2.22. В схеме усилительного каскада, приведенной на рис. 2.10, использована температурная стабилизация с помощью цепочки $R_н$, $C_н$. Каким должно быть емкостное сопротивление $X_{C_н}$ конденсатора емкостью $C_н$, чтобы не изменялся коэффициент усиления каскада по напряжению?

1. $X_{C_н} \approx R_н$.
2. $X_{C_н} > R_н$.
3. $X_{C_н} \ll R_н$.

2.23. Отрицательная обратная связь — это процесс передачи выходного сигнала на вход, при котором погашается часть входного сигнала.

Может показаться, что это глупая затея, которая приведет лишь к уменьшению коэффициента усиления усилителя. Именно такой отзыв получил Гарольд Блэк, который в 1928 г. попытался запатентовать ООС. По его словам, к этому изобретению отнеслись так же, как к вечному двигателю.

Действительно, ООС уменьшает коэффициент усиления усилителя, но ее введение оправдано тем, что она существенно улучшает другие параметры процесса усиления.

Каким образом можно рационально увеличить коэффициент усиления усилителя, охваченного ООС?

1. Увеличить напряжение источника питания.
2. Ввести в состав усилителя дополнительный каскад усиления.
3. Уменьшить коэффициент передачи ООС.

2.24. Как изменяются характеристики усилителя переменного тока при введении ООС по напряжению? (Укажите неправильный ответ.)

1. Повышается стабильность коэффициента усиления.
2. Снижается уровень нелинейных искажений.
3. Увеличивается входное и уменьшается выходное сопротивление усилителя.
4. Расширяется полоса пропускания частотной характеристики.
5. Уменьшаются частотные искажения.
6. Увеличивается коэффициент усиления.

2.25. Какие свойства характерны для положительной обратной связи? (Укажите неправильный ответ.)

1. Увеличение стабильности коэффициента усиления.
2. Увеличение коэффициента усиления усилителя.
3. Создание автоколебательного режима работы усилителя.

2.26.Р. В схему двухкаскадного усилителя с коэффициентами усиления $K_1 = 4$, $K_2 = 25$ была введена отрицательная обратная связь

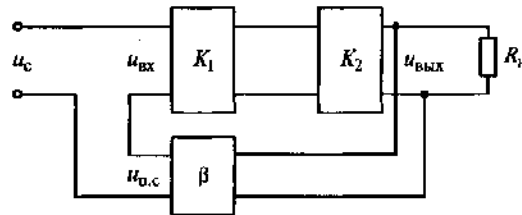


Рис. 2.11

с коэффициентом передачи $\beta = 0,1$ (рис. 2.11). При этом общий коэффициент усиления усилителя K увеличился на 10 %. Как изменились свойства усилителя, охваченного обратной связью?

1. Усиление уменьшилось, стабильность усиления повысилась.
2. Усиление уменьшилось, стабильность усиления понизилась.
3. Усиление увеличилось, стабильность усиления повысилась.
4. Усиление увеличилось, стабильность усиления понизилась.

2.27. Усилитель с коэффициентом усиления $K = K_1 K_2$ был охвачен обратной связью с коэффициентом передачи β (см. рис. 2.11). Определите, какое из высказываний является ошибочным.

1. При введении отрицательной обратной связи усиление уменьшилось: $K_{о.с} = K/(1 + \beta K)$.
2. При введении положительной обратной связи усиление увеличилось: $K_{о.с} = K/(1 - \beta K)$.
3. При введении ПОС стабильность коэффициента усиления ухудшилась.
4. ПОС применяется в усилителях для повышения стабильности коэффициента усиления.
5. ПОС используется в электронных генераторах.

2.28.Р. На рис. 2.12 представлена схема двухкаскадного усилителя напряжения с резистивно-емкостной связью. Каково соотношение между емкостным сопротивлением $X_{C_{p2}}$ разделительно-

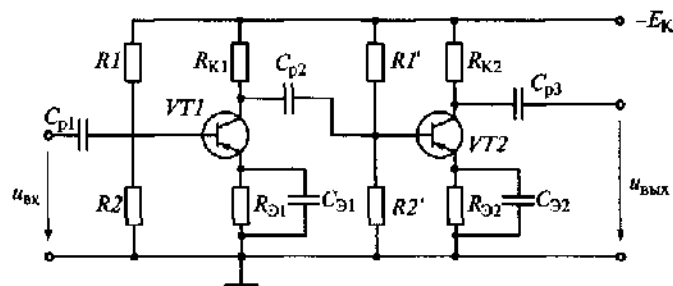


Рис. 2.12

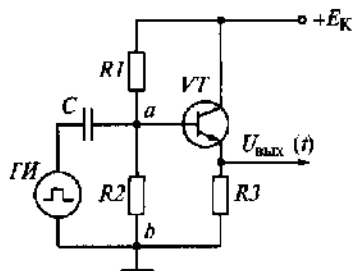


Рис. 2.13

го конденсатора C_{p2} и входным сопротивлением второго каскада?

1. $X_{Cp2} > R_{вх2}$.
2. $X_{Cp2} \approx R_{вх2}$.
3. $X_{Cp2} < R_{вх2}$.
4. $X_{Cp2} \ll R_{вх2}$.

2.29.Р. На рис. 2.13 приведена схема эмиттерного повторителя с разделительной цепью C , $R2$ на входе. Определите требуемую емкость разделительного конденсатора C при следующих условиях: продолжитель-

ность импульсов, поступающих от генератора импульсов $ГИ$, $t_n = 100$ мкс; сопротивления резисторов $R_1 = 30$ кОм, $R_2 = 30$ кОм; $R_3 = 1$ кОм; коэффициент усиления транзистора VT по току $\beta = 30$; допустимый коэффициент спада вершины импульса $K_{с.доп} = 0,1$.

1. $C = 10$ мкФ.
2. $C = 1$ мкФ.
3. $C = 0,1$ мкФ.

2.30. Амплитудная характеристика усилительного каскада, схема которого приведена на рис. 1.5, представляет собой зависимость амплитудного значения выходного сигнала от амплитудного значения входного сигнала при постоянной частоте. Почему уменьшается коэффициент усиления каскада при большом значении входного сигнала? (Укажите неправильный ответ.)

1. При большом входном напряжении переменные составляющие напряжений и токов выходят за пределы линейных участков характеристик транзистора.
2. Возникают нелинейные искажения.
3. Рост выходного напряжения замедляется.
4. Увеличиваются сопротивления разделительных конденсаторов C_{p1} , C_{p2} .

2.31. На рис. 2.14 показан график амплитудно-частотной характеристики $K_U = U_{вых}/U_{вх} = F(f)$ при $U_{вх} = \text{const}$ двухкаскадного усилителя с RC -связями (см. рис. 2.12).

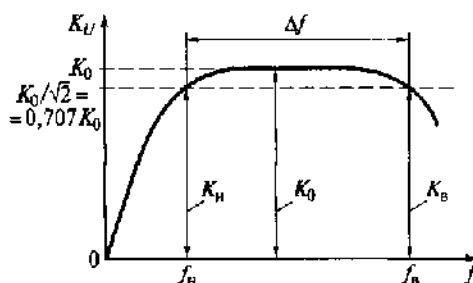


Рис. 2.14

Почему уменьшается коэффициент усиления K_U в области низких частот? (Укажите неправильный ответ.)

1. Возрастание емкостных сопротивлений разделительных конденсаторов C_{p1} , C_{p2} и C_{p3} при понижении частоты f .
2. Ослабление шунтирующего действия конденсаторов $C_{э1}$ и $C_{э2}$ и возрастание вследствие этого отрицательной обратной связи по переменной составляющей.
3. Уменьшение передаточного коэффициента по току $\beta = h_{21}$ транзисторов.

2.32. На рис. 2.14 приведен график амплитудно-частотной характеристики $K_U = F(f)$ двухкаскадного усилителя с RC -связями (см. рис. 2.12). Чем объясняется уменьшение коэффициента усиления по напряжению K_U в области высоких частот? (Укажите неверный ответ.)

1. Шунтирующим действием паразитных емкостей межкаскадной связи.
2. Наличием паразитных емкостей выходного каскада и емкости нагрузки.
3. Наличием паразитных емкостей монтажа.
4. Уменьшением передаточного коэффициента по току $\beta = h_{21}$ транзисторов.
5. Уменьшением шунтирующего действия конденсаторов $C_{э1}$ и $C_{э2}$.

2.33. Избирательный усилитель отличается тем, что он усиливает не сигналы в широкой полосе частот, а только полезный сигнал в области частоты $f_0 = 1/(2\pi RC)$. На рис. 2.15, а приведена схема избирательного усилителя, построенного на операционном уси-

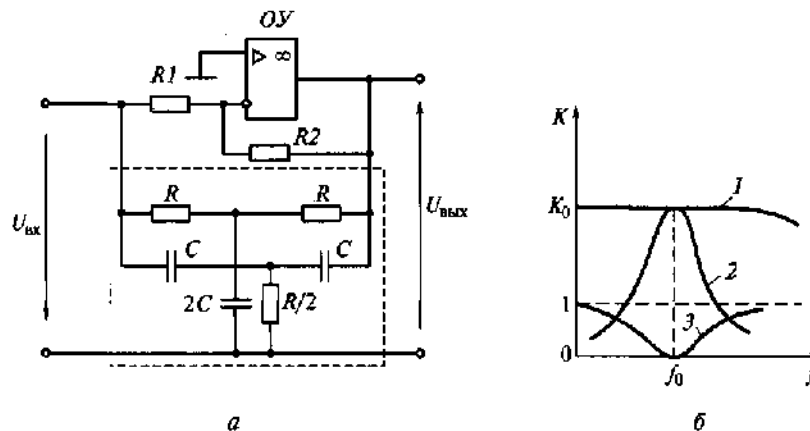


Рис. 2.15

теле $ОУ$ с частотно-зависимой отрицательной обратной связью в виде двойного Т-образного моста (отмечен штриховой рамкой).

Определите, какая из приведенных на рис. 2.15, б амплитудно-частотных характеристик принадлежит избирательному усилителю.

1. Характеристика 1. 2. Характеристика 2. 3. Характеристика 3.

2.34. По какой формуле определяется коэффициент усиления K_0 операционного усилителя $ОУ$ (см. рис. 2.15, а).

1. $K_0 = R_2/R_1$. 2. $K_0 = R_1/R_2$. 3. $K_0 = R_1/(R_1 + R_2)$.

2.2.3. Автогенераторы

2.35. На рис. 2.16 приведена общая структурная схема автогенератора синусоидальных колебаний. Коэффициент усиления $K = 110$, передаточный коэффициент положительной обратной связи $\beta = 0,01$. Возникнут ли в этом устройстве незатухающие колебания по условию баланса амплитуд?

1. Не возникнут.
2. Возникнут.
3. Незатухающие колебания будут срываться.

2.36. В автогенераторе, схема которого приведена на рис. 2.16, комплексные коэффициенты усилителя и звена положительной обратной связи равны соответственно $K = Ke^{j\varphi}$ и $\beta = \beta e^{j\psi}$, где φ — фазовый сдвиг усилителя; ψ — фазовый сдвиг звена обратной связи.

При каком условии баланса фаз в автогенераторе возникнут незатухающие колебания?

1. $\varphi + \psi = -180^\circ$.
2. $\varphi + \psi = 0^\circ$.
3. $\varphi + \psi = 45^\circ$.
4. $\varphi + \psi = 180^\circ$.

2.37. Какими из приведенных свойств обладает операционный усилитель, показанный на рис. 2.17? (Укажите неправильный ответ.)

1. Большой коэффициент усиления по напряжению ($K > 10\,000$).

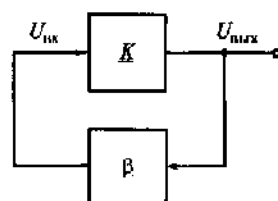


Рис. 2.16

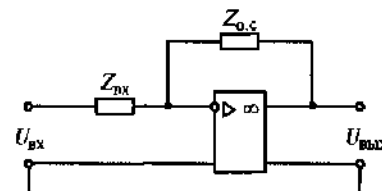


Рис. 2.17

2. Большой коэффициент усиления по мощности.
3. Большое входное сопротивление.
4. Низкое выходное сопротивление.
5. Способность осуществлять функциональное преобразование входного сигнала.

2.38. Чем отличается транзисторный автогенератор (рис. 2.18) от усилителя?

1. Характером нагрузки R_n .
2. Наличием положительной обратной связи.
3. Типом усилительного элемента VT .

2.39. При сборке схемы автогенератора (см. рис. 2.18) было нарушено условие баланса фаз (изменен знак обратной связи). Каким образом можно восстановить баланс фаз?

1. Поменять местами провода конденсатора C_K .
2. Заменить катушку индуктивности $L_{o.c.}$.
3. Поменять местами провода катушки индуктивности $L_{o.c.}$.

2.40. Какие параметры схемы, приведенной на рис. 2.18, надо изменить, чтобы обеспечить условие баланса амплитуд, т.е. соответствующий коэффициент обратной связи?

1. Значение E_K .
2. Значение коэффициента трансформации между L_K и $L_{o.c.}$.
3. Соотношение между сопротивлениями R_1 и R_2 .

2.41. В схеме RC -автогенератора (рис. 2.19) положительная обратная связь образована тремя RC -звеньями, каждое из которых

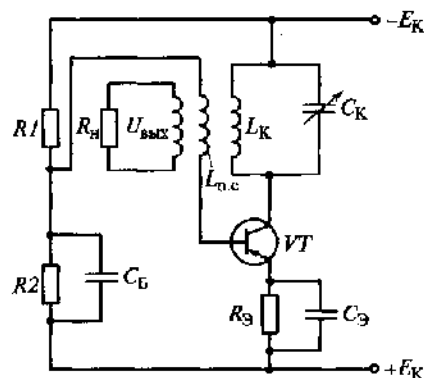


Рис. 2.18

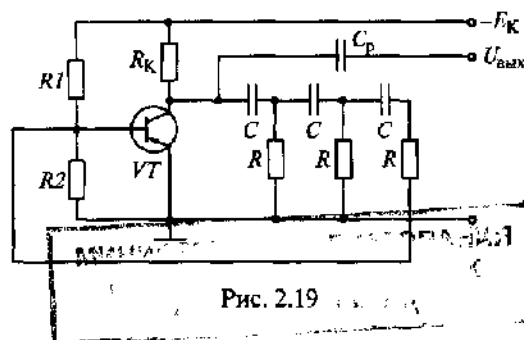


Рис. 2.19

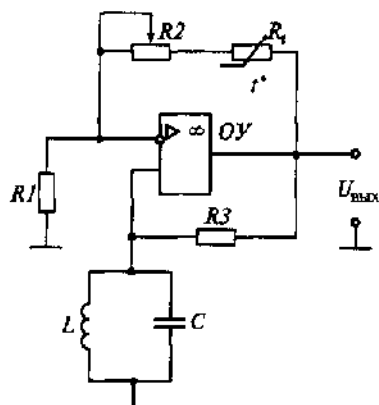


Рис. 2.20

обеспечивает одинаковый фазовый сдвиг 60° . Является ли такое соотношение фазового сдвига обязательным?

1. Является.
2. Не является. Важно лишь, чтобы общий сдвиг фаз составил 180° .
3. Это зависит от частоты генерируемых колебаний.

2.42.Р. Определите сопротивление резистора $R1$, при котором в синусоидальном автогенераторе LC -типа на операционном усилителе ОУ (рис. 2.20) возникнут незатухающие автоколебания, если

$R_3 = 100 \text{ кОм}$, а $R_2 + R_4 = 150 \text{ кОм}$, сопротивление резонансного контура на частоте f_0 $R_{\text{рез}} = 1 \text{ кОм}$.

1. $1,47 \text{ кОм}$.
2. $14,7 \text{ кОм}$.
3. 147 кОм .

2.2.4. Источники ЭДС и источники тока

2.43. Реальный источник электроэнергии имеет ЭДС E и внутреннее сопротивление $R_{\text{в}}$ (рис. 2.21, а). Здесь U — напряжение источника, $R_{\text{н}}$ — сопротивление нагрузки, I — ток нагрузки. Какая из схем I—III, представленных на рис. 2.21, б, соответствует идеальному источнику ЭДС?

1. I.
2. II.
3. III.

2.44. По условию задачи 2.43 определите, какая из схем на рис. 2.21, б соответствует идеальному источнику тока?

1. I.
2. II.
3. III.

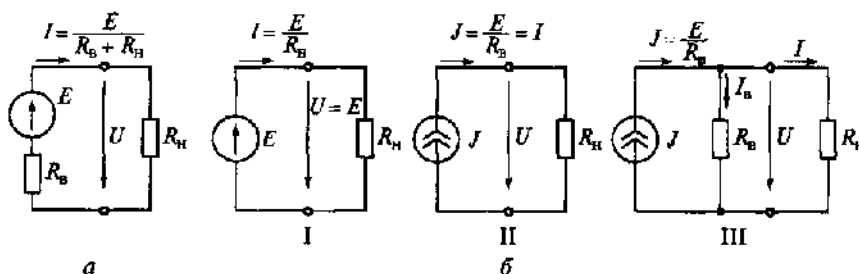


Рис. 2.21

2.45. По условию задачи 2.43 определите, какая из схем на рис. 2.21, б соответствует неидеальному (реальному) источнику тока?

1. I. 2. II. 3. III.

2.46. В инженерной практике для упрощения расчетов реальный источник электроэнергии представляют в виде источника ЭДС или в виде источника тока.

В каком случае целесообразно использование источника ЭДС?

1. $R_n \approx R_n$. 2. $R_n \ll R_n$. 3. $R_n \gg R_n$.

2.47. По условию задачи 2.46 определите, в каком случае целесообразно использование источника тока?

1. $R_n \approx R_n$. 2. $R_n \ll R_n$. 3. $R_n \gg R_n$.

2.48. Простейший источник тока выполнен по схеме, приведенной на рис. 2.22. Какой из перечисленных недостатков этого источника является наиболее существенным?

1. Должно выполняться условие $R_n \ll R$, или $U_n \ll U$.
2. Ток нагрузки I постоянен и приблизительно равен U/R .
3. Напряжение U выбирается большим.
4. На резисторе R рассеивается значительная мощность.

2.49.Р. Хороший источник тока можно построить на основе транзистора VT (рис. 2.23). Если напряжение на базе $U_{БЭ} > 0,6$ В, то эмиттерный переход транзистора находится в открытом состоянии: $U_Э = U_{БЭ} - 0,6$ В. В связи с этим

$$I_Э = \frac{U_Э}{R_Э} = \frac{U_{БЭ} - 0,6}{R_Э}.$$

Так как для больших значений

$h_{21Э} I_Э \approx I_K$, то $I_K \approx \frac{U_{БЭ} - 0,6}{R_Э}$ не-

зависимо от напряжения на коллекторе. Ток коллектора I_K поддерживается постоянным при условии, что транзистор VT находится в активном режиме работы.

До какой предельной нагрузки $R_{n \max}$ работает рассмотренный источник тока?

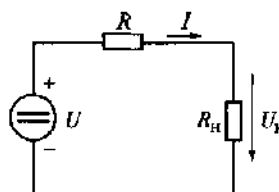


Рис. 2.22

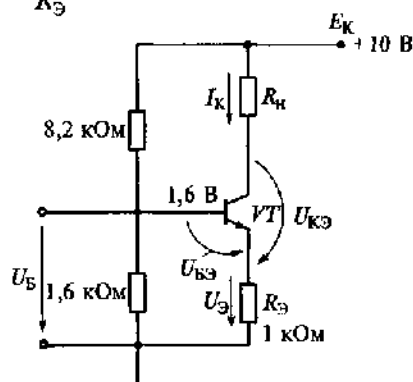


Рис. 2.23

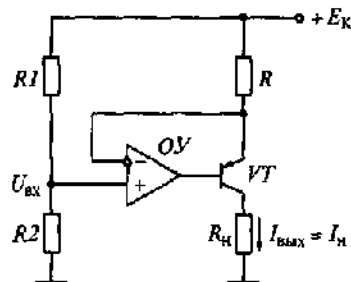


Рис. 2.24

1. $R_{н\max} = 1,6 \text{ кОм.}$
2. $R_{н\max} = 8,2 \text{ кОм.}$
3. $R_{н\max} = 8,8 \text{ кОм.}$

2.50. С помощью операционного усилителя OU и подключенного к нему транзистора VT можно построить простой и высококачественный источник тока (рис. 2.24).

Усилитель OU в данном случае работает в режиме повторителя напряжения. С помощью отрицательной обратной связи на резисторе R образуется падение напряжения, равное $E_K - U_{вх}$. Это напряжение создает эмиттерный ток, а следовательно, и выходной ток $I_{\text{вых}} = I_n$.

Несовершенство рассматриваемого источника тока состоит в том, что небольшой базовый ток транзистора изменяется в зависимости от напряжения $U_{КЭ}$. Погрешность возникает потому, что усилитель OU стабилизирует эмиттерный ток, а в нагрузку R_n поступает коллекторный ток.

Определите, какой из перечисленных способов обеспечивает наиболее полное устранение указанного недостатка.

1. Использование биполярного транзистора с большим коэффициентом усиления по току $\beta = h_{21Э}$.
2. Использование в качестве транзистора VT составного транзистора Дарлингтона.
3. Использование в схеме полевого транзистора вместо биполярного.

2.2.5. Операционные усилители

2.51. Усилители постоянного тока с непосредственной связью имеют существенный недостаток — дрейф нуля, затрудняющий усиление очень малых напряжений и токов.

Какой из перечисленных способов борьбы с дрейфом нуля является по вашему мнению наиболее эффективным?

1. Стабилизация напряжения источника питания.
2. Стабилизация температурного режима.
3. Тренировка транзисторов.
4. Использование дифференциальных (разностных) схем усилительных каскадов.

2.52. Один из способов снижения дрейфа нуля в усилителях постоянного тока основан на модуляции-демодуляции усиливаемого напряжения (рис. 2.25). В модуляторе M медленно изменяющееся входное напряжение $U_{вх}$ преобразуется в переменное на-

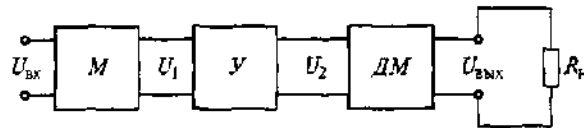


Рис. 2.25

пряжение U_1 частотой до 20 МГц. Напряжение U_1 усиливается обычным усилителем переменного тока $У$. Усиленное напряжение U_2 подается на демодулятор $ДМ$, который преобразует его в выходное напряжение $U_{вых}$, совпадающее по форме с напряжением $U_{вх}$.

Определите, какое из приведенных высказываний о рассмотренном усилителе постоянного тока не соответствует действительности?

1. В усилителе с модуляцией-демодуляцией дрейф нуля определяется только дрейфом модулятора $М$.
2. На выходе демодулятора $ДМ$ стоит сглаживающий фильтр.
3. Полоса пропускания частот усилителя с модуляцией-демодуляцией меньше, чем у усилителя с непосредственной связью между каскадами.
4. В усилителе с модуляцией-демодуляцией имеет место плохая амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) в области низких частот.
5. В усилителе с модуляцией-демодуляцией существует «завал» коэффициента усиления в области высоких частот.
6. Для улучшения АЧХ увеличивают частоту модуляции.

2.53. На рис. 2.26, а приведена схема инвертирующего операционного усилителя, а на рис. 2.26, б — характеристики вход-выход операционного усилителя для инвертирующего и неинвертирующего включения.

Какие характеристики на рис. 2.26, б относятся к инвертирующему операционному усилителю?

1. I и III. 2. II и IV. 3. III и IV. 4. I и II.

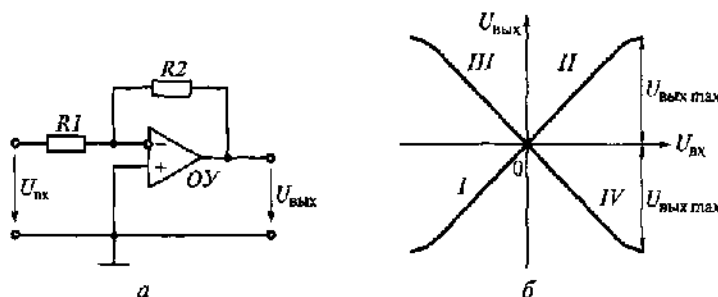


Рис. 2.26

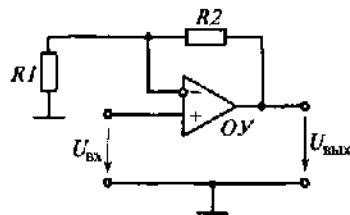


Рис. 2.27

2.54. На рис. 2.27 приведена схема неинвертирующего операционного усилителя. Какие характеристики из приведенных на рис. 2.26, б относятся к этому усилителю?

1. I и III. 2. II и IV. 3. III и IV.
4. I и II.

2.55. Какая формула справедлива для коэффициента усиления $K_U = U_{\text{вых}}/U_{\text{вх}}$ инвертирующего операционного усилителя, схема которого приведена на рис. 2.26, а?

1. $K_U = -R_2/R_1$.
2. $K_U = 1 + R_2/R_1$.
3. $K_U = -R_2/(R_1 + R_2)$.
4. $K_U = 1 + R_2/(R_1 + R_2)$.

2.56. Какая формула справедлива для коэффициента усиления $K_U = U_{\text{вых}}/U_{\text{вх}}$ неинвертирующего операционного усилителя, схема которого приведена на рис. 2.27?

1. $K_U = -R_2/R_1$.
2. $K_U = 1 + R_2/R_1$.
3. $K_U = -R_2/(R_1 + R_2)$.
4. $K_U = 1 + R_2/(R_1 + R_2)$.

2.57. Какую операцию с входным сигналом $U_{\text{вх}}$ выполняет операционный усилитель, включенный по схеме, приведенной на рис. 2.28?

1. Дифференцирование.
2. Интегрирование.
3. Пропорциональное усиление.

2.58. Какую операцию с входным сигналом $U_{\text{вх}}$ выполняет операционный усилитель, включенный по схеме, приведенной на рис. 2.29?

1. Дифференцирование.
2. Интегрирование.
3. Пропорциональное усиление.

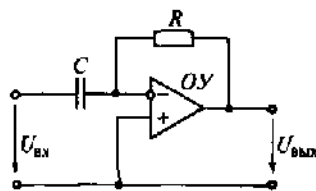


Рис. 2.28

2.59. В соответствии с какой формулой изменяется выходное напряжение $U_{\text{вых}}$ операционного усилителя, включенного по схеме, приведенной на рис. 2.28?

1. $U_{\text{вых}} = -RC \frac{dU_{\text{вх}}}{dt}$.

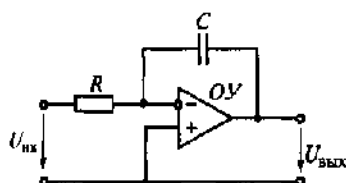


Рис. 2.29

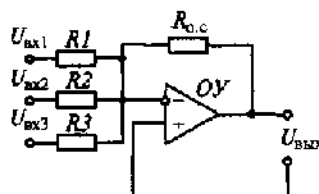


Рис. 2.30

$$2. U_{\text{вых}} = -\frac{1}{RC} \int U_{\text{вх}} dt.$$

$$3. U_{\text{вых}} = -|U_{\text{вх}}|.$$

2.60. В соответствии с какой формулой изменяется выходное напряжение $U_{\text{вых}}$ операционного усилителя, включенного по схеме, приведенной на рис. 2.29?

$$1. U_{\text{вых}} = -RC \frac{dU_{\text{вх}}}{dt}.$$

$$2. U_{\text{вых}} = -\frac{1}{RC} \int U_{\text{вх}} dt.$$

$$3. U_{\text{вых}} = -|U_{\text{вх}}|.$$

2.61. Схема сумматора на операционном усилителе приведена на рис. 2.30. Рассчитайте сопротивления резисторов R_1 , R_2 , R_3 сумматора, обеспечивающих следующую зависимость выходного напряжения: $U_{\text{вых}} = -(3U_{\text{вх1}} + 15U_{\text{вх2}} + 5U_{\text{вх3}})$. Сопротивление резистора обратной связи $R_{\text{о.с}} = 150$ кОм. (Укажите ответ, в котором содержится ошибка.)

$$1. R_1 = 50 \text{ кОм.} \quad 2. R_2 = 20 \text{ кОм.} \quad 3. R_3 = 30 \text{ кОм.}$$

2.62. Найдите передаточные коэффициенты K_1 , K_2 , K_3 сумматора (см. рис. 2.30) по напряжениям $U_{\text{вх1}}$, $U_{\text{вх2}}$, $U_{\text{вх3}}$, если $R_1 = 10$ кОм, $R_2 = 5$ кОм, $R_3 = 20$ кОм, а $R_{\text{о.с}} = 10$ кОм. (Укажите коэффициент, который определен неверно.)

$$1. K_1 = 1. \quad 2. K_2 = 2. \quad 3. K_3 = 5.$$

ГЛАВА 3

ПОЗИЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ СЧИСЛЕНИЯ

3.1. Основные положения и расчетные формулы

Записи числа в десятичной и двоичной системах счисления:

$$N_{10} = K \cdot 10^n + K \cdot 10^{n-1} + \dots + K \cdot 10^1 + K \cdot 10^0 + K \cdot 10^{-1} + K \cdot 10^{-2} + \dots;$$

$$N_2 = K \cdot 2^n + K \cdot 2^{n-1} + \dots + K \cdot 2^1 + K \cdot 2^0 + K \cdot 2^{-1} + K \cdot 2^{-2} + \dots,$$

где $K=1$ или 0 ; n — номер старшего разряда.

Основные арифметические операции в двоичной системе счисления:

двоичное сложение

Слагаемые		Сумма	Перенос
0 + 0	=	0	0
0 + 1	=	1	0
1 + 0	=	1	0
1 + 1	=	0	1

двоичное вычитание

Уменьшаемое		Вычитаемое		Разность	Засм
0	-	0	=	0	0
0	-	1	=	1	1
1	-	0	=	1	0
1	-	1	=	0	0

двоичное умножение

Множимое		Множитель		Произведение
0	×	0	=	0
0	×	1	=	0
1	×	0	=	0
1	×	1	=	1

двоичное деление

Делимое	Делитель	Частное
0	: 0	= ?
0	: 1	= 0
1	: 0	= ?
1	: 1	= 1

В машинных операциях с двоичными числами важное значение имеет дополнительный код. Чтобы получить дополнительный код двоичного числа, надо в этом числе заменить 0 на 1, а 1 на 0 и к полученному числу прибавить 1. Например, если исходное число равно 10010, то дополнительный код равен $01101 + 1 = 01110$.

Для упрощения (а следовательно, повышения надежности) арифметических устройств вычислительных машин предпочитают вычитание числа заменять его сложением в дополнительном коде. Умножение и деление тоже заменяют сложением соответственно в прямом и дополнительном кодах. Таким образом, все арифметические операции в машине сводятся к одной: сложению двоичных чисел [3, 4, 10].

Веса первых 13 позиций (разделов) цифр двоичного числа приведены в табл. 3.1, а эквиваленты десятичных чисел в двоичной, восьмеричной и шестнадцатеричной системах счисления — в табл. 3.2.

Таблица 3.1

Веса первых 13 позиций (разрядов) цифр двоичного числа

2^{12}	2^{11}	2^{10}	2^9	2^8	2^7	2^6	2^5	2^4	2^3	2^2	2^1	2^0
4096	2048	1024	512	256	128	64	32	16	8	4	2	1

Таблица 3.2

Десятичные числа и их эквиваленты в двоичной, восьмеричной и шестнадцатеричной системах счисления

Десятичное число	Двоичное число	Восьмеричное число	Шестнадцатеричное число
0	0	0	0
1	1	1	1
2	10	2	2
3	11	3	3
4	100	4	4

Окончание табл. 3.2

Десятичное число	Двоичное число	Восьмеричное число	Шестнадцатеричное число
5	101	5	5
6	110	6	6
7	111	7	7
8	1000	10	8
9	1001	11	9
10	1010	12	A
11	1011	13	B
12	1100	14	C
13	1101	15	D
14	1110	16	E
15	1111	17	F
16	10000	20	10

3.2. Задачи

3.1. Приведено арифметическое сложение одноразрядных двоичных чисел. В какой строке допущена ошибка?

1. $0 + 0 = 0$.
2. $0 + 1 = 1$.
3. $1 + 0 = 1$.
4. $1 + 1 = 1$.
5. $1 + 1 = 10$.
6. $1 + 1 + 1 = 11$.

3.2. Приведено логическое сложение двоичных чисел. В какой строке допущена ошибка?

1. $0 + 0 = 0$.
2. $0 + 1 = 1$.
3. $1 + 1 = 1$.
4. $1 + 1 + 1 = 1$.
5. $1 + 1 = 10$.

3.3.Р. В какой системе счисления нельзя написать число 125?

1. В пятеричной.
2. В шестеричной.
3. В восьмеричной.

3.4. Сколько единиц в десятичной системе соответствуют записи числа в двоичной системе $1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0$?

1. Три.
2. Четыре.
3. Пять.

3.5. Какое преимущество двоичной системы обеспечило ее широкое применение в ЭВМ?

1. Экономичность.
2. Минимальное число символов.
3. Простота перевода в восьмеричную систему.

3.6. Какому числу в десятичной системе счисления соответствует двоичное число 1100_2 ?

1. 10.
2. 11.
3. 12.

3.7.Р. Какому числу в десятичной системе счисления соответствует троичное число 1100_3 ?

1. 12.
2. 24.
3. 36.

3.8.Р. Переведите в десятичную систему счисления число 110_5 .

1. 10.
2. 20.
3. 30.

3.9. Какому числу в двоичной системе счисления соответствует десятичное число 21_{10} ?

1. 102.
2. 10101.
3. 100110.

3.10. Укажите результат сложения двоичных чисел 1001 и 11001.

1. 11111.
2. 100010.
3. 10101.

3.11.Р. Укажите результат сложения двоичных чисел 1111 и 111.

1. 11111.
2. 10110.
3. 100000.

3.12. Найдите дополнительный код двоичного числа 0111.

1. 1000.
2. 1001.
3. 1010.

3.13. Для выполнения какой операции нет необходимости в дополнительном коде?

1. Вычитание.
2. Деление.
3. Умножение.

3.14.Р. Осуществите следующие операции вычитания: $1101 - 111$, $101101 - 100111$, $1110010 - 1011101$.

Для каждой из трех пар чисел приведен свой ответ. Какой из них неправильный?

1. 110. 2. 101. 3. 0010101.

3.15.Р. Вычислите разность $58 - 23$ в двоичной арифметике с определением дополнительного кода. (Укажите правильный ответ.)

1. 0001.0011. 2. 0010.0011. 3. 0010.1100.

3.16.Р. Вычислите разность $26 - 34$ в двоичной арифметике с определением дополнительного кода. (Укажите правильный ответ.)

1. 0000.1000. 2. 0000.0100. 3. 0001.1000.

3.17. Простой способ двоичного умножения, получивший название «умножение путем сдвига и сложения», проиллюстрируем на следующем примере:

$$\begin{array}{rcl} \times 0110 & \text{—} & \text{множимое } 6_{10} \\ 1011 & \text{—} & \text{множитель } 11_{10} \\ \hline 0110 & \text{—} & \text{первое частичное произведение} \\ 0110 & \text{—} & \text{второе частичное произведение} \\ 0000 & \text{—} & \text{третье частичное произведение} \\ 0110 & \text{—} & \text{четвертое частичное произведение} \\ \hline 100.0010 & \text{—} & \text{результат } (66_{10}) \end{array}$$

Определите, какое из перечисленных основных правил этого способа умножения неверное?

1. Формирование первого частичного произведения производится путем умножения множимого на младший разряд множителя 1.

2. Если значение младшего разряда множителя равно 0, то результат равен 0; если значение этого разряда 1, то результат является копией множимого.

3. Правило сдвига: при использовании очередного разряда множителя частичное произведение сдвигается на один разряд (позицию) влево.

4. Искомое произведение есть результат сложения всех частичных произведений.

5. При сложении частичных произведений переносы не учитывают.

6. Возникающие при сложении переносы должны быть учтены при определении конечного результата.

3.18.Р. Используя процедуру двоичного деления путем вычитания и сдвига, выполните деление следующих положительных чи-

сел: 11110/101; 10101/111; 101000/100; 1001/11; 1100011/1001;
10000100/1100.

Проверьте приведенные для каждой из шести пар чисел ответы, используя процедуры двоичного и десятичного деления «в столбик». Какой ответ неправильный?

1. 111. 2. 11. 3. 1010. 4. 11. 5. 1011. 6. 1011.

ГЛАВА 4

ОСНОВЫ ЦИФРОВОЙ ТЕХНИКИ

4.1. Основные положения и расчетные формулы

4.1.1. Типовые логические элементы. Схемотехника логических элементов

В системах автоматического управления нашли широкое применение дискретные схемы, осуществляющие управление исполнительными органами (электродвигателями, электромагнитами и т.п.) в соответствии с сигналами оператора на основе информации, полученной от датчиков промышленного оборудования [6, 7, 11].

Входные и выходные сигналы дискретных устройств могут принимать только два фиксированных значения: 0 и 1. В положительной системе логических элементов за 1 принимают высокий уровень напряжения U^1 , за 0 — низкий уровень напряжения U^0 . В отрицательной логике, наоборот: 1 — низкий уровень сигнала, 0 — высокий.

В настоящей главе использована положительная логика. Входная переменная обозначается символом x , выходная — символом Y , их инверсные значения — соответственно $\bar{x}$ и $\bar{Y}$. Простые логические переменные обозначаются x, y, z .

Правила логического сложения:

$$0 + 0 = 0, \quad 0 + 1 = 1, \quad 1 + 0 = 1, \quad 1 + 1 = 1.$$

Последнее сочетание отличается от арифметического сложения.

Правила логического умножения такие же, как у арифметического умножения:

$$0 \cdot 0 = 0, \quad 0 \cdot 1 = 0, \quad 1 \cdot 0 = 0, \quad 1 \cdot 1 = 1.$$

В дискретных логических схемах возможна двойная инверсия, которая согласно законам алгебры логики приводит к исходной функции

$$\overline{\bar{x}} = x.$$

Для логического сложения справедливы следующие правила суммирования с нулем и единицей:

$$x + 0 = x, \quad x + 1 = 1.$$

Умножение логической переменной на нуль и единицу:

$$x \cdot 0 = 0, \quad x \cdot 1 = x.$$

Умножение логической переменной на саму себя и на ее инверсию

$$xx = x, \quad x\bar{x} = 0.$$

Сумма логической переменной и ее инверсии равна единице:

$$x + \bar{x} = 1.$$

Сумма логической переменной с ею самой равна этой же логической переменной:

$$x + x = x.$$

В алгебре логики используют следующие основные законы:

распределительный

$$x(y + z) = xy + xz;$$

сочетательный

$$x(yz) = (xy)z = xyz;$$

переместительный

$$xy = yx,$$
$$x + y = y + x;$$

поглощения

$$x + xy = x, \quad x(x + y) = x;$$

склеивания

$$xy + \bar{x}y = y, \quad (x + y)(\bar{x} + y) = y.$$

Кроме того, в алгебре логики широко применяются законы инверсии, справедливые для двух и более переменных.

Инверсия конъюнкции есть дизъюнкция инверсий:

$$\overline{x_1 x_2} = \bar{x}_1 + \bar{x}_2.$$

Инверсия дизъюнкции есть конъюнкция инверсий:

$$\overline{x_1 + x_2} = \bar{x}_1 \bar{x}_2.$$

Булеву функцию, описывающую работу логического устройства, задают тремя способами:

словесным описанием;
таблично;
логической функцией.

Логические элементы вместе с запоминающими элементами составляют основу устройств цифровой (дискретной) обработки информации вычислительных машин, цифровых измерительных

приборов и устройств автоматики. Логические элементы выполняют логические операции над цифровой информацией, а запоминающие элементы служат для ее хранения.

Логические элементы чаще всего строят на базе электронных устройств, работающих в ключевом режиме, поэтому цифровую информацию обычно представляют в двоичной форме 0 и 1 (логический ноль и логическая единица) соответственно двум состояниям ключа.

В специальных случаях используется тристабильная логика, когда логические устройства формируют на своих выходах не только логический ноль и логическую единицу, но при необходимости отключаются от шины. Это третье, высокоимпеданское, состояние вводят по сигналу разрешения EN или сигналу выбора кристалла CS .

Обозначения основных логических элементов в соответствии с английским (BS) и американским (MIL/ANSI) стандартами показаны на рис. 4.1. Кружок на выходе логического элемента означает инверсию.

Логическую формулу можно составить по таблице истинности в двух видах: СДНФ (совершенная дизъюнктивная нормальная форма) и СКНФ (совершенная конъюнктивная нормальная форма).

Переход от таблицы истинности к логической функции СДНФ осуществляется следующим образом. Для каждого набора, на котором функция F равна единице, записывается элементарное произведение входных переменных (аргументов). Если аргумент в этом наборе имеет значение 0, то пишется его инверсия. Затем производится логическое сложение всех элементарных произведений.

Для перехода к стандартной форме СКНФ необходимо для каждого набора, на котором функция F равна нулю, составить элементарную сумму. Если аргумент в этом наборе имеет значение 1, то пишется его инверсия. Затем эти элементарные суммы объединяются операцией логического умножения.

После составления логической формулы при переходе от таблиц к формуле ее следует упростить. Цель упрощения состоит в получении минимального числа элементов в схеме. Минимизация логической функции проводится с помощью алгебраических преобразований или с использованием карт Карно. При алгебраических преобразованиях выполняются правила приоритета: в первую очередь вычисляются выражения в скобках; операция И совершается перед операцией ИЛИ.

В методе алгебраических преобразований в функции, составленной в форме СДНФ, отыскиваются все соседние слагаемые и производится их склеивание. Если возможно, проводят групповое склеивание слагаемых, имеющих общие переменные. Эти общие переменные выносят за скобки, а в скобках остается группа сла-

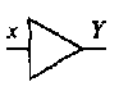
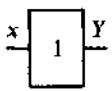
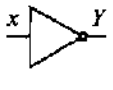
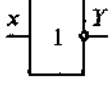
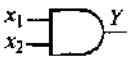
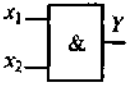
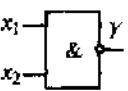
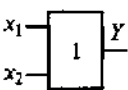
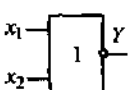
Логическая функция элемента	Обозначение по стандарту MIL/ANSI	Обозначение по стандарту BS3939	Таблица истинности															
Повторитель (буфер)			<table><tr><th>x</th><th>Y</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td></tr></table>	x	Y	0	0	1	1									
x	Y																	
0	0																	
1	1																	
Инвертор НЕ			<table><tr><th>x</th><th>Y</th></tr><tr><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td></tr></table>	x	Y	0	1	1	0									
x	Y																	
0	1																	
1	0																	
И			<table><tr><th>x₁</th><th>x₂</th><th>Y</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	x ₁	x ₂	Y	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1
x ₁	x ₂	Y																
0	0	0																
0	1	0																
1	0	0																
1	1	1																
И-НЕ			<table><tr><th>x₁</th><th>x₂</th><th>Y</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	x ₁	x ₂	Y	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0
x ₁	x ₂	Y																
0	0	1																
0	1	1																
1	0	1																
1	1	0																
ИЛИ			<table><tr><th>x₁</th><th>x₂</th><th>Y</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	x ₁	x ₂	Y	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1
x ₁	x ₂	Y																
0	0	0																
0	1	1																
1	0	1																
1	1	1																
ИЛИ-НЕ			<table><tr><th>x₁</th><th>x₂</th><th>Y</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	x ₁	x ₂	Y	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1
x ₁	x ₂	Y																
0	0	1																
0	1	0																
1	0	0																
1	1	1																

Рис. 4.1 (см. также с. 50)

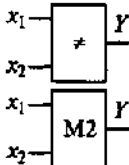
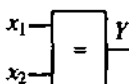
Логическая функция элемента	Обозначение по стандарту MIL/ANSI	Обозначение по стандарту BS3939	Таблица истинности															
«Неравнозначность» («Исключающее ИЛИ», «Сложение по модулю 2»)			<table><tr><th>x_1</th><th>x_2</th><th>Y</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	x_1	x_2	Y	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0
x_1	x_2	Y																
0	0	0																
0	1	1																
1	0	1																
1	1	0																
«Равнозначность» («Исключающее ИЛИ—НЕ»)			<table><tr><th>x_1</th><th>x_2</th><th>Y</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	x_1	x_2	Y	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1
x_1	x_2	Y																
0	0	1																
0	1	0																
1	0	0																
1	1	1																

Рис. 4.1. Окончание

гаемых более низкого ранга. Для удобства склеивания, в том числе и группового, при необходимости добавляют слагаемые, уже имеющиеся в исходной структурной формуле.

После того как все возможности склеивания исчерпаны, делается попытка исключить избыточные слагаемые применением закона поглощения. В результате остается неизбыточная, или так называемая тупиковая, форма. Если для одной и той же функции существует несколько тупиковых форм, то выбирается минимальная. Затем по ней составляется схема.

Простейшие логические элементы И и ИЛИ могут быть построены на диодах. В качестве элемента НЕ обычно используется транзисторный ключ с ОЭ. Различают следующие типы логических элементов:

- резисторно-транзисторные (РТЛ);
- диодно-транзисторные (ДТЛ);
- транзисторно-транзисторные (ТТЛ);
- МОП и КМОП.

Схемы РТЛ имеют невысокое быстродействие и потребляют значительную мощность. Объединение диодной логики с транзисторным элементом позволило создать схемы ДТЛ. Однако при переходе к массовому выпуску цифровых микросхем выяснилось, что для получения высокого быстродействия входную диодную логику выгоднее заменить интегральным многоэмиттерным транзистором (ТТЛ).

Стремление повысить быстродействие привело к разработке так называемых ТТЛШ-элементов (транзисторно-транзисторная логика с использованием эффекта Шоттки).

Применение полевых транзисторов, обладающих высоким входным сопротивлением, позволило разработать экономичные МОП-транзисторы, а из многочисленных серий цифровых интегральных схем — КМОП-микросхемы, т. е. микросхемы с комплементарными парами транзисторов. Более простая технология получения МОП-транзисторов с индуцированным каналом и КМОП-схемотехника позволили создать весьма экономичные микросхемы высокой степени интеграции. Недостаток схем на полевых транзисторах заключается в их несколько меньшем быстродействии по сравнению с ТТЛ и ТТЛШ-элементами.

Помимо рассмотренных существуют логические элементы других типов, например ЭСТЛ-элементы (эмиттерно связанной транзисторной логики). Они обладают высоким быстродействием, но потребляют большое количество энергии от источника питания.

Логические элементы характеризуются нагрузочной способностью, быстродействием (временем задержки), предельной рабочей частотой, помехоустойчивостью и потребляемой мощностью.

4.1.2. Импульсные устройства

Импульсный режим работы имеет ряд преимуществ перед непрерывным.

Во-первых, в импульсном режиме может быть достигнута значительная мощность во время действия импульсов при малом значении средней мощности устройства.

Во-вторых, импульсный режим позволяет ослабить влияние температуры и разброса параметров полупроводниковых приборов на работу устройств.

В-третьих, импульсный режим дает возможность повысить скорость передачи информации и помехоустойчивость электронной аппаратуры.

В-четвертых, переход к дискретному представлению сигналов позволяет резко повысить точность измерительных устройств.

Для реализации импульсных устройств требуется большое число сравнительно простых однотипных элементов, легко выполняемых методами интегральной технологии. Импульсные устройства широко распространены в вычислительной технике, радиолокации, телевидении, автоматике, промышленной электронике.

Импульсный режим лежит в основе работы ЭВМ [1, 6, 11].

В импульсных устройствах используются видеоимпульсы следующих форм: прямоугольные, трапецеидальные, экспоненциальные, колоколообразные и пилообразные. В радиолокации применяются радиоимпульсы.

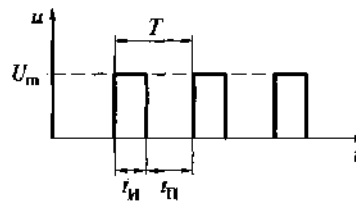


Рис. 4.2

Обычно импульсы следуют периодически с периодом

$$T = t_n + t_{п},$$

где t_n , $t_{п}$ — продолжительность соответственно импульса и паузы (рис. 4.2).

Частота повторения прямоугольных импульсов $F = 1/T$. Скважность $Q = T/t_n$ в автоматике и вычислительной технике колеблется в пределах 2...10, а в радиолокации она может достигать 10 000.

Иногда помимо скважности в расчетах используют коэффициент заполнения $\gamma = t_n/T$. Если $t_n = t_{п}$, т.е. $Q = 2$, то такую периодическую последовательность называют меандром.

Упомянутые ранее формы имеют только идеализированные импульсы. Реальные импульсы искажены, что выражается в замедлении нарастания и убывания импульса, в спаде его плоской вершины (рис. 4.3).

Реальные импульсы характеризуются следующими основными параметрами:

U_m — амплитуда импульса;

t_{ϕ} — длительность фронта импульса — время нарастания его от $0,1U_m$ до $0,9U_m$;

t_c — длительность среза импульса — время убывания его от $0,9U_m$ до $0,1U_m$;

ΔU — спад вершины импульса.

Длительность импульса t_n , так называемую активную длительность, отсчитывают на уровне $0,5U_m$. Прямоугольным называется импульс, у которого длительности фронта и среза меньше $1/10$ длительности импульса.

Большинство серий современных цифровых микросхем питается импульсами, положительными относительно общего провода. Операционные усилители и некоторые типы компараторов питаются двухполярным напряжением. Такие микросхемы пригодны для работы с разнополярными импульсами. В импульсных

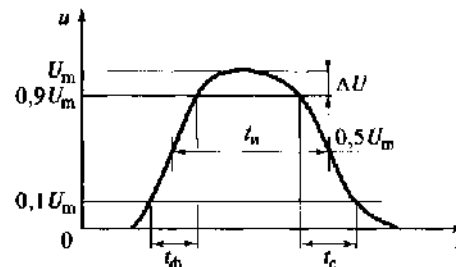


Рис. 4.3

устройствах имеют место импульсы высокого уровня, но передки и импульсы низкого уровня.

Импульсное напряжение принимает то высокий уровень U^1 , то низкий U^0 .

Положительный перепад напряжения от U^0 к U^1 или тока называют фронтом. В таблицах и на схемах его изображают знаком $\lceil$ (реже $\uparrow$), а в тексте 0.1.

Отрицательный перепад напряжения от U^1 к U^0 или тока принято называть срезом (спадом, задним фронтом). В таблицах и на схемах его изображают знаком $\rfloor$ (реже $\downarrow$), а в тексте 1.0.

Импульсные устройства выполняются как на цифровых, так и на аналоговых микросхемах. Наиболее распространенными семействами микросхем являются ТТЛ, КМОП. Широко используются операционные усилители, таймеры.

Триггеры в отличие от логических элементов обладают памятью.

Одновибратор (ждущий мультивибратор, моновибратор) предназначен для генерации одиночного прямоугольного импульса заданной длительности при воздействии запускающего импульса.

Автогенераторы прямоугольных импульсов (колебательные мультивибраторы) в отличие от одновибраторов характеризуются двумя чередующимися временно устойчивыми состояниями высокого и низкого напряжения. Частоту генерирования задают хронизирующие (времязадающие) элементы — RC -цепь (одна или две). В режиме автоколебаний состояния устойчивого равновесия нет, а существуют два чередующихся состояния квазиравновесия.

Релаксационные генераторы основаны на использовании усилителей с положительной обратной связью или приборов с отрицательным сопротивлением (туннельные диоды, тиристоры) [2, 8].

4.2. Задачи

4.2.1. Типовые логические элементы

4.1. Жизнь на планете Земля возникла при выполнении следующих необходимых условий: приемлемое расстояние от Солнца (на близкой к Солнцу Венере слишком жарко, на удаленном Марсе слишком холодно); определенная масса планеты (Луна по массе слишком мала); наличие атмосферы определенной плотности (при разреженной атмосфере нечем дышать, слишком плотная атмосфера затрудняет дыхание).

Какой логической функцией можно квалифицировать возможность возникновения жизни на Земле?

1. И.
2. ИЛИ.
3. НЕ.

4.2. Оцените правильность высказываний, характеризующих свойства цифровых сигналов и отличие их от аналоговых. В каком высказывании допущена ошибка?

1. Аналоговые сигналы имеют бесконечное число уровней напряжения или тока, они плавно переходят с одного уровня на другой.

2. В цифровых схемах используются только два дискретных уровня сигнала (высокий и низкий), а промежуточные состояния игнорируются.

3. В цифровых схемах изменение сигналов происходит резко и быстро.

4. В обычной (положительной) логике имеются следующие состояния: логический 0 при низком уровне сигнала, логическая 1 при высоком уровне сигнала.

5. В отрицательной логике высокий уровень сигнала соответствует логическому 0, а низкий уровень — логической 1.

6. Функциональная роль логического элемента одинакова как в положительной логике, так и в отрицательной.

7. Функциональная роль логического элемента различна с позиций положительной и отрицательной логики.

4.3. Схема на рис. 4.4, *а* содержит замыкающий ключ x и лампу L . Какому логическому элементу из приведенных на рис. 4.4, *б* соответствует эта схема? Учтите, что x — входная величина, а Y — выходная.

1. I. 2. II. 3. III. 4. IV.

4.4. Схема на рис. 4.5 содержит размыкающий ключ $\bar{x}$ и лампу L . Какому логическому элементу из приведенных на рис. 4.4, *б* соответствует эта схема? Здесь $\bar{x}$ — входная величина, а Y — выходная.

1. I. 2. II. 3. III. 4. IV.

4.5. На рис. 4.6 приведена схема транзисторного ключа на биполярном транзисторе VT (схема с общим эмиттером). Какому логическому элементу из приведенных на рис. 4.4, *б* она соответствует?

1. I. 2. II. 3. III. 4. IV.

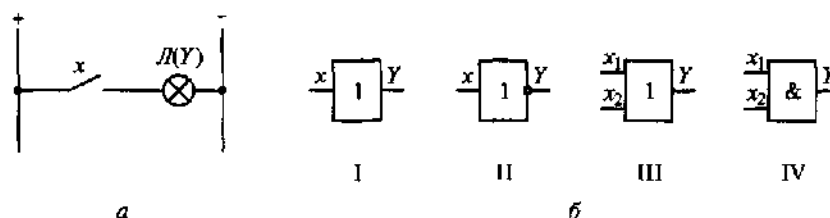


Рис. 4.4

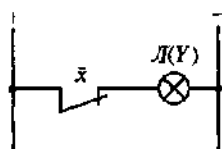


Рис. 4.5

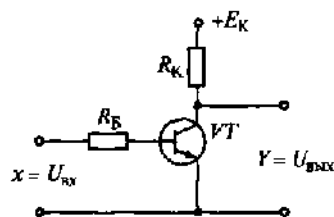
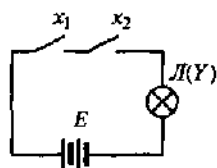


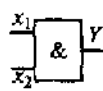
Рис. 4.6

4.6. Схема на рис. 4.7, а содержит лампу L , два ключа x_1 и x_2 и батарею E . Какому логическому элементу из приведенных на рис. 4.7, б соответствует эта схема?

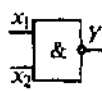
1. I. 2. II. 3. III. 4. IV.



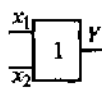
а



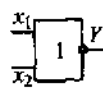
I



II



III



IV

б

Рис. 4.7

4.7. Схема на рис. 4.8 содержит лампу L , два ключа x_1 и x_2 и батарею E . Какому логическому элементу из приведенных на рис. 4.7, б соответствует эта схема?

1. I. 2. II. 3. III. 4. IV.

4.8. Какая из логических схем, представленных на рис. 4.9, не является элементом НЕ?

1. I. 2. II. 3. III. 4. IV.

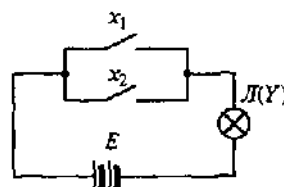


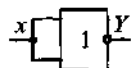
Рис. 4.8



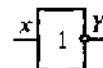
I



II



III



IV

Рис. 4.9

1. $x_1 x_2 = Y$.
2. $\bar{x}_1 + x_2 = \bar{Y}$.
3. $x_1 + \bar{x}_2 = Y$.
4. $\bar{x}_1 + x_2 = Y$.
5. $x_1 + x_2 = Y$.

4.10. Какой из приведенных на рис. 4.10 символов используется для обозначения логического элемента ИЛИ — НЕ?

1. I. 2. II. 3. III. 4. IV. 5. V. 6. VI.

4.11. Какой из приведенных на рис. 4.10 символов используется для обозначения логического элемента И — НЕ?

1. I. 2. II. 3. III. 4. IV. 5. V. 6. VI.

4.12. Какой из приведенных на рис. 4.10 символов используется для обозначения логического элемента «Неравнозначность», называемого также «Исключающее ИЛИ», «Сложение по модулю 2»?

1. I. 2. II. 3. III. 4. IV. 5. V. 6. VI.

4.13. На рис. 4.11 показана схема включения светодиода VD высоким уровнем напряжения $U_{\text{вх}} = U^1$. В каком из приведенных высказываний о свойствах светодиода содержится ошибка?

1. Светодиод испускает свет при приложении к нему обратного напряжения.
2. Светодиод испускает свет тогда, когда ток через него протекает в прямом направлении.
3. По мере увеличения тока, протекающего через светодиод, возрастает интенсивность излучаемого им света.
4. Для того чтобы светодиод не вышел из строя, последовательно с ним включают ограничивающий резистор $R_{\text{огр}}$.

4.14. На рис. 4.12 показана схема включения светодиода VD параллельно транзистору VT . Определите, в каком из приведенных высказываний содержится ошибка.

1. Светодиод включается низким уровнем напряжения $U_{\text{вх}} = U^0$.
2. Светодиод включается высоким уровнем напряжения $U_{\text{вх}} = U^1$.
3. Свечение светодиода указывает на наличие высокого потенциала.

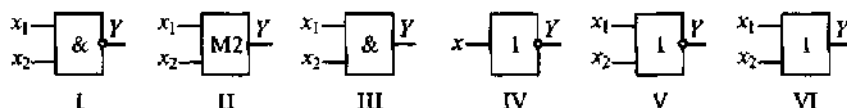


Рис. 4.10

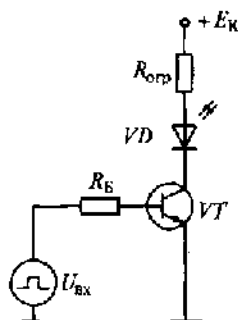


Рис. 4.11

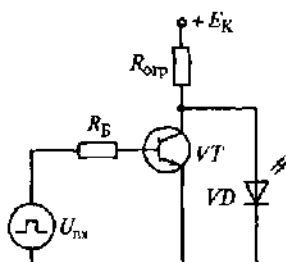


Рис. 4.12

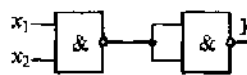


Рис. 4.13

4. Светодиоды используются в индикаторах, например в семи-
сегментном светодиодном индикаторе.

4.15. Какую функцию выполняет логическая схема, приведенная на рис. 4.13?

1. НЕ.
2. ИЛИ.
3. И.

4.16.Р. Какую функцию выполняет логическая схема, показанная на рис. 4.14?

1. НЕ.
2. ИЛИ.
3. И.

4.17. Какая из приведенных логических формул относится к элементу И—ИЛИ—НЕ, схема которого показана на рис. 4.15?

1. $Y = x_1x_2 + x_3x_4$.
2. $Y = \overline{x_1x_2 + x_3x_4}$.
3. $Y = (x_1 + x_2)(x_3 + x_4)$.

4.18. На рис. 4.16, а приведена схема логического элемента «Сложение по модулю 2» («Неравнозначность», «Исключающие ИЛИ»),

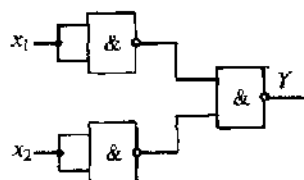


Рис. 4.14

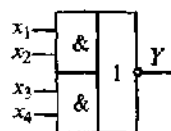


Рис. 4.15

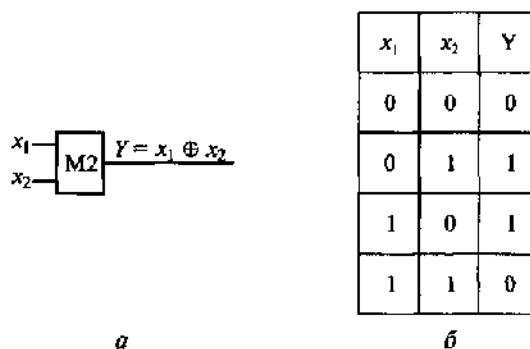


Рис. 4.16

а на рис. 4.16, б — таблица истинности реализуемой этим элементом функции.

Составьте по таблице истинности логическую формулу данной функции по СДНФ (совершенная дизъюнктивная нормальная форма). (Укажите правильный ответ.)

1. $Y = x_1 x_2 + \overline{x_1 x_2}$.
2. $Y = \overline{x_1} x_2 + x_1 \overline{x_2}$.
3. $Y = \overline{\overline{x_1} x_2 + x_1 \overline{x_2}}$.
4. $Y = \overline{x_1} \overline{x_2} + x_1 x_2$.

4.19. На рис. 4.17, а приведена схема логического элемента «Равнозначность», а на рис. 4.17, б — таблица истинности реализуемой этим элементом функции. Составьте по таблице истинности логическую формулу данной функции по СДНФ. (Укажите правильный ответ.)

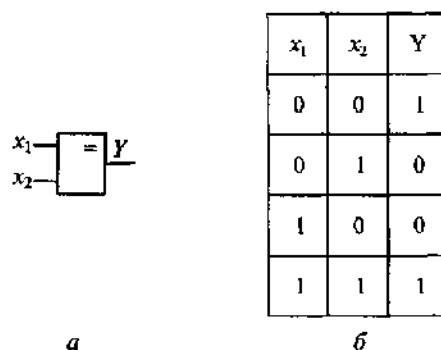


Рис. 4.17

1. $Y = \bar{x}_1 \bar{x}_2 + x_1 x_2$.
2. $Y = \overline{\bar{x}_1 \bar{x}_2 + x_1 x_2}$.
3. $Y = \bar{x}_1 x_2 + x_1 \bar{x}_2$.
4. $Y = \overline{\bar{x}_1 x_2 + x_1 \bar{x}_2}$.

4.20.Р. Какую логическую функцию реализует схема, приведенная на рис. 4.18?

1. «Равнозначность».
2. ИЛИ.
3. И.
4. «Сложение по модулю 2» («Неравнозначность»).

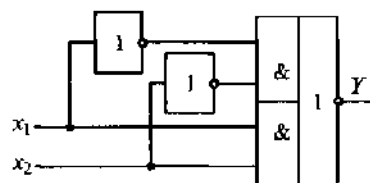


Рис. 4.18

4.2.2. Схемотехника логических элементов

4.21. Определите, какая логика из перечисленных имеет преимущественное применение в современной цифровой микросхемотехнике?

1. Резисторно-транзисторная логика (РТЛ).
2. Диодно-транзисторная логика (ДТЛ).
3. Транзисторно-транзисторная логика ТТЛ (ТТЛШ) и логика на комплементарной структуре металл – окисел – полупроводник (КМОП).

4.22. На рис. 4.19 приведена схема диодного логического элемента. Определите, какую логическую функцию он реализует.

1. И.
2. ИЛИ.
3. НЕ.

4.23. На рис. 4.20 приведена схема диодного логического элемента. Определите, какую логическую функцию он реализует.

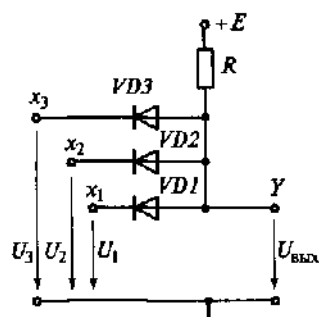


Рис. 4.19

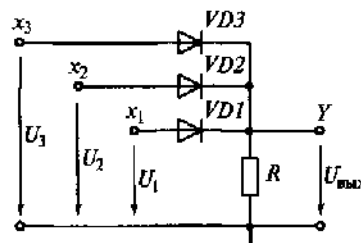


Рис. 4.20

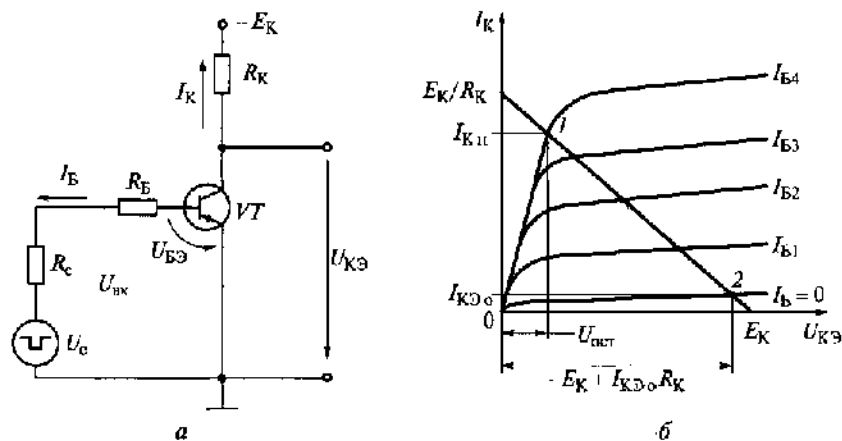


Рис. 4.21

1. И.
2. ИЛИ.
3. НЕ.

4.24. Чем обусловлена экономичность ключевого режима работы транзистора, когда он используется как бесконтактный ключ?

1. Малым током запертого транзистора.
2. Малым напряжением полностью открытого транзистора.
3. Обоиими этими факторами.

4.25. На рис. 4.21, а показана схема транзисторного ключа, параметры которого определяют по выходным динамическим характеристикам, представленным на рис. 4.21, б. Определите, какое из приведенных высказываний об этом ключе ошибочно.

1. Ключевой режим транзистора состоит в том, что он может быть либо в состоянии отсечки («закрыт»), либо в состоянии насыщения («открыт») под действием управляющего тока базы $I_б$.
2. При $U_{бэ} < 0$ ключ открыт (рабочая точка 1 на рис. 4.21, б) и транзистор находится в состоянии насыщения: $U_{кэ} = U_{отт}$, $I_к = I_{кн}$.
3. При $U_{бэ} > 0$ ключ закрыт (рабочая точка 2) и транзистор находится в состоянии отсечки: $U_{кэ} = -E_k + I_{кэо}R_k$, $I_к = I_{кэо}$.
4. Режим отсечки $p-n-p$ -транзистора наступает при $U_{бэ} < 0$, а $n-p-n$ -транзистора — при $U_{бэ} > 0$.
5. Режим отсечки транзистора обеспечивается созданием запирающего напряжения $U_{бэ} > 0$ для $p-n-p$ -структуры и $U_{бэ} < 0$ для $n-p-n$ -структуры.
6. Напряжение $U_{бэ}$ создается от источника сигнала U_c .

4.26. В биполярном транзисторе VT при включении и выключении ключа (рис. 4.22) протекают переходные процессы, которые обуславливают временные задержки сигнала. Какая из перечисленных временных задержек является наиболее значительной?

1. Время задержки при включении ключа из-за перезаряда входной емкости $C_{вх} = C_{эб} + C_{кб}$.

2. Время нарастания коллекторного тока.

3. Время рассасывания неосновных носителей заряда в базе при выключении ключа.

4. Время спада коллекторного тока.

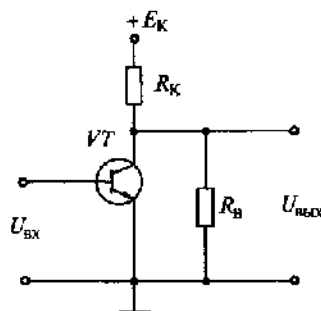


Рис. 4.22

4.27. Напряжение $U_{кэ}$ биполярного транзистора в ключе, схема которого приведена на рис. 4.22, является выходным напряжением $U_{вых}$ на нагрузке R_H . При запертии транзистора оно устанавливается равным $U_{вых} = E_K R_H / (R_K + R_H)$. При каком условии выходное напряжение будет иметь максимальный уровень $U_{вых} = E_K$?

1. $R_K > R_H$. 2. $R_K \ll R_H$. 3. $R_K = R_H$.

4.28. Ключ, схема которого показана на рис. 4.42, называют «простым» инвертором. Он имеет большую величину выходного сопротивления (R_K) в закрытом состоянии и вследствие этого плохую нагрузочную способность. Поэтому микросхемы серии ТТЛ выполняют со «сложным» (мощным) инвертором (рис. 4.23). Этот инвертор содержит фазорасщепляющий каскад на элементах $VT1$, $R2$, $R3$, предназначенный для противофазного переключения транзисторов $VT2$ и $VT3$. Эмиттерный повторитель ($VT2$, VD , $R2$) бес-

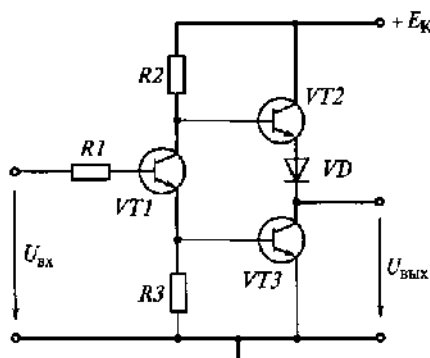


Рис. 4.23

печивает передачу уровня напряжения U^1 , при этом выход схемы в единичном состоянии также является низкоомным и обладает высокой нагрузочной способностью. Определите, какое из приведенных высказываний о «сложном» инверторе ошибочно.

1. Диод VD используется для выпрямления выходного напряжения.

2. При низком входном напряжении $U_{вх}^0$ транзисторы $VT1$ и $VT3$ закрыты, а транзистор $VT2$ открыт. На выходе ключа появляется высокое напряжение $U_{вых}^1$.

3. При высоком входном напряжении $U_{вх}^1$ транзисторы $VT1$ и $VT3$ открыты, а транзистор $VT2$ закрыт. Выходное напряжение имеет низкий уровень $U_{вых}^0$.

4. Диод VD служит для надежного запираания транзистора $VT2$ при $U_{вых}^0$.

5. Микросхема со «сложным» инвертором реализует логическую операцию НЕ.

4.29. На рис. 4.24 приведен график передаточной характеристики $U_{вых} = f(U_{вх})$ логического элемента НЕ. На графике цифрами обозначены:

I — участок низкого входного сигнала $U_{вх}^0$ и высокого выходного сигнала $U_{вых}^1$;

II — активный участок AB передаточной характеристики;

III — участок высокого входного сигнала $U_{вх}^1$ и низкого выходного сигнала $U_{вых}^0$.

На каких участках должен работать логический элемент НЕ?

1. На I и II.

2. На II и III.

3. На I и III.

4.30. Схема логического элемента И—НЕ типа ДТЛ приведена на рис. 4.25. При протекании тока по двойному диоду $VD3$ на нем падает напряжение, составляющее примерно 1,2 В. Каково

назначение двойного диода $VD3$ в этой схеме? (Укажите неправильный ответ.)

1. Диод $VD3$ обеспечивает открытие транзистора VT при высоких уровнях входных сигналов $U_{вх1}$ и $U_{вх2}$.

2. Диод $VD3$ предотвращает открытие транзистора VT при низком уровне сигнала $U_{вх1}$.

3. Диод $VD3$ предотвращает открытие транзистора VT при низком уровне сигнала $U_{вх2}$.

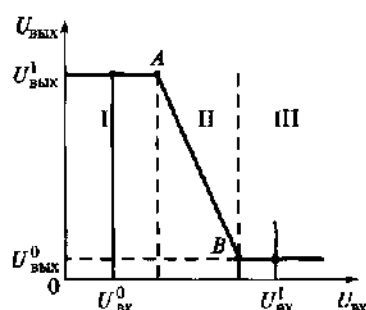


Рис. 4.24

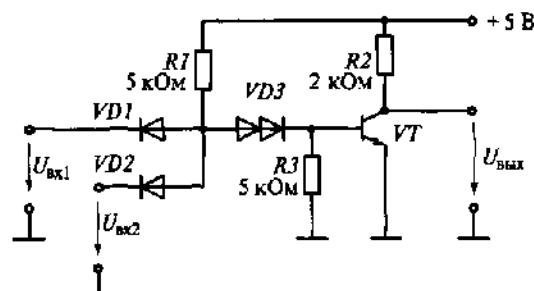


Рис. 4.25

4. Диод $VD3$ предотвращает открытие транзистора VT при низких уровнях сигналов $U_{вх1}$ и $U_{вх2}$.

4.31. На рис. 4.26 приведена схема логического элемента типа РТЛ. Проанализируйте работу этого элемента и определите, какую логическую функцию он реализует.

1. ИЛИ.
2. ИЛИ—НЕ.
3. И.
4. И—НЕ.

4.32. На рис. 4.27 приведена схема базового логического элемента транзисторно-транзисторной логики с многоэмиттерным транзистором. Определите, какую логическую функцию реализует этот элемент.

1. И.
2. ИЛИ.
3. НЕ.
4. И—НЕ.
5. ИЛИ—НЕ.

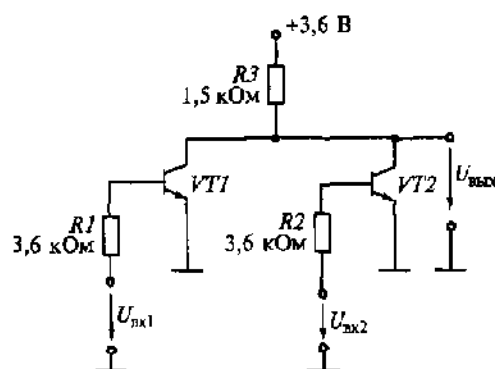


Рис. 4.26

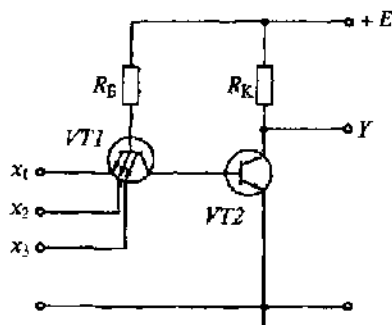


Рис. 4.27

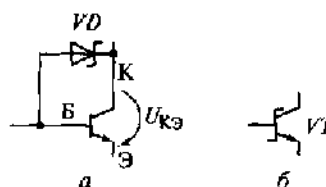


Рис. 4.28

4.33. На рис. 4.28, *а* и *б* приведены соответственно функциональная схема и условное обозначение транзистора Шоттки. Определите, какое из перечисленных свойств транзистора Шоттки не соответствует действительности.

1. При отпирании транзистора диод Шоттки обеспечивает транзистору граничный режим между насыщением и активным режимом.
2. При запираии транзистора уменьшается временная задержка, вызываемая рассасыванием избыточного заряда в базе.
3. Напряжение $U_{КЭ}$ в транзисторе Шоттки составляет 0,1 В, как и в обычном открытом транзисторе.
4. Напряжение $U_{КЭ}$ в транзисторе Шоттки равно 0,4 В, т. е. превышает значение 0,1 В, характерное для обычного открытого транзистора.
5. Помехоустойчивость элементов ТТЛШ хуже по сравнению с элементами ТТЛ.

4.34. На рис. 4.29 приведена схема базового логического элемента ТТЛШ с простым инвертором. Определите, какое из приведенных высказываний ошибочно.

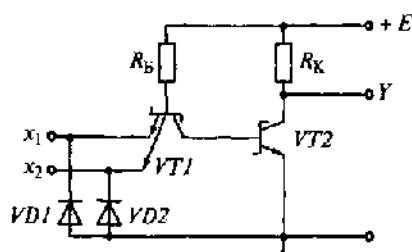


Рис. 4.29

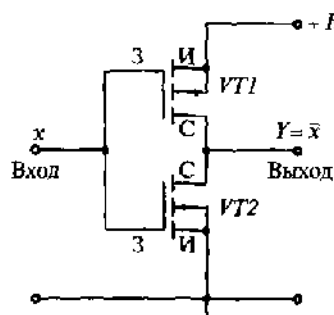


Рис. 4.30

1. В маломощных микросхемах ТТЛШ высокое быстродействие сочетается с умеренным потреблением мощности.

2. Транзистор Шоттки в настоящее время является основой для построения биполярных микросхем.

3. Микросхемы ТТЛШ обладают способностью работать на емкостную нагрузку.

4. Совершенствование технологии КМОП привело к частичному вытеснению элементов ТТЛШ.

5. Быстродействие элементов ТТЛШ меньше, чем элементов КМОП.

4.35. На рис. 4.30 представлена схема КМОП-инвертора, содержащего комплементарную (взаимодополняющую) пару МОП-транзисторов $VT1$ и $VT2$, индуцированные каналы которых (p - и n -типов) включены последовательно. Какое из перечисленных свойств цифровых КМОП-микросхем не соответствует действительности?

1. Большое входное сопротивление.
2. Малое выходное сопротивление.
3. Хорошая температурная стабильность.
4. Малое потребление мощности (в статическом режиме практически нулевое).
5. Быстродействие КМОП-схем выше по сравнению с ТТЛ- и ТТЛШ-элементами.

4.36.Р. Базовый элемент ИЛИ--НЕ построен на однотипных n -МОП-транзисторах с индуцированным каналом (рис. 4.31). Схема содержит постоянно открытый нагрузочный транзистор $VT3$ и управляемые транзисторы $VT1$ и $VT2$.

Выходная (стоковая) вольт-амперная характеристика (ВАХ) МОП-транзистора $I_c = f(U_{из})$ имеет два участка: линейный начальный участок до насыщения канала и пологую часть, когда канал перекрыт.

Как обеспечить малое значение низкого уровня выходного напряжения $U_{вых}^0$ в этой схеме, если транзистор $VT3$ работает на пологой части стоковой ВАХ? (Укажите правильный ответ.)

1. Транзистор $VT1$ должен работать на линейном участке стоковой ВАХ.
2. Транзистор $VT2$ должен работать на линейном участке стоковой ВАХ.
3. Необходимо, чтобы оба транзистора $VT1$ и $VT2$ работали на линейном участке стоковой ВАХ.

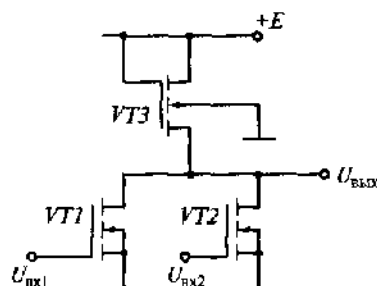


Рис. 4.31

4.37. Базовый элемент И—НЕ построен на однотипных n -МОП-транзисторах с индуцированным каналом (рис. 4.32). Нагрузочный транзистор $VT3$ постоянно открыт и работает на пологовой части стоковой характеристики $I_c = f(U_{зи})$, когда канал перекрыт. Управляемые транзисторы $VT1$ и $VT2$ соединены последовательно.

Проанализируйте работу схемы и укажите, какое из приведенных высказываний ошибочно.

1. Так как транзисторы $VT1$ и $VT2$ включены последовательно, то возрастает остаточное напряжение низкого уровня $U_{вых}^0$.
2. Из-за этого в схеме И—НЕ максимальное число входов ограничено.
3. Транзисторы $VT1$ и $VT2$ работают на пологовой части стоковой характеристики.
4. Транзисторы $VT1$ и $VT2$ работают на начальном линейном участке стоковой характеристики.

4.38.Р. На рис. 4.33 приведена схема одного из базовых элементов логики КМОП. Она состоит из двух пар транзисторов $VT1$, $VT2$ и $VT3$, $VT4$, при этом n -канальная пара $VT1$, $VT2$ соединена параллельно, а p -канальная пара $VT3$, $VT4$ — последовательно. Какую логическую функцию реализует эта схема?

1. И.
2. ИЛИ.
3. ИЛИ—НЕ.
4. И—НЕ.

4.39.Р. На рис. 4.34 показана схема одного из базовых элементов логики КМОП. Она состоит из пары n -канальных транзисторов $VT1$ и $VT2$, соединенных последовательно, и пары p -канальных

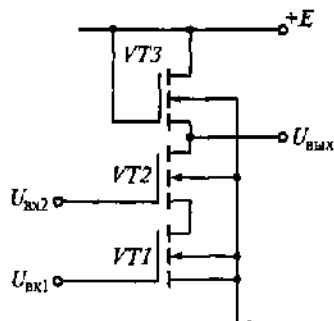


Рис. 4.32

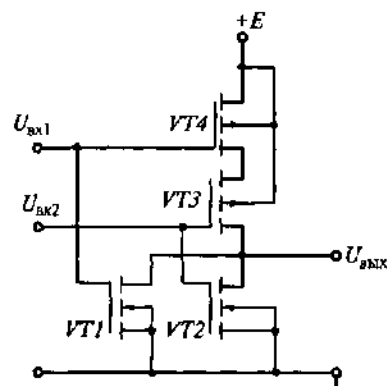


Рис. 4.33

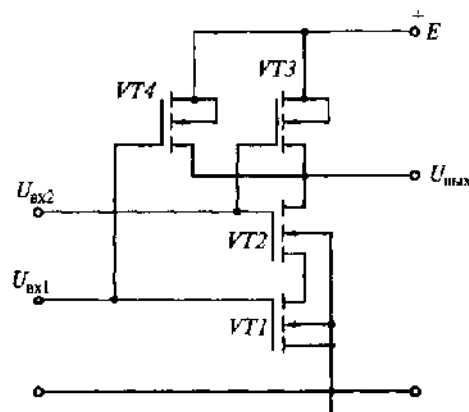


Рис. 4.34

транзисторов $VT3$ и $VT4$, соединенных параллельно. Какую логическую функцию реализует эта схема?

1. И.
2. ИЛИ.
3. ИЛИ—НЕ.
4. И—НЕ.

4.40. Условно-графическое обозначение базового элемента эмиттерносвязанной транзисторной логики (ЭСТЛ) приведено на рис. 4.35. В положительной логике Y_1 — инверсный выход с реализацией функции ИЛИ—НЕ; Y_2 — прямой выход с реализацией функции ИЛИ.

Определите, какое из приведенных высказываний не соответствует действительности.

1. Схема базового элемента состоит из дифференциального усилителя и выходных эмиттерных повторителей.
2. Биполярные транзисторы работают в активной области и не входят в режим насыщения.
3. Элементы ЭСТЛ обладают наименьшим временем переключения (несколько наносекунд) по сравнению с другими типами логических элементов.
4. В ЭСТЛ не допускается объединение выходов одних элементов с выходами других элементов.
5. Элементы ЭСТЛ потребляют значительную энергию от источника питания.

4.41. Схема базового элемента И—НЕ интегрально-инжекционной логики (И²Л) показана на рис. 4.36. Определите, какое из приведенных высказываний о логике И²Л не соответствует действительности.

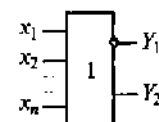


Рис. 4.35

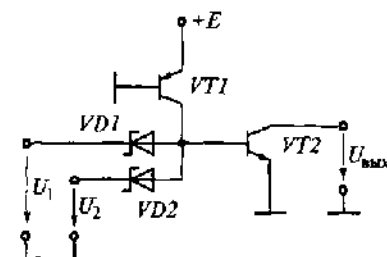


Рис. 4.36

1. Комбинация $p-n-p$ и $n-p-n$ -транзисторов занимает на кристалле очень малую площадь.

2. Технология И²Л используется только в БИС.

3. Время задержки распространения сигнала не зависит от тока, потребляемого от источника E .

4. Время задержки распространения сигнала в элементах И²Л значительное.

5. Элементы И²Л потребляют незначительную мощность от источника питания.

4.42. Одним из динамических параметров логического элемента является время задержки распространения сигнала. На рис. 4.37 приведены осциллограммы входного и выходного сигналов инвертирующего элемента типа И—НЕ, ИЛИ—НЕ. Инвертирующий элемент считается включенным, когда на его выходе уровень 0, и выключенным, когда на его выходе уровень 1.

Определите, как оценивается время задержки сигнала?

1. По времени задержки при включении $t_{3}^{1,0}$.
2. По времени задержки при выключении $t_{3}^{0,1}$.
3. По среднему времени задержки $t_{3,ср} = (t_{3}^{1,0} + t_{3}^{0,1})/2$.

4.2.3. Триггеры

4.43. На рис. 4.38 показана схема потенциального RS-триггера. В исходном состоянии триггера $Q=0$. При поступлении импульса

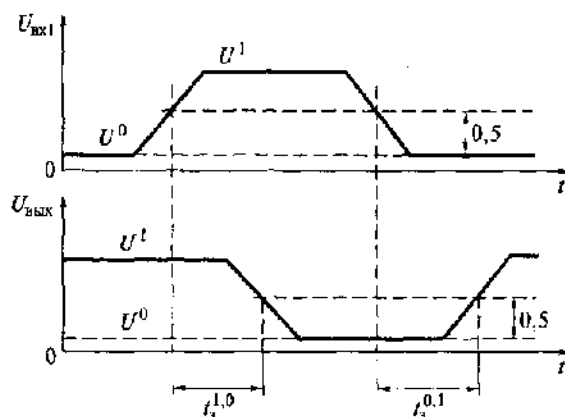


Рис. 4.37

на вход S триггер перебрасывается в состояние $Q=1$. В каком состоянии окажется этот триггер, если снять сигнал S ?

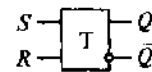


Рис. 4.38

1. $Q=0$, $\bar{Q}=1$.
2. $Q=1$, $\bar{Q}=0$.
3. $Q=0$, $\bar{Q}=0$.
4. $Q=1$, $\bar{Q}=1$.

4.44. Триггер (см. рис. 4.38) находится в единичном состоянии $Q=1$ после прихода первого импульса $S=1$. В каком состоянии окажется этот триггер после прихода второго импульса $S=1$?

1. $Q=0$, $\bar{Q}=1$.
2. $Q=1$, $\bar{Q}=0$.
3. $Q=0$, $\bar{Q}=0$.
4. $Q=1$, $\bar{Q}=1$.

4.45. Триггер (см. рис. 4.38) получает нулевое состояние $Q=0$ после прихода импульса $R=1$. В каком состоянии окажется этот триггер после снятия импульса R ?

1. $Q=0$, $\bar{Q}=1$.
2. $Q=1$, $\bar{Q}=0$.
3. $Q=0$, $\bar{Q}=0$.
4. $Q=1$, $\bar{Q}=1$.

4.46. Триггер (см. рис. 4.38) получает нулевое состояние $Q=0$ после прихода первого импульса $R=1$. В каком состоянии окажется этот триггер после прихода второго импульса $R=1$?

1. $Q=0$, $\bar{Q}=1$.
2. $Q=1$, $\bar{Q}=0$.
3. $Q=0$, $\bar{Q}=0$.
4. $Q=1$, $\bar{Q}=1$.

4.47. Десять триггеров соединены последовательно. Каким способом лучше всего перевести их в состояние $Q=0$, $\bar{Q}=1$?

1. Установить все триггеры с помощью сигнала синхронизации.
2. Подать сигнал на вход «Установка» всех триггеров одновременно.
3. Выключить на мгновение питание.
4. Повысить напряжение питания пока не установятся нужные состояния.

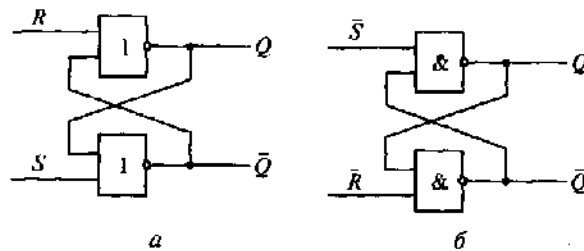


Рис. 4.39

5. Подать сигнал на вход «Сброс» всех триггеров одновременно.

4.48. На рис. 4.39, *a* изображена схема *RS*-триггера на логических элементах ИЛИ—НЕ. Какое состояние примут прямой выход Q и инверсный выход $\bar{Q}$ этого триггера, если входные сигналы имеют значения $S=0$ и $R=1$?

1. $Q=0$, $\bar{Q}=0$.
2. $Q=0$, $\bar{Q}=1$.
3. $Q=1$, $\bar{Q}=0$.
4. $Q=1$, $\bar{Q}=1$.

4.49. Какое состояние примут прямой выход Q и инверсный выход $\bar{Q}$ *RS*-триггера, схема которого приведена на рис. 4.39, *a*, если входные сигналы имеют значения $S=1$ и $R=0$?

1. $Q=0$, $\bar{Q}=0$.
2. $Q=0$, $\bar{Q}=1$.
3. $Q=1$, $\bar{Q}=0$.
4. $Q=1$, $\bar{Q}=1$.

4.50. На рис. 4.39, *б* представлена схема инверсного *RS*-триггера на логических элементах И—НЕ. Какое состояние примут прямой выход Q и инверсный выход $\bar{Q}$ этого триггера, если входные сигналы имеют значения $\bar{S}=0$ и $\bar{R}=1$?

1. $Q=0$, $\bar{Q}=0$.
2. $Q=0$, $\bar{Q}=1$.
3. $Q=1$, $\bar{Q}=0$.
4. $Q=1$, $\bar{Q}=1$.

4.51. Какое состояние примут прямой выход Q и инверсный выход $\bar{Q}$ триггера, схема которого показана на рис. 4.39, *б*, если входные сигналы имеют значения $\bar{S}=1$ и $\bar{R}=0$?

1. $Q=0$, $\bar{Q}=0$.
2. $Q=0$, $\bar{Q}=1$.

3. $Q = 1, \bar{Q} = 0$.

4. $Q = 1, \bar{Q} = 1$.

4.52. На рис. 4.40, *a* показана схема синхронного *RS*-триггера на логических элементах И—НЕ. В таблице на рис. 4.40, *б* исходное состояние триггера на прямом выходе *Q* обозначено как *q*. На входы триггера поданы входные сигналы *C*, *S* и *R* со значениями, приведенными в указанной таблице. Какое состояние примет при этом выход *Q*? (Укажите номер состояния, для которого приведено неправильное значение *Q*.)

4.53. В исходном состоянии синхронный *D*-триггер (рис. 4.41, *a*) на прямом выходе *Q* имеет значение *q*. На входы триггера подаются информационный сигнал *D* и сигнал синхронизации *C*. После прихода сигналов *D* и *C* на прямом выходе образуется значение *Q*. Укажите номер состояния, для которого в таблице на рис. 4.41, *б* приведено неправильное значение *Q*.

4.54. Синхронный *D*-триггер выполнен на инверсном *RS*-триггере с логическими элементами И—НЕ (см. рис. 4.41, *a*). Входы $\bar{R}$ и $\bar{S}$ предназначены для начальной установки триггера.

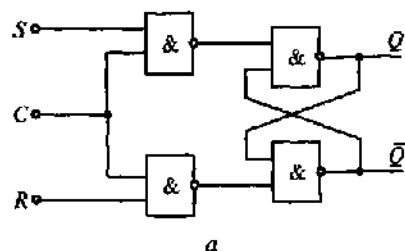
Какое состояние примут выходы *Q* и $\bar{Q}$ этого триггера, если заземлить вход $\bar{R}$ (т.е. $\bar{R} = 0$) при $\bar{S} = 1$?

1. $Q = 0, \bar{Q} = 0$.

2. $Q = 0, \bar{Q} = 1$.

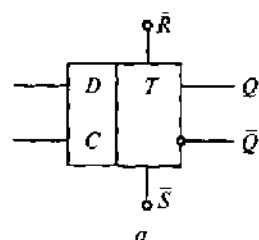
3. $Q = 1, \bar{Q} = 0$.

4. $Q = 1, \bar{Q} = 1$.



Номер состояния	<i>C</i>	<i>S</i>	<i>R</i>	<i>q</i>	<i>Q</i>
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	1	1
3	0	1	0	0	0
4	0	1	0	1	0
5	1	0	0	0	0
6	1	0	0	1	1
7	1	1	0	0	1
8	1	0	1	1	0

Рис. 4.40



Номер состояния	C	D	q	Q
1	0	0	0	0
2	0	0	1	1
3	0	1	0	0
4	0	1	1	1
5	1	0	0	0
6	1	0	1	0
7	1	1	0	0
8	1	1	1	1

Рис. 4.41

4.55. Какое состояние примут выходы Q и $\bar{Q}$ триггера, схема которого приведена на рис. 4.41, а, если заземлить вход $\bar{S}$ (т.е. $S = 0$) при $\bar{R} = 1$?

1. $Q = 0$, $\bar{Q} = 0$.
2. $Q = 0$, $\bar{Q} = 1$.
3. $Q = 1$, $\bar{Q} = 0$.
4. $Q = 1$, $\bar{Q} = 1$.

4.56. Синхронный JK -триггер (рис. 4.42) имеет информационные входы J , K и вход синхронизации C . Исходное состояние триггера нулевое ($Q = 0$, $\bar{Q} = 1$).

Какое состояние примут выходы Q и $\bar{Q}$ при перечисленных значениях сигналов J , K и C ? (Укажите неверный ответ.)

1. $J = 0$, $K = 0$ при $C = 0 \rightarrow Q = 0$, $\bar{Q} = 1$.
2. $J = 0$, $K = 0$ при $C = 1 \rightarrow Q = 0$, $\bar{Q} = 1$.
3. $J = 1$, $K = 0$ при $C = 0 \rightarrow Q = 0$, $\bar{Q} = 1$.
4. $J = 1$, $K = 0$ при $C = 1 \rightarrow Q = 0$, $\bar{Q} = 1$.
5. $J = 1$, $K = 1$ при $C = 0 \rightarrow Q = 0$, $\bar{Q} = 1$.
6. $J = 1$, $K = 1$ при $C = 1 \rightarrow Q = 1$, $\bar{Q} = 0$.

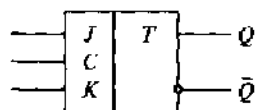


Рис. 4.42

4.57. На входы JK -триггера (см. рис. 4.42) поданы сигналы высокого уровня. Какой сигнал будет на выходе Q ?

1. С частотой, в 2 раза меньше частоты сигнала синхронизации C .
2. Высокого уровня (1).
3. Низкого уровня (0).

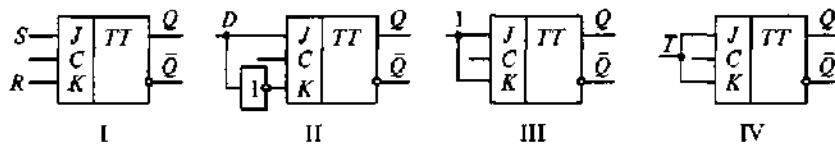


Рис. 4.43

4. Повторяющий входной сигнал с удвоенной частотой.
5. Повторяющий входной сигнал.

4.58. На рис. 4.43 приведены различные варианты подключения входов универсального JK -триггера. Определите, каким типам триггеров они соответствуют.

1. I — D -триггер, II — асинхронный T -триггер, III — синхронный T -триггер, IV — RS -триггер.
2. I — RS -триггер, II — D -триггер, III — асинхронный T -триггер, IV — синхронный T -триггер.
3. I — асинхронный T -триггер, II — синхронный T -триггер, III — RS -триггер, IV — D -триггер.
4. I — синхронный T -триггер, II — RS -триггер, III — D -триггер, IV — асинхронный T -триггер.

4.59. Предыдущее состояние выхода Q JK -триггера обозначено как q . Определите выходной сигнал Q после перевода входов J и K в состояние низкого уровня (логический 0).

В какой строке значение сигнала Q указано неправильно?

1. $C=0$, $q=0$, $Q=0$.
2. $C=0$, $q=1$, $Q=0$.
3. $C=1$, $q=0$, $Q=0$.
4. $C=1$, $q=1$, $Q=1$.

4.60. Синхронные триггеры выполняются со статическим или динамическим управлением по синхросигналу C . Определите вид управления для триггеров, схемы которых представлены на рис. 4.44.

1. I — прямое статическое, II — инверсное статическое, III — прямое динамическое, IV — инверсное динамическое.
2. I — инверсное статическое, II — прямое статическое, III — прямое динамическое, IV — инверсное динамическое.

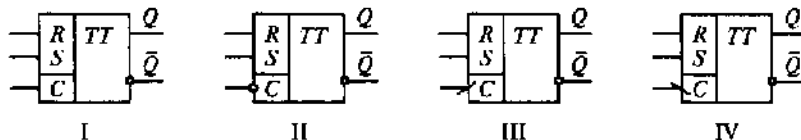


Рис. 4.44

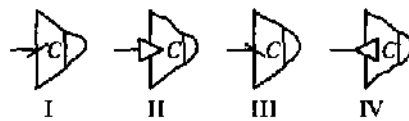


Рис. 4.45

3. I — прямое статическое,
II — инверсное статическое,
III — инверсное динамическое,
IV — прямое динамическое.

4. I — прямое динамическое,
II — инверсное динамическое,

III — прямое статическое, IV — инверсное статическое.

4.61. На рис. 4.45 представлены схемы динамического управления синхросигналом S логического элемента. Какое из приведенных высказываний об этом управлении ошибочно?

1. I и II — схемы прямого динамического управления.
2. III и IV — схемы инверсного динамического управления.
3. При прямом управлении синхросигнал имеет перепад напряжения от 0 к 1.
4. При инверсном управлении синхросигнал имеет перепад напряжения от 0 к 1.

4.62. На рис. 4.46, а приведена схема устройства, автоматически регулирующего уровень жидкости в контейнере. Из резервуара P насос H , приводимый в движение двигателем M , перекачивает жидкость в контейнер K . Из контейнера выливается различное количество Z жидкости.

Уровень жидкости в контейнере контролируется датчиками X_b (верхний предельный уровень жидкости) и X_n (нижний предельный уровень).

Принцип работы этого устройства состоит в следующем. Когда жидкость перекрывает оба датчика ($X_b = 1$ и $X_n = 1$), двигатель отключается. При крайнем нижнем положении жидкости ($X_b = 0$, $X_n = 0$) двигатель включается. При различных значениях X_b и X_n запоминается предшествующее состояние.

Работу устройства осуществляет логическая схема (рис. 4.46, б). За выходную величину $Y = X_{\text{вых}}$ принято состояние двигателя M (включен или выключен).

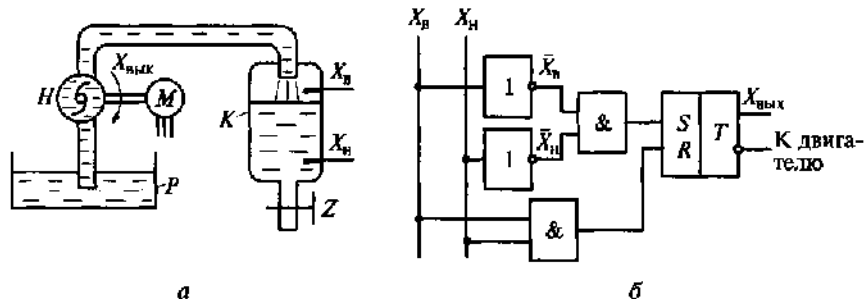


Рис. 4.46

Проанализируйте приведенную последовательность положений. В описании какого положения допущена ошибка?

1. $X_B = 0, X_H = 0, Y = 1 \rightarrow$ двигатель включен.
2. $X_B = 0, X_H = 1, Y = 1 \rightarrow$ двигатель включен.
3. $X_B = 1, X_H = 1, Y = 0 \rightarrow$ двигатель выключен.
4. $X_B = 0, X_H = 1, Y = 0 \rightarrow$ двигатель выключен.
5. $X_B = 0, X_H = 0, Y = 0 \rightarrow$ двигатель выключен.

4.63. Триггеры, мультивибраторы и переключатели, построенные на тиристорах, находят широкое применение в качестве бесконтактных коммутаторов в цепях нагрузки средней и большой мощности (электромагнитные муфты, контакторы, исполнительные электродвигатели и др.).

На рис. 4.47 приведена схема триггера с раздельным запуском. Триггер содержит триодные тиристоры $VS1$, $VS2$ и коммутирующий конденсатор C . Нагрузка выполнена разделенной: R_{H1} и R_{H2} .

При подаче импульса на управляющий электрод тиристора $VS1$ тиристор отпирается и напряжение прикладывается к нагрузке R_{H1} . Конденсатор C заряжается почти до напряжения U с указанной на схеме полярностью. В этом состоянии тиристор $VS1$ открыт, а тиристор $VS2$ закрыт.

Второе состояние триггера наступает при подаче импульса на управляющий электрод тиристора $VS2$. Напряжение прикладывается к нагрузке R_{H2} , а тиристор $VS1$ запирается отрицательным напряжением конденсатора C . Затем конденсатор C перезаряжается до напряжения U противоположной полярности.

Проанализируйте работу триггера и укажите, какое из приведенных утверждений ошибочно.

1. Величины нагрузок R_{H1} и R_{H2} должны быть таковы, чтобы ток открываемого тиристора был больше тока удержания.
2. Быстродействие триггера ограничивается временем перезарядки конденсатора C .
3. Быстродействие триггера определяется временем включения тиристора.

4.64.Р. Как видно из схемы, приведенной на рис. 4.48, а, одновибратор (ждущий мультивибратор) содержит тиристор VS , нагрузку R_H , резистор R и коммутирующий конденсатор C .

В исходном состоянии тиристор VS заперт, а конденсатор C разряжен. Анодное напряжение тиристора $U_a = E_a$ (рис. 4.48, б). При подаче в момент времени t_1

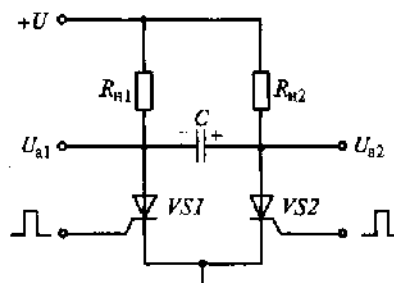


Рис. 4.47

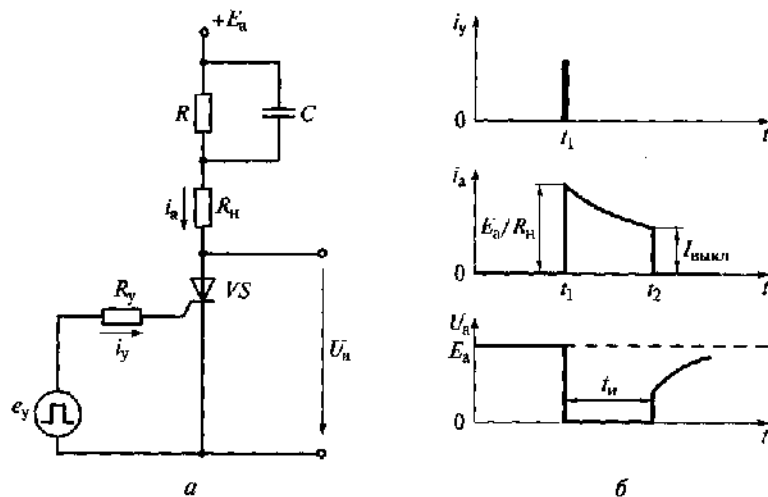


Рис. 4.48

отпирающего импульса возникает ток i_y в управляющем электроде и тиристор VS открывается. В начальный момент времени t_1 ток, проходящий через тиристор и нагрузку R_n , равен $I_a = E_a/R_n$, так как $U_C = 0$.

Времязадающий конденсатор C заряжается от источника E_a через открытый тиристор с постоянной времени $\tau_{зар}$, а напряжение U_a снижается. Ток i_a уменьшается: $i_a = (E_a - U_C)/R_n$. В момент времени t_2 анодный ток i_a становится меньше тока удержания $I_{уд$ и тиристор запирается. Начинается восстановление исходного состояния мультивибратора. Конденсатор C разряжается через резистор R до нуля. Таким образом, нагрузка R_n получает питание в течение заданного времени импульса t_n .

Каким выражением определяется постоянная времени заряда $\tau_{зар}$ конденсатора C ?

1. $\tau_{зар} = \frac{RR_n}{R + R_n} C$.
2. $t_{зар} = R_n C$.
3. $t_{зар} = (R + R_n) C$.

4.2.4. Генераторы прямоугольных и пилообразных импульсов

4.65. Определите период колебаний T импульсной последовательности (см. рис. 4.2), если длительность импульсов $t_n = 100$ мкс, длительность паузы $t_n = 1$ мс.

1. $T = 1,1$ мс.
2. $T = 101$ мкс.
3. $T = 101$ мс.

4.66. Определите скважность импульсов Q и коэффициент заполнения γ , если длительность импульсов $t_n = 10$ мкс, а длительность паузы $t_p = 0,04$ мс (см. рис. 4.2).

1. $Q = 10, \gamma = 0,1$.
2. $Q = 0,2, \gamma = 5$.
3. $Q = 5, \gamma = 0,2$.

4.67. Определите среднее значение напряжения последовательности прямоугольных импульсов (см. рис. 4.2), если период колебаний $T = 1,5$ мс, длительность паузы $t_p = 500$ мкс, амплитуда $U_m = 15$ В.

1. $U_{cp} = 5$ В.
2. $U_{cp} = 10$ В.
3. $U_{cp} = 15$ В.

4.68. Триггер с одним устойчивым состоянием (одновибратор, ждущий мультивибратор) предназначен для генерации прямоугольного импульса заданной длительности. Одновибратор собран на одном RS-триггере КМОП-микросхемы К564ТР2 (рис. 4.49). Определите, какое из приведенных высказываний о работе этого одновибратора является ошибочным.

1. Импульс высокого уровня на входе S переключает триггер в состояние $Q = 1$, и происходит зарядка конденсатора C через резистор $R1$.

2. Длительность выходного импульса $\tau_n \approx 0,7 R1 C$.

3. При достижении напряжения на входе R примерно $0,5 U_n$ триггер возвращается в исходное состояние $Q = 0$.

4. После окончания разряда конденсатора C через резистор $R2$ и диод VD одновибратор готов к новому запуску.

5. Продолжительность входного импульса не влияет на работу одновибратора.

6. Для нормальной работы одновибратора входной импульс должен быть короче выходного.

4.69. Одновибратор (ждущий мультивибратор) может быть собран на триггере с двумя устойчивыми состояниями, на логических элементах ТТЛ и КМОП, на ОУ или на специализированной микросхеме.

На рис. 4.50 приведена схема одновибратора на операционном усилителе ОУ.

Цепь $R1C1$, задающая время выходного импульса, питается выходным напряжением ОУ. Делитель напряжения $R3—R4$ создает положительную обратную связь. Конденсатор $C2$, резистор

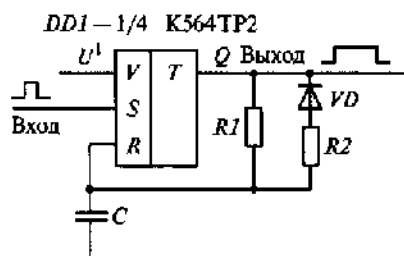


Рис. 4.49

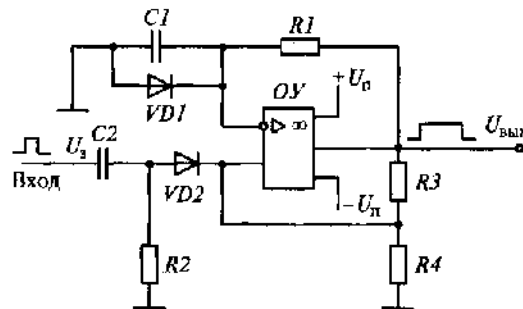


Рис. 4.50

$R2$ и диод $VD2$ образуют цепь запуска. Определите, какое из высказываний о принципе действия одновибратора является ошибочным.

1. В исходном состоянии конденсатор $C1$ разряжен, так как диод $VD1$ открыт.

2. Пусковой импульс U_2 положительной полярности изменяет полярность $U_{\text{вых}}$ ОУ на положительную.

3. В результате смены полярности $U_{\text{вых}}$ диод $VD1$ запирается, а конденсатор $C1$ заряжается.

4. Когда напряжение конденсатора $C1$ превысит напряжение U_2 делителя, полярность $U_{\text{вых}}$ снова станет отрицательной, а выходной импульс закончится.

5. Для создания отрицательного выходного импульса подают запускающий импульс положительной полярности.

6. Для создания выходного импульса отрицательной полярности необходимо изменить полярность диодов $VD1$ и $VD2$ и запустить одновибратор отрицательным импульсом.

7. Длительность выходного импульса $t_n = R_1 C_1 \ln \left(\frac{1}{1 - \beta} \right)$, где $\beta = R_4 / (R_3 + R_4)$.

4.70. Схема ждущего мультивибратора на логических микросхемах И—НЕ показана на рис. 4.51.

Определите, какое из высказываний о работе этого мультивибратора является ошибочным.

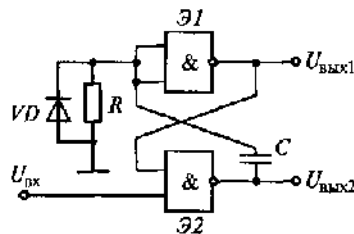


Рис. 4.51

1. В исходном состоянии $U_{\text{вх}} = 1$, при запуске $U_{\text{вх}} = 0$.

2. В исходном состоянии $U_{\text{вх}} = 0$, при запуске $U_{\text{вх}} = 1$.

3. В ждущем режиме (устойчивое состояние) мультивибратор может находиться неограниченно долго.

4. Под действием запускающего импульса $U_{\text{вх}}$ мультивибратор скачком переходит в квазистойчивое состояние, формируя выходной импульс.

5. Длительность выходного импульса определяется времязадающей цепью RC .

6. Диод VD предотвращает отрицательный выброс напряжения на входе элемента $\mathcal{E}1$, уменьшая время восстановления исходного состояния мультивибратора.

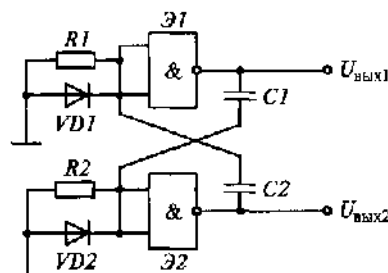


Рис. 4.52

4.71. Схема автоколебательного мультивибратора на логических микросхемах И—НЕ приведена на рис. 4.52. Определите, какое из высказываний о работе этого мультивибратора является ошибочным.

1. В автоколебательном режиме мультивибратор имеет два квазистойчивых состояния.

2. Длительности квазистойчивых состояний определяются времязадающими цепями $R1C1$ и $R2C2$.

3. На выходах 1 и 2 мультивибратор генерирует прямоугольные импульсы противоположных полярностей.

4. Если $R_1 = R_2 = R$, $C_1 = C_2 = C$, то длительность импульса симметричного мультивибратора $t_{\text{и}} = RC \ln \left(\frac{U^1}{E - U_{\text{пор}}} \right)$, где U^1 — уровень напряжения логической единицы; $U_{\text{пор}}$ — пороговый уровень напряжения логического элемента.

5. Температурная стабильность и диапазон регулирования длительности импульсов у мультивибраторов и одновибраторов на логических элементах выше, чем в схемах на операционных усилителях.

4.72. Какие элементы входят в состав мультивибратора на операционном усилителе (рис. 4.53)? (Укажите неправильный ответ.)

1. Широкополосный по частоте усилитель.

2. Узкополосный по частоте усилитель.

3. Звено положительной обратной связи.

4. Конденсатор, накапливающий энергию от источника питания.

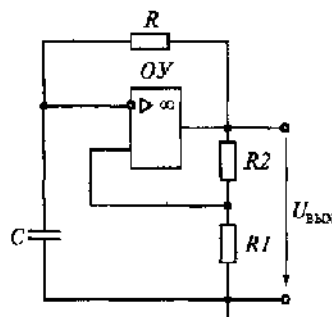


Рис. 4.53

4.73.Р. Какие параметры мультивибратора (см. рис. 4.53) определяют период следования его прямоугольных импульсов?

1. R и C .
2. C , R_1 и R .
3. C , R , R_1 и R_2 .

4.74. Схема генератора пилообразного напряжения (ГПН) на транзисторе приведена на рис. 4.54, *а*. Проанализируйте работу этого ГПН и определите, какое из приведенных высказываний является ошибочным.

1. Недостаток схемы в том, что отношение $U_{\max}/E_K$ мало при условии хорошей линейности $U_{\text{вых}}$ (рис. 4.54, *б*).
2. В момент времени t_1 транзистор VT запирается и конденсатор C заряжается с постоянной времени $\tau_3 = RC$.
3. В момент времени t_2 транзистор VT открывается и конденсатор C разряжается через открытый транзистор.
4. Для уменьшения времени разряда T_p можно увеличить степень насыщения транзистора VT .
5. Увеличение степени насыщения транзистора нецелесообразно, так как напряжение $U_{\text{вых}}$ генератора с подачей импульса U_y задерживается на время рассасывания носителей заряда в базе транзистора.

4.75. При каком соотношении между постоянной времени заряда емкости $\tau_3 = RC$ и временем заряда T_3 генератора пилообразного напряжения на транзисторе (см. рис. 4.54, *а*) будет обеспечена хорошая линейность выходного напряжения $U_{\text{вых}}$ (см. рис. 4.54, *б*)?

1. $\tau_3 > T_3$.
2. $\tau_3 \gg T_3$.
3. $\tau_3 < T_3$.
4. $\tau_3 \approx T_3$.

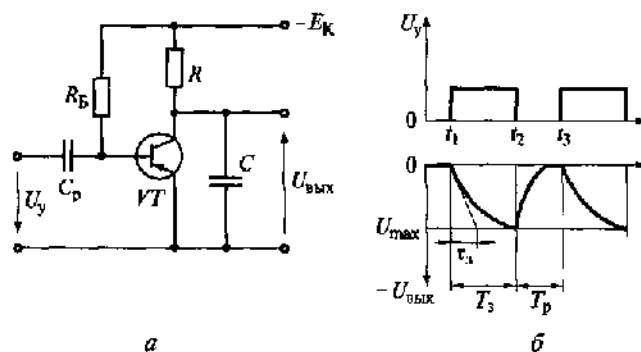


Рис. 4.54

4.76. Высококачественный ГПН создают на основе операционного усилителя OY (рис. 4.55). Определите, какое из высказываний об этом ГПН является ошибочным.

1. Выходное напряжение $U_{\text{вых}}$ изменяется в соответствии с выражением

$$U_{\text{вых}} = \frac{i_C}{C} t = \frac{E}{RC} t.$$

2. Рабочий участок пилообразного сигнала напряжения $U_{\text{вых}}$ формируется при разомкнутом ключе K .

3. Разряд конденсатора C происходит быстро при замыкании ключа K .

4. Максимальное значение $U_{\text{вых}}$ не зависит от напряжения питания OY .

5. Максимальное значение $U_{\text{вых}}$ ограничено величиной напряжения питания OY .

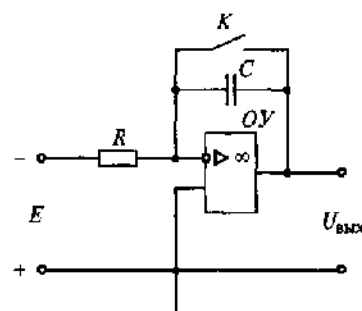


Рис. 4.55

4.77. Таймер с регулированием в широких пределах выдержки времени может быть выполнен на операционном усилителе (рис. 4.56, а). После размыкания ключа K («Пуск») на выходе первого операционного усилителя $A1$ появляется линейно нарастающее напряжение U_1 , стремящееся к $U_{1\text{max}}$. При $U_1 = U_{\text{оп}}$ в момент времени t_1 срабатывает компаратор $A2$, напряжение которого меняется с $U_{2\text{max}}$ на $U_{2\text{min}}$ (рис. 4.56, б). Диод VD пропускает в нагрузку R_H только напряжение $U_2 = U_{2\text{min}}$. Время выдержки t_B можно регулировать в широких пределах изменением R , C , $U_{\text{оп}}$ и E .

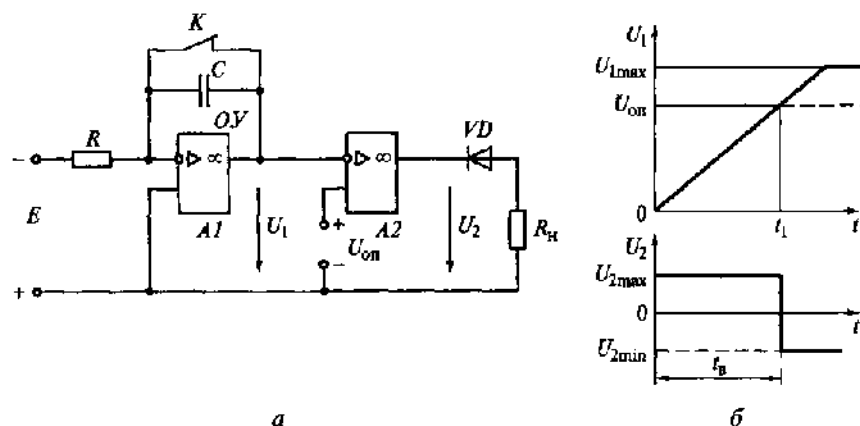


Рис. 4.56

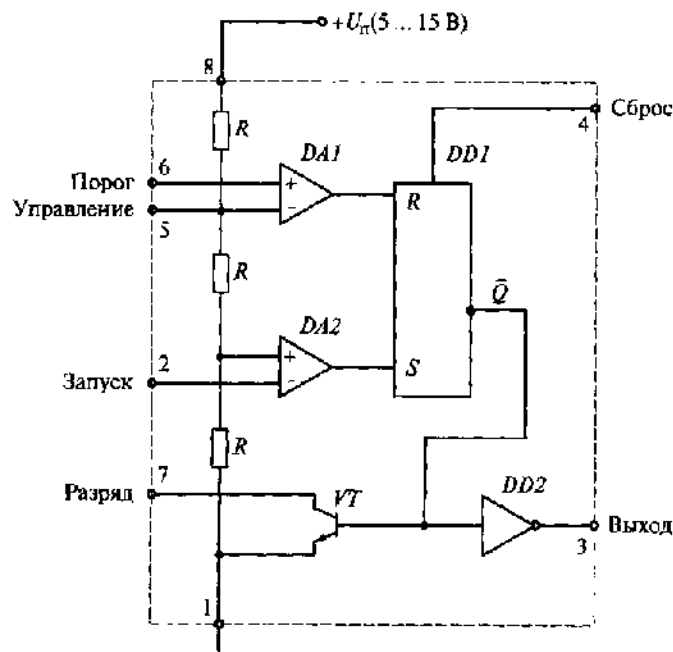


Рис. 4.57

По формуле выдержки времени таймера $t_{\text{в}} = \frac{U_{\text{он}}}{E} RC$ рассчитайте время $t_{\text{в}}$ для следующих параметров: $R_1 = 1 \text{ МОм}$, $C = 60 \text{ мкФ}$, $U_{\text{он}} = 10 \text{ В}$, $E = 1 \text{ В}$.

1. $t_{\text{в}} = 600 \text{ с} = 10 \text{ мин.}$
2. $t_{\text{в}} = 6 \cdot 10^8 \text{ с.}$
3. $t_{\text{в}} = 6 \cdot 10^{-4} \text{ с.}$

4.78. Таймер (от *англ.* time — время) является универсальной микросхемой, совмещающей в одном кристалле аналоговые и цифровые функции. Таймеры формируют импульсы различной длительности и периодичности. На базе таймеров легко создать одновибраторы, мультивибраторы, реле времени и многие другие узлы.

На рис. 4.57 показано внутреннее устройство таймера КР1006ВИ1. Он состоит из двух операционных усилителей $DA1$ и $DA2$, используемых в качестве компараторов, асинхронного RS -триггера $DD1$, транзисторного ключа VT и инвертирующего выходного буфера $DD2$.

Какое из приведенных высказываний об этом таймере является ошибочным?

1. Сопротивления резисторов R подбираются с большой точностью, благодаря чему опорные напряжения компараторов равны соответственно $1/3 U_n$ и $2/3 U_n$.

2. Напряжение питания U_n влияет на длительность формируемых выходных импульсов.

3. Напряжение питания U_n не влияет на длительность выходных импульсов, так как при изменении U_n пропорционально изменяются опорные напряжения компараторов.

4. Когда напряжение на прямом входе компаратора оказывается больше, чем на инверсном, срабатывает RS -триггер по соответствующему входу.

5. Сигнал, подаваемый на вход 4 («Сброс») таймера, вызывает переключение триггера в том случае, когда напряжение на этом входе меньше или равно 0,4 В. При $U \geq 1$ В вход «Сброс» на работу триггера не влияет.

6. Временные характеристики устройства, создаваемых на основе таймера, обусловлены параметрами внешней RC -цепи.

7. Ключ VT используется для разрядки конденсатора.

4.79. Цифровой генератор произвольных периодических функций содержит генератор импульсов, двоичный счетчик и ЦАП (рис. 4.58, а). Одним из вариантов такого цифрового генератора является генератор пилообразного напряжения. В нем для формирования линейно возрастающего напряжения счетчик равномерно суммирует число импульсов в режиме прямого счета, а для получения линейно спадающего напряжения вычитает импульсы в режиме обратного счета (рис. 4.58, б). Проанализируйте работу ГПН и определите, какое из приведенных высказываний является ошибочным.

1. На входе счетчика имеют место мгновенные скачки напряжения (точки А и Б на рис. 4.58, б).

2. Величина ступеньки напряжения $U_{\text{вых}}$ соответствует цене младшего разряда ЦАП (несколько милливольт).

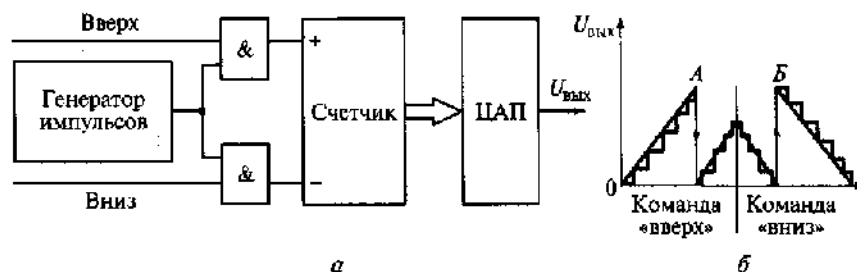


Рис. 4.58

3. Скорость изменения квазилинейного напряжения $U_{\text{вых}}$ можно регулировать в широких пределах, изменяя частоту импульсов f генератора.

4. Скачки напряжения в точках A и B желательно исключить при работе генератора.

5. Скачки напряжения устраняют, изменяя принцип работы двоичного счетчика.

6. Скачки напряжения не допускают с помощью логических элементов, организуя запрет на прохождение импульсов при достижении критического значения кода.

4.2.5. Компараторы и триггеры Шмитта

4.80. Аналоговый компаратор — это устройство, предназначенное для сравнения входного напряжения $U_{\text{вх}}$ с опорным $U_{\text{оп}}$. Указанный компаратор выполняется на операционном усилителе без обратной связи (рис. 4.59, *а*). Какая передаточная характеристика из приведенных на рис. 4.59, *б* относится к этому компаратору?

1. I. 2. II. 3. III. 4. IV.

4.81. Какая из передаточных характеристик на рис. 4.59, *б* относится к аналоговому компаратору, схема которого приведена на рис. 4.60?

1. I. 2. II. 3. III. 4. IV.

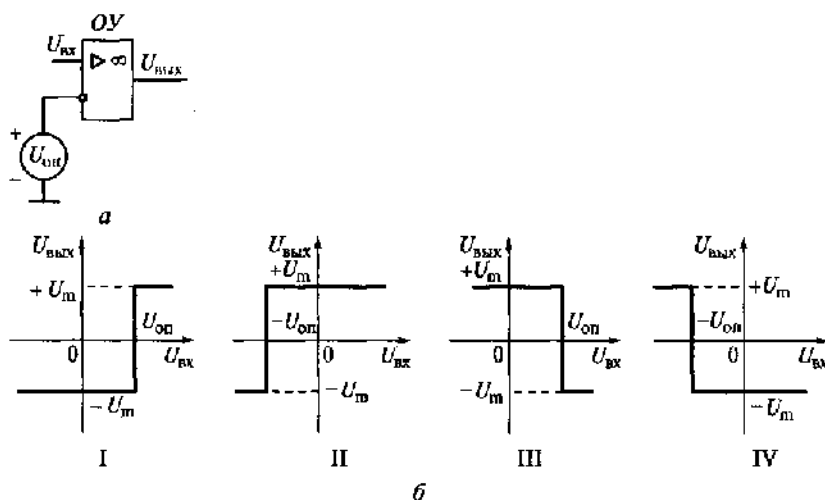


Рис. 4.59

4.82. На рис. 4.61, *а* и *б* приведены схема и передаточная характеристика триггера Шмитта. Какое из высказываний об этом триггере является ошибочным?

1. Триггер Шмитта обладает двумя устойчивыми состояниями.
2. Триггер Шмитта обладает памятью.
3. Передаточная характеристика триггера Шмитта содержит гистерезис в пороговых уровнях входного сигнала.
4. В триггере Шмитта введена положительная обратная связь.
5. Триггер Шмитта переключается из одного состояния в другое скачком даже при медленном изменении входного сигнала.
6. Триггер Шмитта используется в качестве порогового устройства, формирующего прямоугольные импульсы из сигналов произвольной формы.

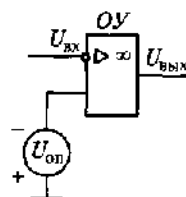


Рис. 4.60

4.83. На рис. 4.62 представлена схема простейшего цифрового компаратора, определяющего равенство двух многоразрядных двоичных чисел *A* и *B*.

Схема состоит из сумматоров по модулю 2, т. е. элементов «Неравнозначность» («Исключающее ИЛИ»), и многовходового элемента И.

Какое из приведенных высказываний об этом компараторе является ошибочным?

1. Выход каждого сумматора $Y_i = 0$ при $A_i = B_i$ (например, $Y_1 = 0$ при $A_1 = B_1$).
2. Элемент И определяет, имеют ли сигналы Y всех сумматоров по модулю 2 низкий уровень.
3. Выходной сигнал компаратора описывается логической формулой $Q = \bar{Y}_1 \cdot \bar{Y}_2 \dots \bar{Y}_n$.
4. Выходной сигнал Q принимает значение $Q = 0$ при $A = B$ и $Q = 1$ при $A \neq B$.

4.84. Цифровые компараторы в интегральном исполнении широко применяются в устройствах автоматики для выявления нуж-

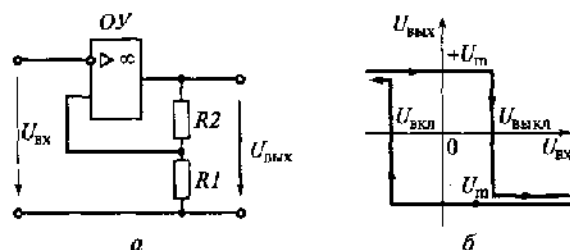


Рис. 4.61

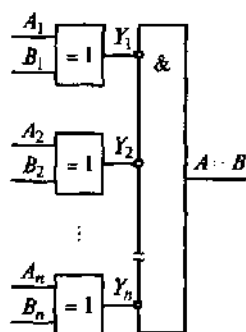


Рис. 4.62

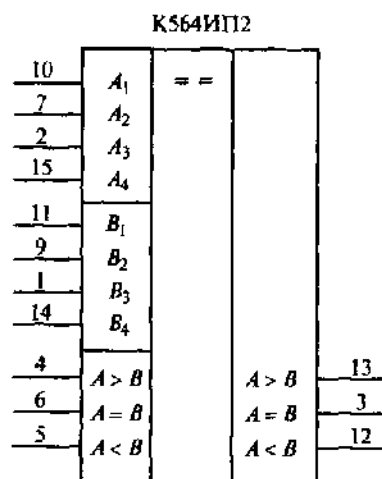


Рис. 4.63

ного числа (слова) в потоке цифровой информации, отметки времени в часовых приборах, выполнения условных переходов в вычислительных устройствах, определения направления воздействия, ликвидирующего рассогласование в приводах следящих систем, для построения счетчиков и сумматоров по произвольному основанию.

На рис. 4.63 представлена схема четырехразрядного компаратора, выполняющего операции $A = B$, $A > B$ и $A < B$.

В каких случаях обеспечивается неравенство $A > B$? (Укажите неправильный ответ.)

1. $A_4 < B_4$ (старшие разряды чисел A и B).
2. $A_4 = B_4$ и $A_3 > B_3$.
3. $A_4 = B_4$, $A_3 = B_3$ и $A_2 > B_2$.
4. $A_4 = B_4$, $A_3 = B_3$, $A_2 = B_2$, и $A_1 > B_1$.

ГЛАВА 5

ЦИФРОВЫЕ УСТРОЙСТВА

5.1. Основные положения и расчетные формулы

5.1.1. Комбинационные и последовательные устройства

Устройства, оперирующие двоичной (дискретной) информацией, подразделяются на два больших класса: комбинационные схемы (дискретные автоматы без памяти) и последовательные устройства (дискретные автоматы с памятью) [1, 2, 6, 9].

Все комбинационные (логические) устройства не имеют памяти. Память — это свойство системы сохранять в течение требуемого времени значения своих сигналов. Сигналы на выходах комбинационного устройства определяются сочетанием сигналов на входах и не зависят от его предыдущих состояний. Схемным признаком таких устройств служит отсутствие цепей обратных связей. К комбинационным устройствам относятся логические элементы, электронные ключи, шифраторы, дешифраторы, мультиплексоры, демультиплексоры, большинство арифметических устройств.

Последовательные устройства обладают памятью, и выходное состояние этих устройств определяется не только сменой входных сигналов, но и состоянием, в котором устройство было до прихода этих сигналов. Показателем принадлежности устройства к последовательному типу является наличие в нем обратных связей. Простейшими последовательными устройствами являются триггеры. К этому же классу относятся регистры, счетчики, запоминающие устройства. В последовательных устройствах за счет памяти функция переходов определяется состоянием входов и выходов в двух соседних тактах — до и после воздействия входных сигналов. Эту пару тактов принято обозначать t^n и t^{n+1} . Запись $Q^n = 1$ означает, что на выходе Q в интервале времени $t^n \leq t < t^{n+1}$ действует сигнал логической 1. Иногда вместо символов t^n и t^{n+1} применяют символы t^{n-1} и t^n .

5.1.2. Микросхемы с тремя выходными состояниями

Дискретное устройство при высоком уровне выходного напряжения имеет малое сопротивление между выводом «Выход» и шиной питания. В противоположном состоянии у выхода имеется небольшое сопротивление по отношению к общей шине. В обоих

случаях выходной вывод обладает определенным электрическим потенциалом.

Существует категория микросхем, способных принимать и третье состояние, при котором оконечные транзисторы заперты, что равносильно отключению микросхемы от нагрузки. На этом основании третье состояние называют еще высокоимпедансным. Перевод микросхемы в третье состояние осуществляется по специальному входу. С тремя состояниями выхода выпускаются микросхемы различного функционального назначения как комбинационного, так и последовательного типов. Буквы *EZ* — метка третьего состояния. Отключение выхода может осуществляться сигналами *EZ* высокого или низкого уровня. Элементы с тремя состояниями выхода разработаны специально для применения в качестве выходного управляемого буфера с подключением цифровых блоков к шинным магистралям.

Сигнал *EO* (*enable out*) — разрешение выхода.

При *EO* = 1 выходной сигнал пропускается на шину. Когда *EO* = 0, выход блока отключается от шины. Буфер с тремя состояниями выхода называется шинным драйвером.

Дешифраторы часто имеют разрешающий (управляющий, стробирующий) вход *E* (от *англ.* *enable* — давать возможность). При *E* = 1 дешифратор работает как обычно, при *E* = 0 на всех выходах устанавливаются неактивные уровни независимо от поступившего кода адреса. Вход *E* часто выполняют инверсным. Нередко в микросхемах дешифраторов делают несколько разрешающих входов, а разрешающей комбинацией является их конъюнкция. Знак & над символом *E* означает, что разрешение существует лишь при совпадении всех сигналов группы входов, помеченной знаком &. Наличие нескольких разрешающих входов, связанных операцией И, типично для современных микросхем.

5.1.3. Преобразование информации

Цифровые электронные устройства работают в двоичном коде, а большинство исполнительных механизмов автоматизированных систем управления, как правило, реагирует на аналоговые уровни напряжения или тока. ЦАП преобразует цифровую информацию в аналоговую. ЦАП используют также в бытовой электронике, например в системах высококачественного воспроизведения звука, записанного в цифровой форме на компакт-дисках (в лазерных CD-проигрывателях).

В системах управления информация о состоянии контролируемого промышленного оборудования снимается чаще всего в аналоговом виде. Для последующей обработки эта информация преобразуется в цифровую форму. Такое преобразование выполняют в два этапа. Вначале непрерывно изменяющийся сигнал измеряют

в дискретные моменты времени (дискретизация во времени). Затем полученные значения сигнала подают на вход АЦП, который с некоторым шагом квантования по уровню ΔU преобразует их в эквивалентные цифровые значения, представленные в двоичном коде.

Дискретизация во времени выполнена корректно, если возможно однозначное восстановление исходного аналогового сигнала. Данное условие сформулировано в виде теоремы дискретизации (теоремы Котельникова). При этом исходный сигнал должен удовлетворять двум условиям:

частотный (спектральный) состав исходного сигнала должен быть ограничен некоторой верхней граничной частотой $f_{\text{в}}$;

частота дискретизации (следование отсчетов) $f_{\text{д}}$ должна быть больше или равна $2f_{\text{в}}$.

Обычно выбирают частоту дискретизации $f_{\text{д}} = (3 \dots 10)f_{\text{в}}$.

Основными характеристиками ЦАП и АЦП являются быстродействие и погрешность преобразования.

Быстродействие — это время преобразования информации из одной формы в другую.

Погрешность преобразования определяется абсолютной погрешностью и относительной разрешающей способностью. Абсолютная погрешность преобразования равна половине шага квантования по уровню ΔU . При шаге квантования ΔU n -разрядный ЦАП обеспечивает 2^n различных значений выходного напряжения, максимальное значение которого, называемое напряжением шкалы,

$$U_{\text{шк}} = (2^n - 1)\Delta U.$$

Относительная разрешающая способность

$$\delta U = \frac{\Delta U}{U_{\text{шк}}} = \frac{1}{2^n - 1}.$$

Число уровней квантования напряжения

$$N = \frac{U_{\text{шк}}}{\Delta U}.$$

Период следования тактовых импульсов

$$T_{\text{т}} = 1/f_{\text{т}},$$

где $f_{\text{т}}$ — тактовая частота, Гц.

Время преобразования в АЦП последовательного типа

$$t_{\text{пр}} = T_{\text{т}} N.$$

Число возможных состояний (коэффициент пересчета) двоичного счетчика $K_{\text{сч}} = 2^n$, где n — разрядность счетчика и число его триггеров.

Максимальное число счетчика равно $2^n - 1$.

5.1.4. Микропроцессоры и микроЭВМ

Переход к ЭВМ четвертого поколения был достигнут не только благодаря заметному прогрессу в области схемотехники и технологии производства интегральных схем (ИС). Весьма важным для развития вычислительной техники явилось создание в 70-х годах прошлого века новых универсальных ИС — так называемых микропроцессоров (МП), представляющих собой разновидности БИС и способных выполнять полный перечень функций центрального процессора ЭВМ. С появлением микропроцессоров отпала необходимость проектировать новую ИС для каждого нового поколения ЭВМ. Достаточно взять готовый микропроцессор и разработать для него новую программу в целях выполнения требуемых функций.

Микропроцессорные системы сбора и обработки информации, управления и контроля технологическими процессами и многие другие проникли почти во все сферы человеческой деятельности.

Сам по себе микропроцессор является устройством с очень ограниченными возможностями. Они в основном заключаются в приеме набора чисел (ввод), выполнении некоторых арифметических и логических операций над числами (обработка), хранении результатов тех или иных операций во внутренней памяти (регистрах), либо их выдаче в другие блоки микропроцессорной системы. Более того, МП может обрабатывать только двоичные числа. Информация, получаемая от приборов, перед обработкой МП должна быть преобразована в двоичную форму с помощью подсистемы ввода-вывода, присоединенной к МП.

Соединения (интерфейсы) должны связывать МП, память и устройство ввода-вывода (УВВ) таким образом, чтобы МП через УВВ получал необходимые данные и помещал их в соответствующие места в памяти.

Типы операций над данными, которые способен выполнить МП, также ограничены. Он может переслать число из одного места памяти в другое, сложить два числа, вычесть одно из другого, проверить, является ли число положительным, равным нулю или отрицательным, бóльшим или меньшим другого числа.

В чем же тогда сила и универсальность микропроцессоров? В большой скорости обработки данных. Микропроцессоры могут принимать, обрабатывать и выдавать данные со скоростями в миллионы бит в секунду. Быстро выполняя большое число простых операций и управляя ходом вычислений, МП может решать сложные задачи, даже такие, которые на первый взгляд имеют мало общего с арифметическими операциями или со сравнением чисел.

Микропроцессоры позволили выполнить казавшиеся ранее несовместимыми требования резкого увеличения скорости обработ-

ки информации и объема памяти и столь же резкого снижения размеров, стоимости и энергопотребления ЭВМ. Вслед за первыми однокристалльными МП было освоено массовое производство нескольких видов микропроцессорных комплектов и наборов, представляющих собой совокупность микропроцессорных и других ИС, номенклатура и число которых необходимы и достаточны для построения любого конкретного изделия вычислительной и управляющей техники. На их основе были созданы многочисленные персональные ЭВМ (ПЭВМ), впервые появившиеся на рубеже 80-х годов прошлого века, а также совершенно новый класс мало потребляющих энергию компактных машин-микрокомпьютеров, почти не уступающих по быстродействию настольным вариантам и при этом помещающихся в небольшом чемоданчике.

Эволюция архитектуры микропроцессоров пошла по нескольким различным направлениям, в результате чего появились следующие их классы:

- простые однокристалльные 4- и 8-разрядные контроллеры относительно невысокой производительности для применения в бытовых приборах и небольших подсистемах;

- быстродействующие секционные комплекты микропроцессорных БИС для создания ЭВМ произвольной разрядности с наращиваемой системой команд;

- мощные однокристалльные 16- и 32-разрядные ИС супербольшей интеграции (ССБИС) с фиксированной системой команд для персональных ЭВМ, производительность которых приближается к производительности полупрофессиональных и миниЭВМ;

- специализированные процессоры цифровой обработки, предназначенные для ускорения выполнения арифметических операций и алгоритмов спектрального анализа сигналов;

- аналоговые процессоры — устройства с аналоговыми входом и выходом, внутри которых вся обработка сигналов ведется в цифровом коде.

5.2. Задачи

5.2.1. Комбинационные устройства

5.1. Дешифратор (декодер *ДС*) применяется в устройствах управления для расшифровки различных кодов и выдачи управляющих сигналов. В запоминающих устройствах ЭВМ дешифраторы используют для обращения к ячейкам после дешифрирования адресов при записи и считывании чисел.

При малом числе выходов используется линейный дешифратор. В качестве примера на рис. 5.1 приведена схема дешифратора

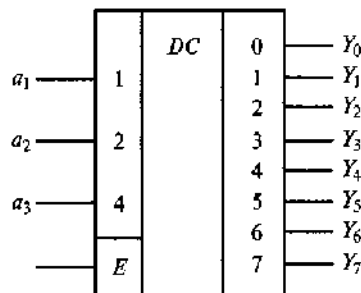


Рис. 5.1

3—8 (читается «три в восемь»). Определите, какое из высказываний об этом дешифраторе является ошибочным.

1. Дешифратор преобразует двоичный код a_1, a_2, a_3 в унитарный.

2. Активный уровень будет только на одном из выходов $Y_0—Y_7$, номер которого равен поданному на вход двоичному числу.

3. На всех остальных выходах дешифратора уровни напряжения будут неактивные.

4. При числе входов $n = 3$ число выходов $m = 2^n = 2^3 = 8$.

5. При $E = 1$ на всех выходах устанавливаются неактивные уровни, при $E = 0$ дешифратор работает.

6. Разрешение на работу дешифратора будет при $E = 1$, при $E = 0$ все выходы равны нулю независимо от поступления адреса.

5.2. На дешифратор (см. рис. 5.1) при $E = 1$ подан код $a_3a_2a_1 = 101$. На каком выходе будет логическая 1?

1. На Y_4 .
2. На Y_5 .
3. На Y_6 .

5.3. На дешифратор (см. рис. 5.1) при $E = 0$ подан код $a_3a_2a_1 = 101$. На каком выходе будет логическая 1?

1. Не будет ни на одном выходе.
2. На Y_4 .
3. На Y_5 .
4. На Y_6 .

5.4. При проектировании оперативных запоминающих устройств с информационной емкостью в сотни и тысячи бит в одном корпусе возникают трудности с созданием дешифратора с сотнями и тысячами выводов. Уменьшить число выводов дешифратора позволяют матричные накопители.

На рис. 5.2 показан двухкаскадный дешифратор 4—16, второй каскад которого собран по схеме прямоугольного матричного накопителя. Определите, какое из высказываний об этом устройстве является ошибочным.

1. Разряды адреса разбиты на две группы с дешифратором $DC1$ строк X_i и дешифратором $DC2$ столбцов Y_j .

2. При любой комбинации значений входных переменных оказываются выбранными одна строка и один столбец сетки, в узлах которой расположены элементы И второй ступени.

3. Каждый входной набор возбуждает выход единственного соответствующего ему элемента И.

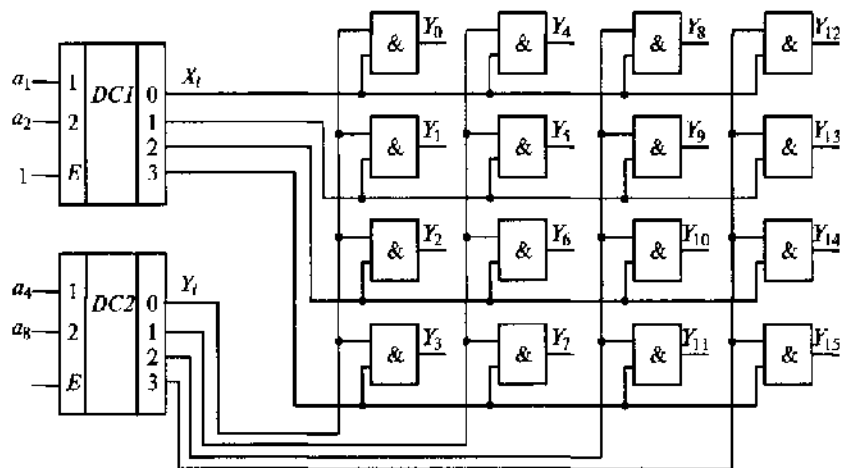


Рис. 5.2

4. Дешифратор с сеткой из элементов И называется прямоугольным, или матричным, дешифратором.

5. Для записывания всего дешифратора используются входы E обоих дешифраторов $DC1$ и $DC2$.

6. Для записывания всего дешифратора можно использовать разрешающий вход одного из дешифраторов первого каскада. При этом записываются или все строки, или все столбцы.

5.5. Шифратор (кодер CD) применяется для ввода информации в ЭВМ с пульта управления. Он преобразует десятичные числа, выгравированные на клавишах, в двоичные числа, понятные машине.

При нажатии какой-либо из клавиш x_0 — x_7 на один из входов 0—7 шифратора микросхемы $K155IB1$ (рис. 5.3) подается единичный сигнал. Этот сигнал преобразуется в трехразрядное двоичное слово на выходах Y_0 , Y_1 и Y_2 . Определите, какое из высказываний об этом шифраторе является ошибочным.

1. Двоичное слово на выходе соответствует десятичному числу на нажатой клавише.

2. Вход стробирования V активизирует шифратор при $V=0$.

3. На выходе G появляется сигнал $G=0$ при подаче единичного сигнала на любой из входов 0—7.

4. Выходы Y_0 , Y_1 и Y_2 являются инверсными.

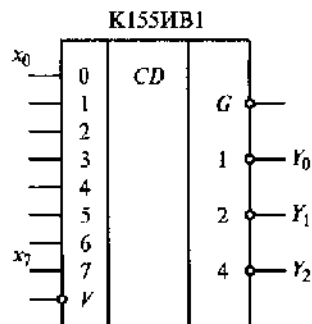


Рис. 5.3

5. При нажатии клавиши x_3 на выходе будет $Y_0 = 1$, $Y_1 = 1$ и $Y_2 = 0$.
6. При нажатии клавиши x_7 на выходе будет $Y_0 = 0$, $Y_1 = 0$ и $Y_2 = 0$.

5.6. На входе шифратора К155ИВ1 (см. рис. 5.3) сигнал стробирования $V = 0$. Возможно ли появление сигнала 1 только на одном из выходов $Y_0—Y_2$ шифратора, если входной сигнал 1 подается поочередно на информационные входы $x_0—x_7$?

1. Невозможно.
2. Возможно, но только при одной входной комбинации.
3. Возможно при двух входных комбинациях.
4. Возможно при трех входных комбинациях.

5.7.Р. Мультиплексор представляет собой комбинационное логическое устройство с одним прямым выходом и несколькими информационными и адресными входами. На выходе повторяется сигнал одного из информационных входов в соответствии с конкретным значением цифровых адресных входов.

На рис. 5.4, а приведена схема мультиплексора К555КП7 — ТТЛШ, содержащего три адресных входа $x_0—x_2$, восемь информационных входов $D_0—D_7$, прямой Y и инверсный $\bar{Y}$ выходы. Работа мультиплексора возможна при низком активном уровне сигнала на стробирующем входе E ($E = 0$). На информационных входах $D_0—D_7$ может быть сигнал 0 или 1.

В таблице на рис. 5.4, б указаны значения Y при различных значениях x_2 , x_1 , x_0 и E . Проанализируйте работу мультиплексора и определите, номер состояния, для которого приведено неверное значение Y .

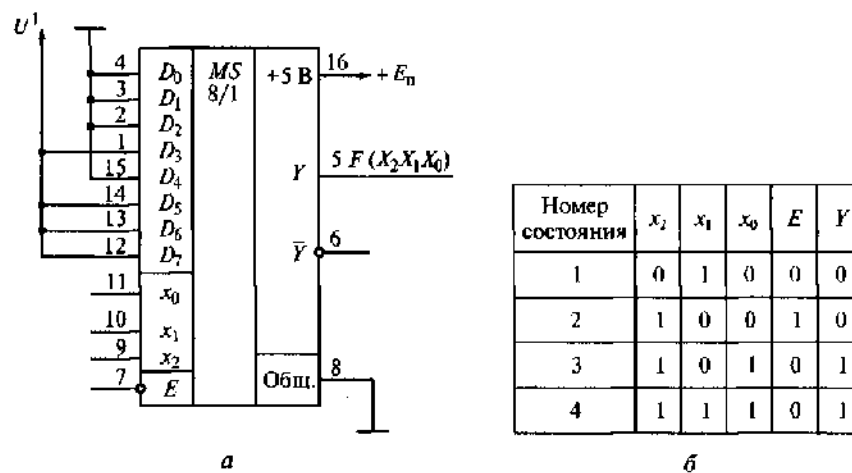


Рис. 5.4

5.8. Экономичным является способ передачи сигналов по одному проводу с временным разделением каналов. Этот способ осуществляется с использованием мультиплексора и демультиплексора.

Мультиплексор переводит сигналы, поступающие от разных источников, в один канал связи. Демультиплексор распределяет по различным устройствам прошедшие по проводу сигналы.

Схема системы управления с временным разделением сигналов приведена на рис. 5.5. На ней $x_{вх1}$, $x_{вх2}$ — входные сигналы; $x_{вых1}$, $x_{вых2}$ — выходные сигналы; a — управляющий сигнал.

При одновременной работе мультиплексора и демультиплексора сигнал a подается синхронно от тактового генератора Γ на управляющие входы мультиплексора и демультиплексора. Определите назначение устройств A и B на рис. 5.5.

1. A и B — мультиплексоры.
2. A и B — демультиплексоры.
3. A — мультиплексор, B — демультиплексор.
4. A — демультиплексор, B — мультиплексор.

5.9. Какое из высказываний о полусумматоре HS (рис. 5.6, a) и полном сумматоре SM (рис. 5.6, b) является ошибочным?

1. Сумматор SM состоит из двух полусумматоров HS .
2. Сумматор HS принимает сигнал переноса из младшего разряда.
3. Сумматоры HS и MS суммируют одноразрядные двоичные числа.
4. Сумматор SM принимает сигнал переноса из младшего разряда.
5. Сумматоры HS и SM формируют сигнал суммы S и сигнал переноса P .

5.10. Схема четырехразрядного сумматора К155ИМ3 приведена на рис. 5.7, a . Здесь A и B — складываемые числа, C_n — перенос из младшего разряда, C_{n+1} — перенос в старший разряд.

В таблице на рис. 5.7, b приведены результаты сложения двоичных четырехразрядных чисел (позиции 1—5). Проверьте правиль-

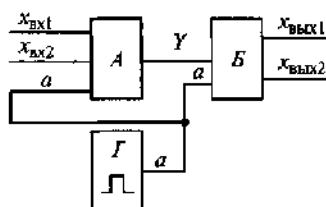


Рис. 5.5

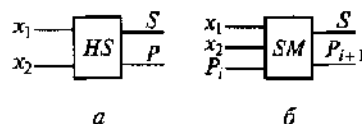


Рис. 5.6

KI55ИМ3

A_0	SM	S_0
A_1		
A_2		
A_3		S_1
B_0		
B_1		S_2
B_2		
B_3		S_3
C_n		C_{n+1}

a

Номер позиции	Двоичные числа, подлежащие суммированию								Результаты суммирования					
	B_3	B_2	B_1	B_0	A_3	A_2	A_1	A_0	C_n	S_3	S_2	S_1	S_0	C_{n+1}
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
4	1	0	0	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0
5	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1

б

Рис. 5.7

ность вычисления сумм $S_3—S_0$ и C_{n+1} . В какой позиции содержится ошибка?

5.2.2. Регистры

5.11. Какое из приведенных высказываний о параллельных регистрах является ошибочным?

1. Число триггеров в регистре равно максимальному числу разрядов хранимого в нем слова.
2. При считывании слова с выходов $Q1—Q4$ информация в регистре разрушается.
3. Код запоминаемого числа одновременно подается на информационные входы $D1—D4$ и записывается в регистр за один такт синхросигнала C .
4. Перед записью нового слова триггеры регистра необходимо обнулить сигналом R .
5. Параллельные регистры используются в схемах оперативной памяти.

5.12. Какое из высказываний о четырехразрядном сдвигающем регистре (рис. 5.8) является ошибочным?

1. Сдвигающий регистр — это устройство, преобразующее двоичное слово в последовательном коде в двоичное слово в параллельном коде.
2. Число триггеров в регистре равно максимальному числу разрядов хранимого в нем слова.
3. Перед вводом нового слова в регистр его триггеры обнуляются по отдельности с помощью установочных входов каждого триггера.

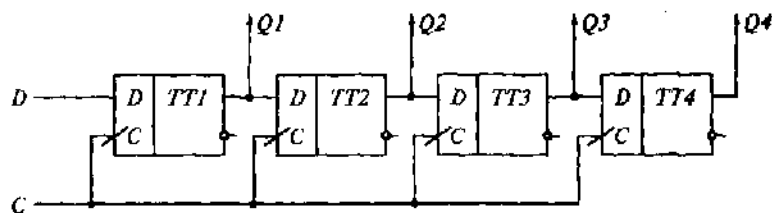


Рис. 5.8

4. Перед вводом нового слова в регистр все его триггеры одновременно переводятся в нулевое состояние общим сигналом «Сброс».

5. Двоичное слово в последовательном коде подается на вход D поразрядно начиная со старшего разряда.

6. После ввода слова в регистр оно имеет вид $Q4Q3Q2Q1$, где $Q4$ — старший разряд, а $Q1$ — младший.

5.13. Какое из высказываний о четырехразрядном сдвигающем регистре (см. рис. 5.8) является ошибочным?

1. При подаче очередного импульса синхронизации информация в регистре смещается вправо.

2. Чтобы ввести в регистр четырехразрядное слово, надо подать четыре импульса синхронизации.

3. Чтобы вывести из регистра четырехразрядное слово, надо подать еще четыре импульса синхронизации.

4. После вывода слова все триггеры обнуляются, т.е. информация в регистре разрушается.

5. После вывода слова из регистра информация в сдвигающем регистре сохраняется.

6. Слово выводится из регистра последовательно начиная со старшего разряда $Q4$.

5.14. Очень удобны в микропроцессорной технике универсальные регистры. На рис. 5.9 приведено условное обозначение микросхемы К155ИР1 — четырехразрядного универсального сдвигающего регистра. Определите, какое из высказываний об этом сдвигающем регистре является ошибочным.

1. Универсальный регистр можно использовать в качестве преобразователя параллельного кода в последовательный, и наоборот.

2. Если на управляющем входе $V = 1$ (сигнал высокого уровня), то регистр

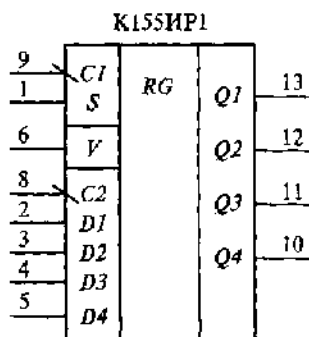


Рис. 5.9

производит параллельную запись информации с входов $D1—D4$ по сигналу синхронизации на входе $C2$.

3. Вход S служит для последовательного ввода информации в первый разряд регистра.

4. Если на управляющем входе $V=0$ (сигнал низкого уровня), то регистр работает в режиме сдвига по тактовым импульсам на входе $C1$.

5. На базе универсального регистра можно построить реверсивный сдвигающий регистр.

6. При сдвиге вправо на один разряд десятичный эквивалент двоичного слова умножается на два, при сдвиге влево он делится на два.

5.2.3. Счетчики

5.15. Определите, какое из высказываний о цифровом счетчике (рис. 5.10) является ошибочным.

1. Счетчик осуществляет счет поступающих на его вход T импульсов.

2. Результат счета счетчик хранит до прихода следующего импульса.

3. Считывание результата счета может осуществляться в промежутках между импульсами.

4. Счетчик состоит из цепочки последовательно включенных триггеров.

5. Счетчик преобразует натуральный двоичный код в унитарный.

6. Счетчик преобразует унитарный двоичный код в натуральный двоичный код.

5.16. Какое из приведенных высказываний является ошибочным?

1. В суммирующем счетчике (рис. 5.11) прямой выход предыдущего триггера соединяется со входом последующего.

2. Выходной код суммирующего счетчика увеличивается на 1 с приходом каждого счетного импульса.

3. В вычитающем счетчике тактовые входы триггеров подключаются к инверсным выходам предыдущих триггеров.

4. Выходной код вычитающего счетчика уменьшается на 1 с приходом каждого счетного импульса.

5. В вычитающем счетчике можно осуществить предварительную установку кода, большего $K_{сч} - 1$.

6. Реверсивный счетчик с изменяемым направлением счета можно выполнить пу-

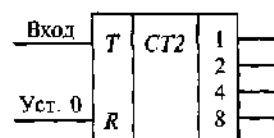


Рис. 5.10

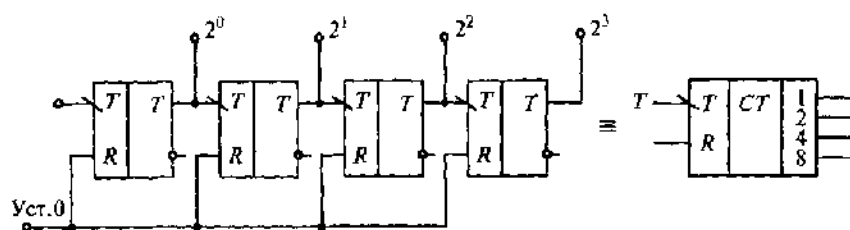


Рис. 5.11

тем введения в состав счетчика мультиплексора, подключающего тактовые входы триггеров к прямым или инверсным выходам предыдущих триггеров.

5.17. Какое из приведенных высказываний является ошибочным?

1. Десятичный счетчик можно построить на базе трехразрядного двоичного счетчика.
2. Для десятичного счетчика с $K_{сч} = 10$ нужны четыре триггера, так как $2^3 < 10 < 2^4$.
3. Десятичный счетчик имеет десять устойчивых состояний (0, ..., 9).
4. Исключение одиннадцатого устойчивого состояния (число 10) осуществляется с помощью элемента И.

5.18. В цифровых измерительных приборах требуется визуальная информация о числе подсчитанных импульсов. Счетчик $CT2$ (рис. 5.12) дополняется дешифратором DC , преобразующим двоично-десятичный код в код семисегментного индикатора. Последовательно со светодиодами в сегментах данного индикатора устанавливаются резисторы R . С какой целью это делается? (Укажите правильный ответ.)

1. Ограничить яркость светодиода.
2. Обеспечить смещение рабочей точки диода.
3. Обеспечить нагрузку для источника управляющих сигналов.

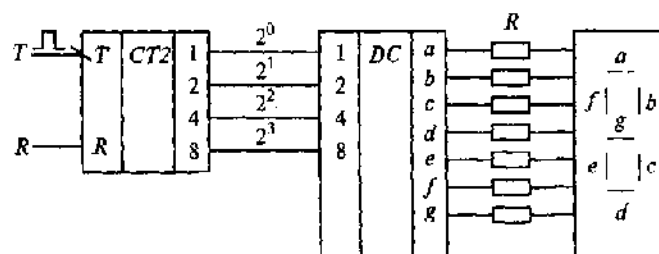


Рис. 5.12

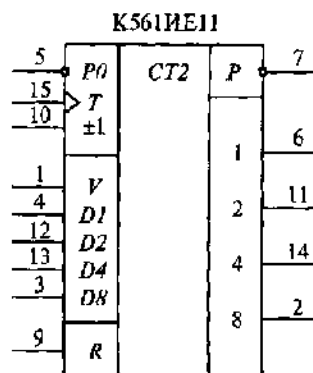


Рис. 5.13

4. Увеличить ток через светодиод.

5. Ограничить ток, протекающий через светодиод, и предохранить его тем самым от перегорания.

5.19. Универсальный двоичный счетчик с предварительной установкой (рис. 5.13) может работать в режимах сложения, вычитания, установки заданного кода и установки (сброса) нуля. Какое из высказываний об этом счетчике является ошибочным?

1. Счетчик может устанавливаться в начальное состояние, соответствующее любому числу от 0 до $K_{сч} - 1$.

2. Предварительная установка осуществляется параллельным кодом.

3. Предварительная установка осуществляется последовательным кодом.

4. Счетчик реверсивный.

5. Счетчик синхронный, так как есть вход $P0$ и выход P переноса.

6. Сброс всех разрядов счетчика в 0 производится по входу R .

5.2.4. ЦАП и АЦП

5.20. Что выполняется при преобразовании аналоговых величин в цифровые и наоборот?

1. Квантование по уровню.

2. Квантование по времени.

3. Квантование и по уровню, и по времени.

5.21. Какое из высказываний, относящихся к квантованию по уровню, является ошибочным?

1. Аналоговая величина разбивается на равные уровни.

2. Каждый уровень кодируется двоичным числом.

3. Число уровней равно 2^n , где n — разрядность кода.

4. Число уровней не зависит от заданной точности.

5. Число уровней определяется заданной точностью.

5.22. Какое из высказываний, относящихся к квантованию по времени, является ошибочным?

1. При квантовании делают выборку — измеряют аналоговый сигнал в дискретные моменты времени.

2. Измеренный сигнал подают на АЦП.

3. АЦП преобразует измеренный аналоговый сигнал в цифровой эквивалент в виде двоичного числа.

4. АЦП должен «успеть» преобразовать аналоговый сигнал в двоичное число до поступления следующего импульса выборки.

5. Минимально возможная частота выборки должна в 3—10 раз превышать частоту аналогового сигнала.

6. Минимально возможная частота выборки в 2 раза превышает частоту аналогового сигнала.

5.23. Цифроаналоговый преобразователь согласует цифровую часть системы управления с аналоговой. Входная координата ЦАП представляет собой двоичное многоразрядное число $A_n = a_{n-1} \dots a_1 \dots a_1 a_0$, а выходная координата — напряжение $U_{\text{вых}}$, формируемое на основе опорного напряжения $U_{\text{оп}}$.

Схема простейшего ЦАП приведена на рис. 5.14. В его состав входят три части: резисторная матрица, ключи $K_0 \dots K_{n-1}$, управляемые входным числом A_n , и операционный усилитель ОУ, формирующий напряжение $U_{\text{вых}}$. Проанализируйте работу этого ЦАП и определите, какое из высказываний является ошибочным.

1. Каждому разряду входного двоичного числа A_n соответствует резистор, имеющий сопротивление $R_i = R_0/2^i$, где R_0 — сопротивление резистора младшего разряда, Ом; i — номер разряда, $i = 0, 1, \dots, n-1$.

2. Опорное напряжение $U_{\text{оп}}$ подводится к резистору R_i через ключ K_i , который замкнут при $a_i = 1$ и разомкнут при $a_i = 0$.

3. Выходное напряжение $U_{\text{вых}}$ операционного усилителя, суммирующего напряжения, определяется по формуле

$$U_{\text{вых}} = -\frac{R_{\text{о.с.}}}{R_0} U_{\text{оп}} (a_{n-1} 2^{n-1} + \dots + a_1 2^1 + a_0 2^0).$$

4. Ключи $K_0 \dots K_{n-1}$ выполнены механическими и контактными.

5. Ключи $K_0 \dots K_{n-1}$ являются бесконтактными транзисторными ключами.

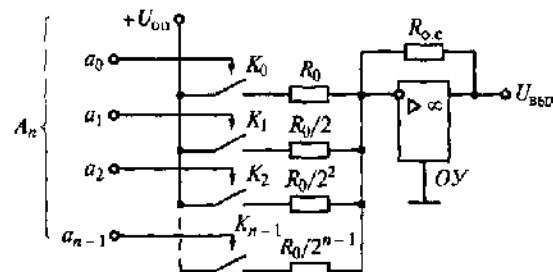


Рис. 5.14

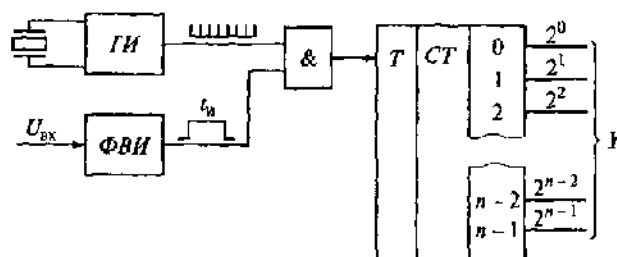


Рис. 5.15

5.24.Р. В АЦП последовательного небалансного типа (рис. 5.15) аналоговое напряжение $U_{вх}$ преобразуется формирователем временного интервала ФВИ в импульс длительностью $t_{и}$, пропорциональной $U_{вх}$.

В течение времени $t_{и}$ элемент И пропускает на вход двоичного счетчика СТ импульсы стабильной частоты от тактового генератора импульсов ГИ. Счетчик формирует двоичный код Y , пропорциональный $U_{вх}$.

Определите число разрядов счетчика n и время преобразования $t_{пр}$, если $U_{вх} = (0 \dots 10)$ В, шаг квантования $\Delta U = 0,01$ В, тактовая частота ГИ $f_t = 1$ МГц.

1. $n = 10$, $t_{пр} = 1$ мс.
2. $n = 9$, $t_{пр} = 0,1$ мс.
3. $n = 8$, $t_{пр} = 10$ мс.

5.25.Р. В АЦП балансного типа (рис. 5.16) цифроаналоговый преобразователь ЦАП преобразует код, снимаемый со счетчика, в аналоговое напряжение $U_{ЦАП}$, пропорциональное коду. При равенстве напряжений $U_{вх}$ и $U_{ЦАП}$ компаратор прекращает поступление импульсов на счетчик. В этот момент код счетчика Y будет пропорционален $U_{вх}$.

Определите верхнюю граничную частоту f_n аналоговых сигналов, преобразуемых этим 10-разрядным АЦП последовательного счета, тактовая частота которого $f_t = 10$ МГц.

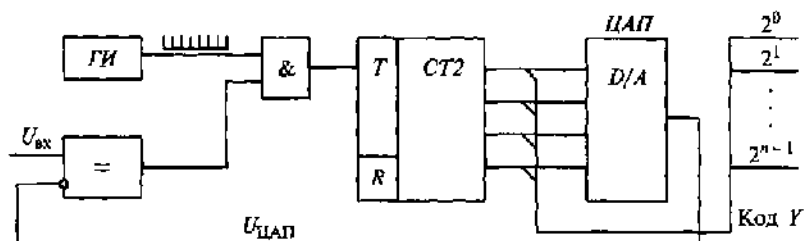


Рис. 5.16

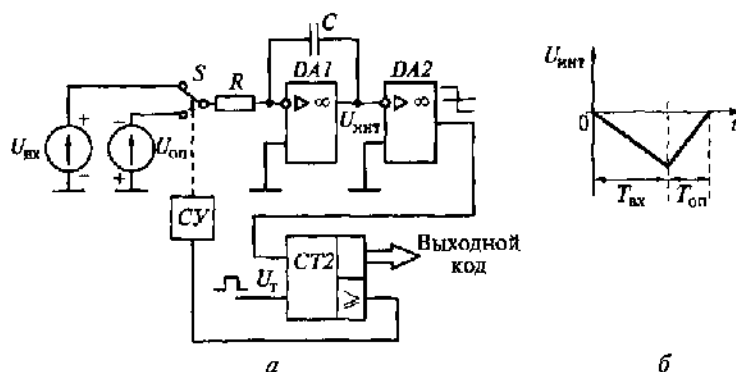


Рис. 5.17

1. 4,89 кГц.
2. 9,775 кГц.
3. 10 МГц.

5.26. Аналого-цифровой преобразователь с двойным интегрированием (рис. 5.17, а) используется в высокоточных цифровых вольтметрах постоянного тока. Он состоит из переключателя S , интегратора $DA1$, компаратора $DA2$, двоичного счетчика $СТ2$ и системы управления $СУ$. Вначале интегрируется входное напряжение $U_{вх}$ в течение времени $T_{вх}$, затем — опорное напряжение $U_{оп}$ противоположной полярности в течение времени $T_{оп}$ (рис. 5.17, б). Преобразование аналогового сигнала $U_{вх}$ в цифровой сигнал на выходе счетчика $СТ2$ является высокоточным по следующим причинам. (Укажите неправильный ответ.)

1. Точность не зависит от величины емкости C интегратора $DA1$.
2. Точность не зависит от частоты тактовых импульсов U_T .
3. Точность не зависит от нестабильности опорного напряжения $U_{оп}$.
4. Мало влияние сетевых помех на точность измерения.
5. Величина входного напряжения определяется как $U_{вх} = \frac{T_{оп}}{T_{вх}} U_{оп}$.

5.27. Какой из аналого-цифровых преобразователей последовательного действия (развертывающего типа) обладает наибольшим быстродействием?

1. С последовательным счетом.
2. С поразрядным уравниванием.
3. Интегрирующий.

5.28. Аналого-цифровой преобразователь с параллельным счетом предназначен для преобразования быстроменяющихся анало-

говых сигналов. Он содержит компараторы, параллельный регистр и преобразователь кода в выходной двоичный код. Определите, какое из приведенных высказываний об этом АЦП является ошибочным.

1. АЦП содержит $2n + 1$ быстродействующих компараторов, где n — разрядность кода.
2. Частота следования отсчетов определяется частотой повторения тактовых импульсов.
3. АЦП с параллельным счетом выполняют на большее число разрядов, чем АЦП с последовательным счетом.
4. Число разрядов ограничено большим числом компараторов.

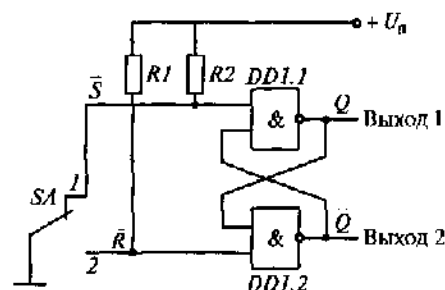
5.2.5. Сенсорные устройства

5.29. На рис. 5.18 представлена схема формирователя на асинхронных RS -триггерах. Этот формирователь в зависимости от положения контактов переключателя SA (кнопка, контакт реле, путевой выключатель) устанавливает соответствующее напряжение на выходах 1 и 2. Одновременно осуществляется защита от дребезга контактов SA .

Определите состояния Q и $\bar{Q}$ триггера для случая, когда переключатель SA находится в положении 1.

1. $Q = 1, \bar{Q} = 0$.
2. $Q = 0, \bar{Q} = 1$.
3. $Q = 0, \bar{Q} = 0$.
4. $Q = 1, \bar{Q} = 1$.

5.30. Электропроводящие полимеры весьма перспективны для создания тактильных чувствительных элементов (сенсоров). При механическом воздействии происходит замыкание двух площадок и уменьшение электрического сопротивления сенсора SA (рис. 5.19).



Для ТТЛ $R_1 = R_2 = (1 \dots 5,1) \text{ кОм}$;
для КМОП $R_1 = R_2 = (10 \dots 100) \text{ кОм}$

Рис. 5.18

Элементной базой сенсорных устройств служат микросхемы КМОП-структуры. Определите, какое из высказываний о данном сенсорном устройстве является ошибочным.

1. Когда контакты *SA* разомкнуты, на входе И — НЕ напряжение высокого уровня, на выходе — низкого.

2. При касании сенсора его сопротивление уменьшается. Поскольку $(R_2 + R_k) \ll R_1$ (где R_k — сопротивление сенсора), на входе И — НЕ устанавливается логический 0, а на выходе — логическая 1.

3. Описанное в предыдущем высказывании состояние сохраняется до тех пор, пока палец прижат к сенсору.

4. Зависимость сопротивления сенсора от силы давления линейна.

5. Зависимость сопротивления сенсора от силы давления имеет значительный гистерезис и большую погрешность.

6. Полимерный сенсор в силу обстоятельства, приведенного в предыдущем высказывании, может использоваться только в качестве релейного элемента.

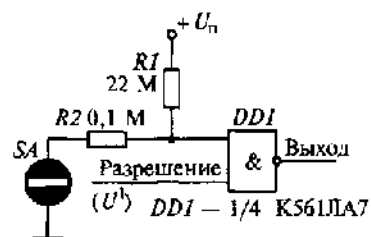


Рис. 5.19

5.31.Р. Сенсорное устройство, схема которого приведена на рис. 5.20, срабатывает за счет емкости тела оператора. На выходах 1 и 2 длительность информационных сигналов определяется временем контакта пальца с сенсорной площадкой. На вход устройства подаются прямоугольные тактовые импульсы от мультивибратора.

Проанализируйте принцип работы устройства и определите, какое из приведенных высказываний является ошибочным.

1. Благодаря наличию элемента *DD1* импульсы на тактовом входе *C* инверсны по отношению к импульсам на входе *D* и отстают от них на время задержки распространения $t_{з.р.}$

2. В исходном состоянии на выходе 1 напряжение низкого уровня, на выходе 2 — высокого.

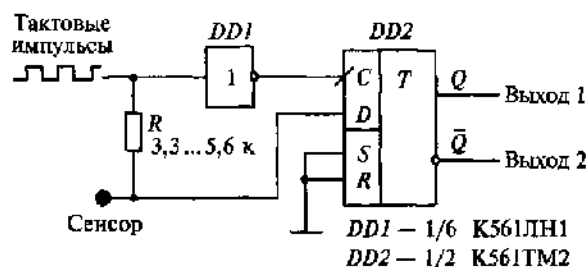


Рис. 5.20

3. После прикосновения пальца к сенсорной площадке триггер переходит в состояние, при котором на выходе 1 будет напряжение высокого уровня.

4. После отпускания пальца напряжение высокого уровня на выходе 1 сохраняется.

5.2.6. Оперативные запоминающие устройства

5.32. В цифровой технике используются следующие запоминающие устройства (ЗУ): сверхоперативное (СОЗУ), оперативное (ОЗУ), внешнее (ВЗУ). Определите, какое из высказываний о свойствах ЗУ является ошибочным.

1. Информационная емкость и быстродействие ЗУ не связаны друг с другом.

2. СОЗУ имеет малую емкость (несколько слов), а его быстродействие сравнимо с быстродействием логических элементов (десятки наносекунд).

3. ОЗУ имеет емкость в тысячи слов и быстродействие в сотни наносекунд, сравнимое с быстродействием основных узлов (сумматоры, преобразователи кодов).

4. ВЗУ имеет емкость в миллионы слов, время выборки данных составляет 0,2...2,0 с.

5. Информационная емкость ЗУ и его быстродействие взаимосвязаны: при улучшении одного параметра ухудшается другой.

5.33. Микросхемы ОЗУ выполняют на биполярных и МОП-транзисторах. Какое из приведенных высказываний не соответствует действительности?

1. В биполярных микросхемах элементом памяти служит простейший триггер, в МОП-микросхемах — триггер или конденсатор.

2. Биполярные микросхемы обладают значительным быстродействием, а МОП-микросхемы — большой емкостью ЗУ.

3. МОП-микросхемы потребляют значительно меньше энергии, чем биполярные микросхемы.

4. МОП-микросхемы менее технологичны в изготовлении, чем биполярные микросхемы.

5.34. Схема простейшего ОЗУ — параллельного регистра — показана на рис. 5.21, а. Регистр управляется сигналами X_z (записи), X_R (установки нуля) и $X_{сч}$ (считывания). Какому номеру состояния в таблице на рис. 5.21, б соответствует режим записи в регистр многоразрядного числа $a_0a_1...a_{n-1}$?

5.35. Используя данные, приведенные в предыдущем задании, определите, какому номеру состояния в таблице на рис. 5.21, б соответствует режим хранения в параллельном регистре (см. рис. 5.21, а) записанного многоразрядного числа $a_0a_1...a_{n-1}$.

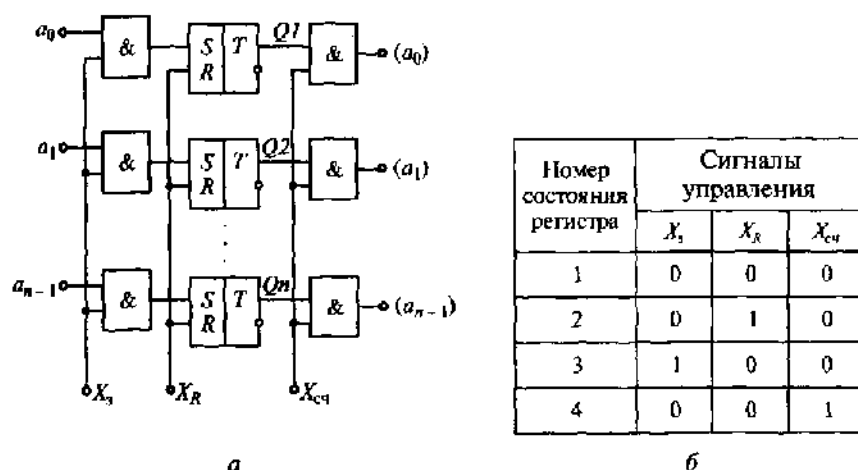


Рис. 5.21

5.36. При увеличении емкости ОЗУ возникает проблема доступа к каждому элементу памяти при ограниченном числе выводов корпуса микросхемы. Эта проблема решается использованием адресной организации ЗУ с дешифратором кода адреса. На рис. 5.22, а изображена функциональная схема такого ЗУ на 64 бит с адресной организацией выборки 16 четырехразрядных слов. Мас-

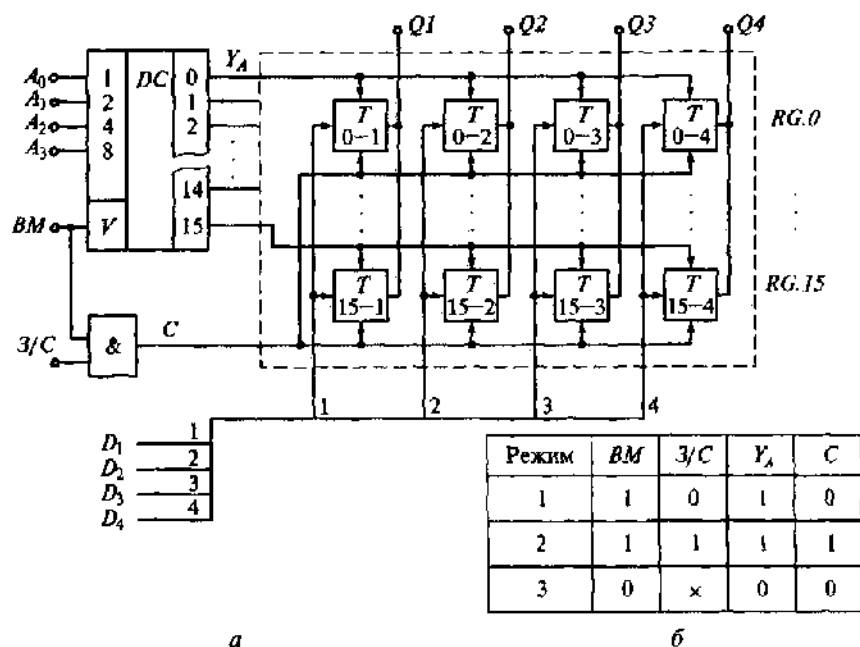


Рис. 5.22

сив элементов памяти образован 16 четырехразрядными регистрами $RG.0—RG.15$. Каждый триггер регистра имеет информационный D_i , тактирующий C и управляющий Y_A входы и выход Q_i . Сигнал BM (выбора микросхемы) управляет работой дешифратора. ЗУ функционирует в режимах записи, считывания и хранения двоичных слов (см. таблицу на рис. 5.22, б). Какой номер в таблице принадлежит режиму считывания? (Символ $\times$ означает, что состояние не имеет значения.)

5.37. Используя данные, приведенные в предыдущем задании, определите, какой номер в таблице на рис. 5.22, б принадлежит режиму хранения двоичных слов.

5.38. Обычные элементы ТТЛ не допускают объединение по выходу. Схема логического элемента с открытым (свободным) коллектором приведена на рис. 5.23. Транзистор VT с открытым коллектором помещают на выход логической части микросхемы. Внешним монтажом подключают резистор R к коллектору транзистора VT . Выход с открытым коллектором помечают ромбиком.

Определите, какое из высказываний о свойствах логического элемента с открытым коллектором является ошибочным.

1. Транзистор VT управляется логическим сигналом y .
2. Транзистор VT с открытым коллектором является переходным звеном от логической части устройства к элементам вывода информации.
3. Вместо резистора R в коллекторную часть транзистора могут быть включены светодиод, индикаторная лампочка, обмотка реле, коаксиальный кабель, вход усилителя мощности.
4. Выходной транзистор VT имеет повышенный ток, а иногда и повышенное коллекторное напряжение.
5. Логические элементы с открытым коллектором приспособлены для объединения по выходу.
6. Высказываний, не соответствующих действительности, нет.

5.39.Р. Микросхемы микропроцессорных систем разработаны с учетом подключения входов и выходов нескольких микросхем к одной шине. Эти микросхемы на выходах Y имеют логический 0 или логическую 1, но при необходимости могут отключаться от шины, переходя в третье, высокоимпедансное состояние.

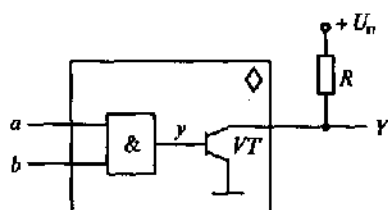


Рис. 5.23

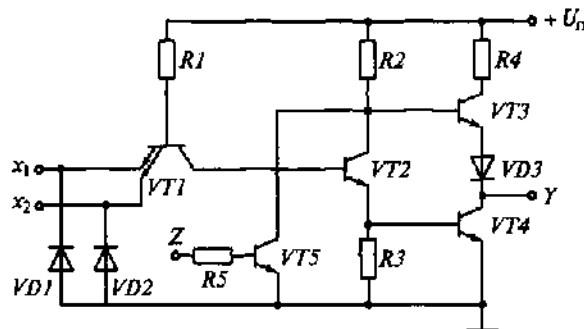


Рис. 5.24

Для перехода в третье состояние, при котором сопротивление со стороны выходов Y бесконечно велико, используются транзистор $VT5$ и резистор $R5$, управляемые сигналом Z (рис. 5.24).

Определите, при каком сочетании сигналов x_1 , x_2 и Z наступит третье состояние. Символ $\times$ означает, что состояние не имеет значения.

1. $Z=0$, $x_1=0$, $x_2=0$.
2. $Z=0$, $x_1=1$, $x_2=1$.
3. $Z=1$, $x_1(\times)$, $x_2(\times)$.

5.40. Оперативные запоминающие устройства выполняются статическими и динамическими. Определите, какое из высказываний об этих устройствах является ошибочным.

1. Статические ЗУ выполняют на RS -триггерах, состоящих из нескольких транзисторов.
2. Статические ЗУ дорогостоящие, но имеют высокое быстродействие.
3. Для увеличения числа запоминающих ячеек триггер заменяют динамической ячейкой.
4. Динамическая ячейка состоит из одностранзисторного ключа и совмещенного с ней конденсатора.
5. Статические и динамические ОЗУ нуждаются в обновлении (регенерации) информации.
6. Регенерация информации необходима только для динамических ОЗУ.

5.41. Динамические ЗУ состоят из ячеек. Схема одной из них приведена на рис. 5.25. Запоминающий конденсатор C_2 включается между стоком C и подложкой $П$, т.е. кор-

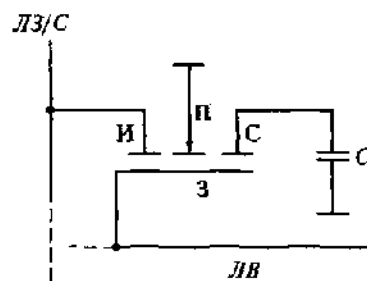


Рис. 5.25

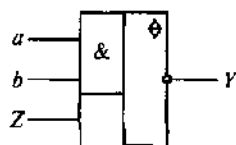


Рис. 5.26

пусом МОП-транзистора с индуцированным каналом. Логическая 1 соответствует заряженному конденсатору C_3 , логический 0 — разряженному. Определите, какое из высказываний о свойствах динамической ячейки является ошибочным.

1. В режиме хранения информации на линии выборки $ЛВ$ логический 0 и транзистор заперт.
2. При записи/считывании на затвор 3 транзистора подается отпирающее напряжение и конденсатор C_3 подключается к линии записи/считывания $ЛЗ/С$.
3. При записи конденсатор C_3 либо заряжается (логическая 1), либо разряжается (логический 0).
4. Так как заряд конденсатора C_3 при чтении изменяется, то после чтения его необходимо восстановить (регенерировать).
5. В динамическом ЗУ $ЛЗ/С$ образуют столбцы матрицы, а $ЛВ$ — строки матрицы.
6. Из-за малой емкости конденсатора C_3 (1...2 пФ) регенерация проводится и в режиме хранения информации.
7. Регенерация необходима в режиме записи.

5.42. На рис. 5.26 приведена схема логического элемента, выход которого может иметь одно из трех состояний: 0, 1 или высокоимпедансное состояние (сотни килоом), при котором разрывается связь логического элемента с его выходом. Символом такого выхода является ромб с поперечной чертой.

Определите, в каком случае наступает третье, высокоимпедансное состояние. Символ $\times$ означает, что состояние не имеет значения.

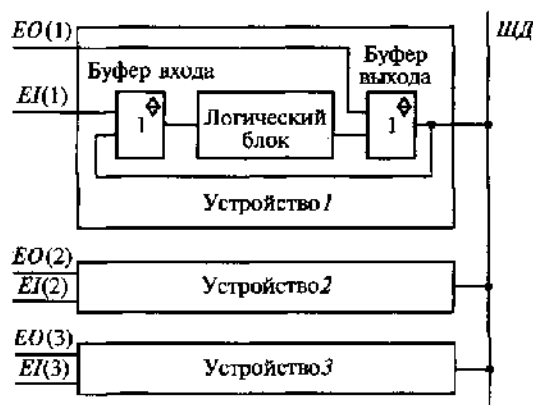


Рис. 5.27

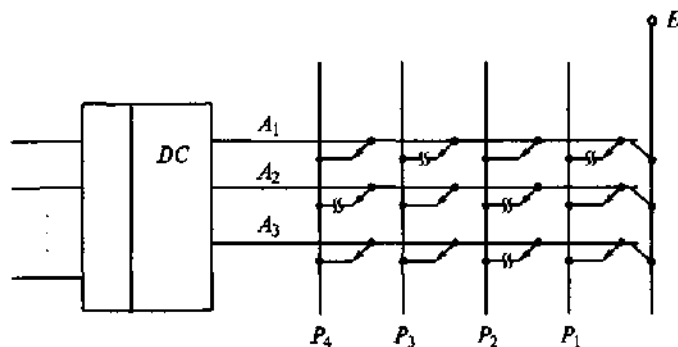


Рис. 5.28

1. $Z=1$, $a(\times)$, $b(\times)$.
2. $Z=0$, $a=0$, $b(\times)$.
3. $Z=0$, $a(\times)$, $b=0$.
4. $Z=0$, $a=1$, $b=1$.

5.43. На рис 5.27 показан принцип обмена информацией между устройствами 1, 2 и 3 через двунаправленную числовую шину данных *ИД*. Каждое устройство имеет *Z*-буферы входа и выхода. Режимы работы определяются управляющими сигналами: *EO* (enable out) — разрешение выхода; *EI* (enable in) — разрешение входа.

Каким образом передается число из устройства 1 в устройство 3? (Укажите неправильный ответ.)

1. В устройстве 1 $EO(1)=1$, $EI(1)=0$.
2. В устройстве 3 $EO(3)=0$, $EI(3)=1$.
3. Сигнал $EO=1$ подают только на одно устройство.
4. Сигнал $EO=1$ подают на несколько устройств.

5.44. Вместо диодов в программируемых постоянных запоминающих устройствах (ППЗУ) в настоящее время используются многоэмиттерные транзисторы (рис. 5.28). Базы многоэмиттерных транзисторов, составляющих матрицу, подключены к адресным шинам дешифратора, а коллекторы — к источнику питания *E*. Эмиттеры транзисторов соединены с разрядными шинами. Для записи нулей выжигают плавкие перемычки, соединяющие эмиттеры с разрядными шинами.

Определите двоичное слово, записанное в ППЗУ, если дешифратор выдаст сигнал 1 на шину A_2 .

1. 0101.
2. 1010.
3. 0111.

5.2.7. Микропроцессоры и микроЭВМ

5.45. Цифровые электронные системы предназначены для обработки входных сигналов и выдачи выходных сигналов. Известны традиционные цифровые системы с жесткой логикой и микропроцессорные системы.

Определите, какое из высказываний о традиционной цифровой системе является ошибочным.

1. Алгоритм работы такой системы жестко связан со схемой.
2. Система специализирована на выполнении одной задачи или близких задач.
3. Система имеет максимально высокое быстродействие.
4. Традиционная система применяется там, где задача не меняется длительное время, а алгоритм обработки информации сравнительно прост.
5. Недостаток традиционной системы заключается в необходимости для каждой новой задачи изготавливать новую схему, что расточительно.
6. Традиционные системы отжили свой век и в любом случае должны быть заменены микропроцессорными электронными системами.

5.46. Определите, какое из высказываний о микропроцессорной электронной системе является ошибочным.

1. Такая система пригодна для выполнения разных задач. Ее целесообразно использовать там, где часто меняются решаемые задачи.
2. При изменении задачи (другой алгоритм) аппаратура системы остается прежней. Изменяется только программа работы системы.
- 3 Система универсальна, имеет гибкую логику. В этом ее преимущество перед традиционной цифровой системой с жесткой логикой.
4. Микропроцессорная система избыточна, она нацелена на решение максимально трудной задачи.
5. При решении простых задач система работает не в полную силу.
6. Быстродействие универсальной системы ниже, чем жесткой.
7. Во всех случаях при быстро протекающих процессах применение микропроцессорной системы нецелесообразно.
8. Система с жесткой логикой вытесняется, так как быстродействие универсальных микропроцессорных систем существенно возросло (на несколько порядков).

5.47. Что вызывает наибольшие трудности при автоматизации?

1. Ситуация, когда алгоритм составлен некорректно.

2. Отладка отдельных частей программы.
3. Выбор датчиков.

5.48.Р. Какова главная отличительная особенность ЭВМ четвертого поколения по сравнению с более ранними моделями?

1. ЭВМ четвертого поколения используют интегральные схемы более высокой степени интеграции.
2. ЭВМ четвертого поколения отличаются более высокой производительностью.
3. ЭВМ четвертого поколения используют более сложное программное обеспечение.
4. ЭВМ четвертого поколения используют микропроцессоры.

5.49.Р. На рис 5.29 представлена базовая схема микроЭВМ. Помимо микропроцессора *МП* в состав любой микроЭВМ входят вспомогательные устройства: устройство ввода-вывода *УВВ* и запоминающее устройство *ЗУ*. Последнее включает в себя постоянное запоминающее устройство *ПЗУ* и оперативное запоминающее устройство *ОЗУ*. Эти устройства связаны шинами данных *ШД*, адреса *ША* и управления *ШУ*.

Какой из перечисленных в составе микроЭВМ элементов непосредственно управляет всеми процессорами в ней и обрабатывает информацию?

1. *ЗУ*, хранящее набор управляющих программ.
2. *МП*, выполняющий программы, хранящиеся в *ЗУ*.
3. *УВВ*, с помощью которого оператор с клавиатуры вводит одну из команд в *МП*.

5.50. Какими числами представлена информация, обрабатываемая микропроцессором?

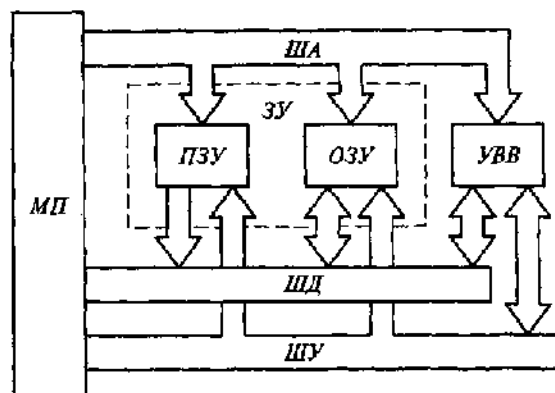


Рис. 5.29

1. Десятичными числами.
2. Двоичными числами.
3. Двоичными и десятичными числами.

5.51.Р. Чем определяется разрядность микропроцессора?

1. Числом проводников его внешней шины данных.
2. Числом проводников его внешней шины адреса.
3. Числом проводников его внешней шины управления.

5.52.Р. Чем определяется предельно возможный объем памяти, к которой может обращаться микропроцессор?

1. Числом ячеек памяти ЗУ.
2. Сложностью программ, которые МП должен выполнить.
3. Разрядностью шины данных МП.
4. Разрядностью шины адреса МП.

5.53.Р. Микропроцессор можно представить состоящим из двух блоков: операционного и управляющего (рис. 5.30).

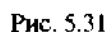
Операционный блок *ОБ* принимает и временно хранит исходные данные, преобразует их и передает результаты обработки другим устройствам. Кроме того, операционный блок проверяет соответствие признаков *П* результата обработки данных заранее обусловленным признакам и сообщает результаты проверки управляющему блоку *УБ*.

Управляющий блок *УБ* вырабатывает управляющие сигналы *У*, вид которых зависит от кода текущей операции и признаков результата выполнения предыдущей операции.

Определите, можно ли из набора только комбинационных элементов и узлов создать какие-либо из следующих устройств: *а* — операционный блок МП; *б* — управляющий блок МП; *в* — МП целиком.



Рис. 5.30



- 115

Триггер $T2$ запоминает значения старшего и младшего разрядов, «вытесненные» из PA_k при выполнении операций «сдвиг влево» или «сдвиг вправо». Шинный формирователь $ШФ$ связывает внутреннюю шину данных $ШДВ$ с внешней n -разрядной шиной данных $ШД$.

Проанализируйте работу операционного блока и определите, какое из приведенных высказываний является ошибочным.

1. Устройства $ШФ$, $РОН$ и $РА_k$ могут выставлять с выходов Q свои данные на шину $ШДВ$. Они имеют выходные каскады с общим коллектором или с третьим состоянием.

2. Устройства $ШФ$, $РОН$, $РА_k$, $РБ1$ и $РБ2$ могут выставлять свои данные на шину $ШДВ$.

3. Регистры $РОН$, $РБ1$, $РБ2$ и $РП$ производят параллельную запись слов по входу D .

4. Рассматриваемый операционный блок выполняет логические и арифметические операции над данными, поступающими на шину $ШДВ$ под действием управляющих сигналов (на рис. 5.31 управляющие сигналы не показаны).

5.55. Арифметическо-логическое устройство $АЛУ$ выполнено в виде отдельной микросхемы (рис. 5.32). Оно оперирует двумя четырехразрядными словами A и B . Результат выполнения логических преобразований и арифметических действий поступает на выходы F .

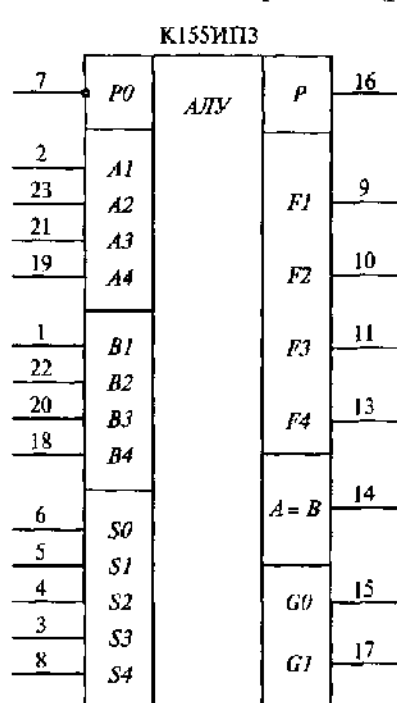


Рис. 5.32

Устройство имеет вход $P0$ и выход P сигналов переноса, отдельный выход признака $A = B$ и выходы переменных $G0$ и $G1$ (наращивание разрядности $АЛУ$ при объединении нескольких микросхем).

В зависимости от набора управляющих сигналов S микросхема выполняет одну из логических (при $S4 = 1$) или одну из арифметических (при $S4 = 0$) операций.

Недостаток рассматриваемого устройства обусловлен отсутствием признаков результата последней операции (называемых еще состояниями или флажками).

Проанализируйте работу устройства и определите, какие именно признаки результата операции отсутствуют.

1. Сигнал равенства результата нулю.
2. Сигнал отрицательного результата.
3. Сигнал переполнения.
4. Сигналы условий $>$, $<$, $\geq$.
5. Все перечисленные признаки результата операции.

5.56. В микропроцессорных системах используется шинная структура связей между отдельными устройствами. Шинной называется группа линий связи. Все сигналы между устройствами передаются по одной шине (мультиплексированная передача в одном или обоих направлениях). Информация передается по шине последовательно во времени, по очереди. Устройства подключаются к шине параллельно.

Существуют интегральные схемы со следующими разновидностями выходных каскадов:

- выход с двумя состояниями 0 и 1 (обозначается 2С);
- выход с открытым коллектором (обозначается ОК);
- выход с тремя состояниями с возможностью отключения (обозначается 3С).

Определите, ИС с каким выходом не может подключаться к мультиплексированной шине?

1. ИС с выходом 2С.
2. ИС с выходом ОК.
3. ИС с выходом 3С.

5.57.Р. Каково назначение рабочих регистров МП?

1. Рабочие регистры служат для расширения памяти микропроцессорной системы.
2. Рабочие регистры хранят адреса команд, которые должен выполнить МП.
3. Рабочие регистры хранят коды команд, которые должен выполнить МП.
4. Рабочие регистры содержат элементы данных, обрабатываемых МП.

5.58. Управляющий блок микропроцессора выполняет две основные функции:

производит выборку команд программы в необходимом порядке из внешнего ЗУ;

дешифрует выбранную команду и управляет выполнением микроопераций и микрокоманд в течение одного машинного цикла.

Для реализации перечисленных функций в состав управляющего блока (рис. 5.33) входят соответствующие аппаратные средства: счетчик команд *СТК*, регистр адреса *РА*, регистр команд *РК* и устройство управления выполнением команды *УУВК*.

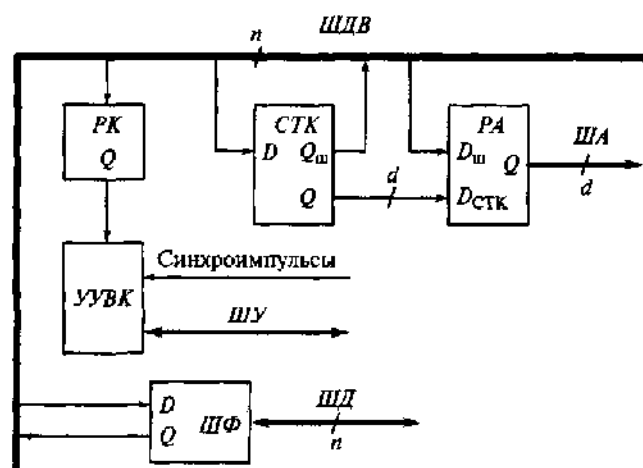


Рис. 5.33

Обрабатываемые данные и программа загружаются в основную память — ЗУ, которая является внешним по отношению к МП устройством. Данные из внешних устройств поступают на внутреннюю шину данных *ШДВ* МП через шинный формирователь *ШФ* в виде n -разрядных слов. Для выборки необходимой команды МП должен обратиться к конкретной ячейке ЗУ, выставив на адресных входах код этой ячейки. Указанную операцию выполняет *РА*, к выходам которого подключена внешняя адресная шина *ША* с разрядностью d .

Адрес ячейки ЗУ, в которой находится команда, вырабатывается счетчиком команд *СТК*, выход которого соединен напрямую с входом *РА*. Регистр команд *ПК* предназначен для хранения кода выполняемой команды. После выборки команды из ЗУ она поступает в устройство управления выполнением команды *УУВК*.

Проанализируйте работу управляющего блока и определите, куда в конечном счете пересылается из ОЗУ командное слово в ходе цикла выборки команды?

1. По выставленному адресу слово из ОЗУ по внешней шине *ШД* поступает в шинный формирователь *ШФ*.
2. Из *ШФ* слово переписывается на внутреннюю шину *ШДВ*.
3. С *ШДВ* команда поступает в регистр команд *ПК*.
4. Из *ПК* слово направляется в *УУВК*.

5.59. Общая структурная схема микропроцессора представлена на рис. 5.34. Основой ее является общая внутренняя шина данных *ШДВ*, соединяющая все элементы операционного блока (на схеме расположены выше *ШДВ*) и элементы управляющего блока (расположены ниже *ШДВ*). Шинный формирователь *ШФ*, связы-

вающий *ШДВ* с внешней шиной данных *ШД*, является общим элементом операционного и управляющего блоков. МП имеет три внешние шины: данных *ШД*, адреса *ША* и управления *ШУ*. Проанализируйте схему МП и определите, какое из приведенных высказываний является ошибочным.

1. Увеличение числа внутренних шин в МП позволяет совмещать во времени операции пересылки данных из одного операционного элемента в другой и ведет к росту быстродействия МП.

2. Увеличение числа внутренних шин в МП уменьшает площадь кристалла, занятую под функциональные элементы, что снижает функциональные возможности МП.

3. Увеличение числа внутренних шин в МП повышает его быстродействие по сравнению с МП, имеющим одну внутреннюю шину, при сохранении функциональных возможностей.

4. У МП с одной внешней шиной адреса и данных увеличивается время обмена информацией с УВВ или ОЗУ.

5. В силу изложенных обстоятельств большее распространение получили МП с отдельными внешними шинами данных и адреса.

5.60. Программируемым контролером (ПК) называется упрощенная 4- или 8-разрядная специализированная ЭВМ. ПК (рис. 5.35) осуществляет логические связи между состоянием входных элементов (кнопок управления *SB*, путевых выключателей *SQ*, датчиков *TI* и др.) и состоянием выходных элементов (электромагнитов *УА*, электромагнитных муфт *УС*, двигателей *М*, тиристорных преобразователей *ТП* и др.). В состав ПК входят сканатор, блок памяти и центральный процессор.

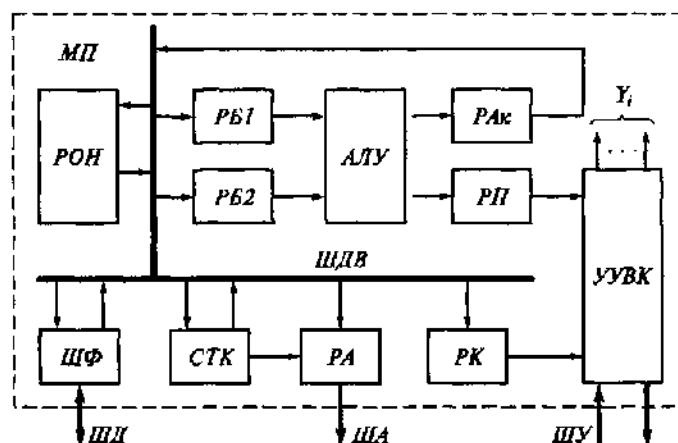


Рис. 5.34

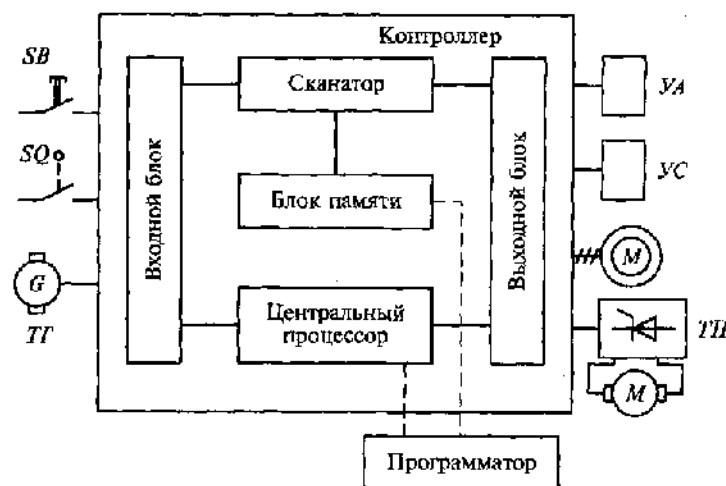


Рис. 5.35

ПК — универсальное устройство. Он заменил релейные управляющие схемы с жесткой логикой. Центральный процессор ПК состоит из АЛУ, устройства управления и регистров общего назначения (РОН).

Проанализируйте приведенные высказывания о работе ПК и определите, какое из них является ошибочным.

1. Машинный цикл ПК состоит из трех этапов: сканирование (опрос) входных элементов, обработка программы по командам и передача управляющих сигналов в выходной блок.
2. В ПК предусмотрен режим прерывания.
3. Программа в ПК заносится самим потребителем с помощью программатора.
4. Кроме основных логических функций ПК выполняет операции, не доступные традиционным управляющим схемам: поиск неисправностей, оптимизация процесса управления.
5. В больших ПК число входных и выходных цепей превышает 1000, в малых моделях оно составляет 40—80.
6. ПК допускает совместную работу с центральной ЭВМ.

5.61. Всякая система, реализующая алгоритм, должна работать лишь постольку, поскольку она связана с внешним миром и получает из него информацию. Можно сказать, что система, реализующая алгоритм, обращена лицом к внешнему миру. В английском языке выражению «обращена лицом» соответствует термин «interface» (более точный перевод «лицом к лицу»). Термин «интерфейс» прижился в русской технической литературе.

Интерфейс — это обмен данными между микропроцессором и внешними устройствами. Укажите, какое из приведенных определений интерфейса является наиболее точным.

1. Интерфейс — линии связи.
2. Интерфейс — устройства сопряжения.
3. Интерфейс — программные средства.
4. Интерфейс — аппаратные средства.
5. Интерфейс — совокупность принципов построения, линий связи, устройств сопряжения, программных и аппаратных средств между процессором и внешней средой.

5.62. Интерфейс пользователя (ввод информации пользователем и вывод информации для пользователя) содержит следующие устройства. (Укажите неверный ответ.)

1. Устройства ввода: контроллеры клавиатуры, тумблеров, отдельных кнопок, мыши, текбола, джойстика.
2. Устройства вывода: контроллеры принтера, светодиодных индикаторов, табло, индикаторов жидкокристаллических и электронно-лучевых экранов.
3. Устройство ввода-вывода для длительного хранения информации (компакт-диски и магнитные диски).

5.63. Для устройств ввода-вывода существуют другие названия. (Укажите неправильный ответ.)

1. Система буферных регистров.
2. Устройства сопряжения.
3. Контроллеры.
4. Карты расширения.
5. Интерфейсные модули.

5.64.Р. Каково принципиальное отличие ОЗУ от многократно программируемых ПЗУ?

1. ОЗУ отличаются от многократно программируемых ПЗУ меньшим временем выборки.
2. ОЗУ по сравнению с многократно программируемыми ПЗУ имеют больший объем памяти.
3. ОЗУ предназначены для хранения данных, изменяющихся в процессе исполнения программы.
4. ОЗУ допускают произвольную выборку.

5.65.Р. Сравните максимально возможные объемы адресуемой памяти 8- и 16-разрядного МП, если оба используют 16-разрядную шину адреса. (Укажите правильный ответ.)

1. У 8-разрядного МП по сравнению с 16-разрядным максимально возможный объем адресуемой памяти меньше.

2. У 16-разрядного МП по сравнению с 8-разрядным максимально возможный объем адресуемой памяти вдвое больше.

3. Максимально возможные объемы адресуемой памяти обоих МП одинаковы.

5.66.Р. При обращении к подпрограмме содержимое всех регистров МП в некотором порядке поочередно записывается в стек. Каким должен быть порядок восстановления содержимого регистров из стека при выходе из подпрограммы, чтобы можно было сразу продолжить основную программу (без дополнительных пересылок типа регистр — регистр)?

1. Порядок может быть любым.

2. Должен быть сохранен тот же порядок, что и при занесении содержимого в стек.

3. Порядок должен быть обратным порядку занесения содержимого в стек.

5.67.Р. Чем объясняется использование в стандартных интерфейсах более одного порта?

1. Большим объемом передаваемой информации.

2. Стремлением увеличить темп передачи информации.

3. Необходимостью обеспечить функции управления процессом передачи данных и контроля состояния внешнего устройства.

5.68.Р. Каково принципиальное отличие между способами параллельного и последовательного ввода-вывода?

1. Способы различаются длиной и числом жил используемого кабеля связи.

2. Способы различаются используемым оборудованием и типами применяемых ИС.

3. При параллельном способе информация передается и принимается одновременно байтами, а при последовательном — поочередно битами.

5.69. Какое направление наиболее перспективно для увеличения производительности микропроцессорных систем?

1. Уменьшение линейных размеров КМОП-транзисторов.

2. Увеличение тактовой частоты до 500 МГц.

3. Увеличение пропускной способности шин (до 64 разрядов).

4. Отказ от классической последовательной модели вычислений и переход к параллельным вычислениям.

5. Создание элементов микроэлектроники, основанных на принципиально новых физических явлениях в твердом теле (оптические, акустические явления, явление холодной эмиссии электронов, явления в твердом теле при криогенных температурах и др.) и новых магнитных материалах.

ОТВЕТЫ И РЕШЕНИЯ

К главе 1

1.1. 2.

1.2. 1. *Решение.* Дифференциальное сопротивление диода

$$R_i = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{0,4 - 0,2}{(16 - 3) \cdot 10^{-3}} = 15,4 \text{ Ом.}$$

1.3. 4. 1.4. 3. 1.5. 3. 1.6. 1. 1.7. 3. 1.8. 1. 1.9. 1. 1.10. 4. 1.11. 3.

1.12. 3. *Решение.* Коэффициент усиления по току при включении транзистора по схеме с общей базой $\alpha = 0,95$, тогда коэффициент усиления по току при включении данного транзистора по схеме с общим эмиттером

$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha} = \frac{0,95}{1 - 0,95} = 19.$$

1.13. 1. *Решение.* Изменение тока коллектора

$$\Delta I_K = \beta \Delta I_B = \frac{\alpha}{1 - \alpha} \Delta I_B = \frac{0,975}{1 - 0,975} 0,1 = 3,9 \text{ мА.}$$

Изменение тока эмиттера

$$\Delta I_E = \Delta I_K + \Delta I_B = 3,9 + 0,1 = 4 \text{ мА.}$$

1.14. 4. *Решение.* По входной характеристике для $U_K = 5 \text{ В}$ (см. рис. 1.6, а) находим:

$$h_{11} = \frac{\Delta U_B}{\Delta I_B} = \frac{(360 - 320) \cdot 10^{-3}}{(200 - 80) \cdot 10^{-6}} = 330 \text{ Ом;}$$
$$h_{12} = \frac{\Delta U_B}{\Delta U_K} = \frac{(360 - 280) \cdot 10^{-3}}{5} = 16 \cdot 10^{-3}.$$

По выходным характеристикам (см. рис. 1.6, б) определяем:

$$h_{21} = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B} = \frac{(6,5 - 4,2) \cdot 10^{-3}}{(150 - 100) \cdot 10^{-6}} = 46;$$
$$h_{22} = \frac{\Delta I_K}{\Delta U_K} = \frac{(7 - 6,2) \cdot 10^{-3}}{10 - 2} = 10^{-4} \text{ См.}$$

Схема замещения транзистора при условии $h_{12} = 0$ приведена на рис. 1.9, б.

1.15. 1. Решение. В соответствии со схемой замещения усилительного каскада [4, 10] расчет требуемых параметров проводится по формулам:

$$K_U = \frac{1}{1 + h_{11} \frac{1 + h_{22} R_{\Sigma}}{R_{\Sigma}(1 + h_{21})}} = \frac{1}{1 + 330 \frac{1 + 10^{-4} \cdot 10^3}{10^3 \cdot (1 + 46)}} = 0,992;$$

$$K_I = K_U \frac{h_{11}}{R_{\Sigma}(1 - K_U)} = \frac{0,992 \cdot 330}{1000(1 - 0,992)} = 40,9;$$

$$R_{\text{вх}} = \frac{h_{11}}{1 - K_U} = \frac{330}{1 - 0,992} = 41\,250 \text{ Ом} = 41,25 \text{ кОм}.$$

При расчете $R_{\text{вх}}$ не учитывается шунтирующее действие делителя $R_{\text{Б1}}, R_{\text{Б2}}$.

Выходное сопротивление

$$R_{\text{вых}} = \frac{h_{11}}{1 + h_{21}} = \frac{330}{1 + 46} = 7 \text{ Ом}.$$

1.16. 3. 1.17. 1. 1.18. 3. 1.19. 2. 1.20. 2.

1.21. 7. Решение. На семействе выходных характеристик $I_K(U_{KЭ})$ транзистора ГТ322Б (см. рис. 1.6, б) строим нагрузочную прямую $E_K = U_{KЭ} + I_K R_K$ по двум точкам: $U_{KЭ} = 10 \text{ В}$ и $I_K = 10 \text{ мА}$. Входные характеристики (см. рис. 1.6, а) линейны при $I_B \geq 80 \text{ мкА}$. Таким образом, входная и выходная характеристики линейны при $80 \leq I_B \leq 200 \text{ мкА}$, поэтому рабочую точку выбираем примерно в середине линейного участка при $I_{\text{Б0}} = 150 \text{ мкА}$. Она соответствует значениям $U_{\text{Б0}} = 350 \text{ мВ}$ и $U_{K0} = 3,5 \text{ В}$.

Для выбранного тока $I_{\text{Б0}} = 150 \text{ мкА}$ сопротивление

$$R_E = \frac{E_K - U_{\text{Б0}}}{I_{\text{Б0}}} = \frac{10 - 0,35}{150 \cdot 10^{-6}} = 64\,333 \text{ Ом} \approx 64,3 \text{ кОм}.$$

При $h_{12} = 0$ используем упрощенную схему усилительного каскада (см. рис. 1.9, б), по которой и рассчитаем требуемые параметры:

$$R_{\text{вх}} = R_E \parallel h_{11} = \frac{R_E h_{11}}{R_E + h_{11}} \approx h_{11} = 330 \text{ Ом};$$

$$R_{\text{вых}} = R_K \parallel (1/h_{22}) = \frac{R_K / h_{22}}{R_K + 1/h_{22}} = \frac{R_K}{1 + R_K h_{22}} \approx R_K = 1 \text{ кОм}.$$

Так как $U_{\text{вых}} = I_K R_{\text{вых}} = h_{21} I_B R_{\text{вых}}$ и $U_{\text{вх}} = h_{11} I_B$, то

$$K_U = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} = \frac{h_{21} R_{\text{вых}}}{h_{11}} = \frac{46 \cdot 1000}{330} = 140.$$

Поскольку $I_{\text{вых}} = U_{\text{вых}}/R_K$ и $I_{\text{вх}} = I_B = U_{\text{вх}}/h_{11}$, то

$$K_I = \frac{I_{\text{вых}}}{I_{\text{вх}}} = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} \frac{h_{11}}{R_K} = 140 \cdot \frac{330}{1000} = 46,2;$$

$$K_P = K_U K_I = 140 \cdot 46,2 = 6\,468.$$

1.22. 1. 1.23. 2. 1.24. 3. 1.25. 4. 1.26. 3. 1.27. 2. 1.28. 2. 1.29. 3. 1.30. 3. 1.31. 3. 1.32. 3. 1.33. 1. 1.34. 2. 1.35. 1. 1.36. 3. 1.37. 5. 1.38. 4. 1.39. 4. 1.40. 4. 1.41. 3.

1.42. 3. *Решение.* В тонкопленочных и толстопленочных микросхемах активные элементы изготавливают навесными. В полупроводниковых интегральных микросхемах активные и пассивные элементы формируют в объеме кристалла.

К главе 2

2.1. 3. 2.2. 1. 2.3. 2. 2.4. 2. 2.5. 2. 2.6. 2. 2.7. 4.

2.8. 2. *Решение.* Амплитудное и действующее значения напряжения половины вторичной обмотки трансформатора определяются по формулам

$$U_{2m} = U'_{2m}/2; U_2 = U_{2m}/\sqrt{2}.$$

Выпрямленное напряжение на нагрузке

$$U_0 = 0,9U_2 = \frac{0,9U'_{2m}}{2\sqrt{2}} = \frac{0,9 \cdot 300}{2\sqrt{2}} = 95,5 \text{ В.}$$

Сопротивление нагрузки

$$R_H = \frac{U_0}{I_0} = \frac{95,5}{200 \cdot 10^{-3}} = 477,5 \text{ Ом.}$$

Коэффициент сглаживания

$$q = K_{\text{п.вх}}/K_{\text{п.вых}} = X_L/R_H = 2\pi f L_{\text{ф}}/R_H = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 10/477,5 = 6,6.$$

В последней формуле $K_{\text{п.вх}}$ и $K_{\text{п.вых}}$ — коэффициенты пульсаций на входе и выходе сглаживающего фильтра.

2.9. 2.

2.10. 3. *Решение.* Тиристор обладает односторонней проводимостью, и ток в цепи протекает только в течение положительной полуволны напряжения u_2 . При подаче импульса в момент, когда $t_y = 0$, пропускается вся положительная полуволна тока, т.е. ток в цепи при этом максимален. По мере увеличения времени t_y пропускается все меньшая часть тока, и при $t_y = T/2$ ток будет равен нулю.

2.11. 4.

2.12. 1. *Решение.* Входное сопротивление усилительного каскада по переменным составляющим тока и напряжения

$$R_{\text{вх}} = \frac{U_{\text{вх}}}{I_{\text{в}}} = \frac{U_{\text{бэ}} + I_{\text{э}}(R_{\text{э}} \parallel R_{\text{н}})}{I_{\text{б}}} = \frac{U_{\text{бэ}}}{I_{\text{б}}} + \frac{I_{\text{э}}}{I_{\text{б}}}(R_{\text{э}} \parallel R_{\text{н}}).$$

Поскольку $I_Э = I_К + I_Б$, коэффициент $\beta = I_К/I_Б$, формула принимает вид

$$R_{вх} = \frac{U_{БЭ}}{I_Б} + (\beta + 1)(R_Э \parallel R_{и}).$$

Первая составляющая определяет сопротивление транзистора. Вторая составляющая, обусловленная отрицательной обратной связью, при достаточно большом β делает входное сопротивление каскада весьма высоким.

2.13. 3. 2.14. 1. 2.15. 2. 2.16. 3.

2.17. 2. *Решение.* Для увеличения стабилизирующего действия каскада сопротивление $R_Э$ следует выбирать как можно большим. Однако при увеличении $R_Э$ уменьшается напряжение на транзисторе $U_К$, поэтому принимаем $U_Э = I_{Э0} R_Э = 0,2 E_К$. Отсюда

$$R_Э = \frac{U_Э}{I_{Э0}} = \frac{0,2 \cdot 10}{5 \cdot 10^{-3}} = 400 \text{ Ом}.$$

Для получения требуемого напряжения $U_{БЭ} = 0,8 \text{ В}$ необходимо на резисторе R_2 делителя напряжения R_1, R_2 обеспечить напряжение

$$U_{дел} = U_Э + U_{БЭ} = 2 + 0,8 = 2,8 \text{ В}.$$

Сопротивления R_1 и R_2 выбирают так, чтобы ток делителя $I_{дел} = E_К / (R_1 + R_2)$ был гораздо больше тока базы $I_{Б0}$. В этом случае изменения последнего не будут влиять на напряжение $U_{дел}$. Выберем $I_{дел} = 10 I_{Б0} = 10 \cdot 50 = 500 \text{ мкА} = 0,5 \text{ мА}$.

Тогда

$$R_1 + R_2 = \frac{E_К}{I_{дел}} = \frac{10}{0,5 \cdot 10^{-3}} = 20\,000 \text{ Ом} = 20 \text{ кОм}.$$

Сопротивление R_2 находим по формуле

$$R_2 = \frac{U_{дел}}{I_{дел}} = \frac{2,8}{0,5 \cdot 10^{-3}} = 5\,600 \text{ Ом} = 5,6 \text{ кОм}.$$

Отсюда

$$R_1 = (R_1 + R_2) - R_2 = 20 - 5,6 = 14,4 \text{ кОм}.$$

2.18. 3. *Решение.* Двухтактный усилитель мощности имеет два одинаковых плеча, которые работают поочередно. В режиме А КПД такого усилителя низкий — около 40 %. В режиме В, т.е. когда положение рабочей точки покоя каждого плеча соответствует току базы, близкому к нулю, усилитель работает с малыми искажениями усиливаемого сигнала, а его КПД достигает 70 %.

2.19. 3. 2.20. 2. 2.21. 1. 2.22. 3. 2.23. 2. 2.24. 6. 2.25. 1.

2.26. 1. *Решение.* Коэффициент усиления усилителя без обратной связи

$$K = K_1 K_2 = 4 \cdot 25 = 100.$$

При введении отрицательной обратной связи усиление уменьшилось:

$$K_{o.c} = K/(1 + \beta K) = 100/(1 + 0,1 \cdot 100) = 9,1.$$

Так как общий коэффициент усиления увеличился на 10 %, то при наличии обратной связи усиление стало равно

$$K_{o.c1} = 1,1 K/(1 + 1,1 \beta K) = 1,1 \cdot 100/(1 + 1,1 \cdot 100 \cdot 0,1) = 9,17,$$

т.е. изменение коэффициента усиления усилителя с обратной связью составило

$$\frac{9,17 - 9,1}{9,1} 100 = 0,77 \text{ \%}.$$

Следовательно, усиление усилителя, охваченного обратной связью, уменьшилось, но стабильность усиления повысилась.

2.27. 4.

2.28. 4. Решение. Выходное напряжение первого каскада делится между емкостным сопротивлением $X_{C_{p2}}$ и входным сопротивлением второго каскада $R_{вх2}$. Следовательно, соотношение $X_{C_{p2}} < R_{вх2}$ в принципе верное, но для получения максимального усиления необходимо, чтобы $X_{C_{p2}} \ll R_{вх2}$.

2.29. 3. Решение. Чтобы привести разделительную схему $C, R2$ к типовому виду, нужно элементы, включенные между точками a и b схемы (см. рис. 2.13), заменить одним эквивалентным резистором для импульсной составляющей сигнала. Сопротивление R определяется:

сопротивлением резистора $R2$,

сопротивлением резистора $R1$, подсоединенного к точке a непосредственно, а к точке b через источник питания E_k , который является короткозамкнутым участком для переменной (импульсной) составляющей; входным сопротивлением каскада на транзисторе VT

$$r_{вх} \approx \beta R_3 = 30 \cdot 1 = 30 \text{ кОм}.$$

Так как упомянутые резисторы соединены параллельно, то $R = R_1 \parallel R_2 \parallel r_{вх} = 10 \text{ кОм}$.

Для разделительной цепи необходимо, чтобы

$$RC \geq \frac{t_{и}}{K_{с.доп}},$$

откуда

$$C \geq \frac{t_{и}}{RK_{с.доп}} = \frac{100 \cdot 10^{-6}}{10 \cdot 10^3 \cdot 0,1} = 10^{-2} \text{ Ф} = 0,1 \text{ мкФ}.$$

Емкость C рассчитана для импульса, действующего в точке a , т.е. на базе транзистора VT . Далее импульс повторяется на эмиттере транзистора VT уже без дополнительного спада вершины. Приведенная оценка спада вершины импульса справедлива и для выходного сигнала $U_{вых}$.

2.30. 4. 2.31. 3. 2.32. 5. 2.33. 2. 2.34. 1. 2.35. 2. 2.36. 2. 2.37. 2. 2.38. 2. 2.39. 3. 2.40. 2. 2.41. 2.

2.42. 1. *Решение.* Коэффициент положительной обратной связи β на резонансной частоте f_0

$$\beta = \frac{R_{\text{рез}}}{R_3 + R_{\text{рез}}} = \frac{1 \cdot 10^3}{(100 + 1) \cdot 10^3} = 0,0099.$$

Исходя из условия баланса амплитуд ($K_{o.c} \beta = 1$) коэффициент усиления усилителя в автогенераторе

$$K_{o.c} = 1/\beta = 101.$$

Для надежного сохранения автоколебаний должно выполняться условие $K_{o.c} \beta \geq 1$. Примем $K_{o.c} = 102$.

По цепи отрицательной обратной связи $K_{o.c} = \frac{R_2 + R_f}{R_1}$,

откуда

$$R_1 = \frac{R_2 + R_f}{K_{o.c}} = \frac{150 \cdot 10^3}{102} = 1470 \text{ Ом} = 1,47 \text{ кОм}.$$

2.43. 1. 2.44. 2. 2.45. 3. 2.46. 2. 2.47. 3. 2.48. 4.

2.49. 3. *Решение.* Ток данного источника тока

$$I_K = \frac{U_{\text{БЭ}} - 0,6}{R_3} = \frac{1,6 - 0,6}{10^3} = 0,001 \text{ А} = 1 \text{ мА}.$$

Напряжение на эмиттере

$$U_{\text{Э}} \approx I_K R_3 = 10^{-3} \cdot 10^3 = 1 \text{ В}.$$

Уравнение электрического равновесия

$$E_K = I_K R_n + U_{\text{КЭ}} + U_{\text{Э}}, \text{ или } 10 = I_K R_n + U_{\text{КЭ}} + 1.$$

Наибольшее напряжение $U_{\text{КЭ}}$ на транзисторе будет при $R_n = 0$:

$$U_{\text{КЭ max}} = 10 - 1 = 9 \text{ В}.$$

По мере увеличения сопротивления нагрузки R_n напряжение $U_{\text{КЭ}}$ будет снижаться. Последней точкой активного режима транзистора будет точка, соответствующая режиму насыщения, когда $U_{\text{КЭ}} = 0,2 \text{ В}$. Режим насыщения наступит при максимально возможном сопротивлении нагрузки $R_{n \text{ max}}$, для которого справедливо уравнение

$$10 = I_K R_{n \text{ max}} + 0,2 + 1.$$

Отсюда

$$R_{n \text{ max}} = \frac{10 - 0,2 - 1}{I_K} = \frac{8,8}{10^{-3}} = 8800 \text{ Ом} = 8,8 \text{ кОм}.$$

2.50. 3. 2.51. 4. 2.52. 4. 2.53. 3. 2.54. 4. 2.55. 1. 2.56. 2. 2.57. 1. 2.58. 2. 2.59. 1. 2.60. 2. 2.61. 2. 2.62. 3.

К главе 3

3.1. 4. 3.2. 5.

3.3. 1. *Решение.* Это число нельзя написать в пятеричной системе, так как в ней нет цифры 5.

В шестеричной системе $125_6 = 1 \cdot 6^2 + 2 \cdot 6^1 + 5 \cdot 6^0 = 53_{10}$.

В восьмеричной системе $125_8 = 1 \cdot 8^2 + 2 \cdot 8^1 + 5 \cdot 8^0 = 85_{10}$.

3.4. 3. 3.5. 2. 3.6. 3.

3.7. 3. *Решение.* $1100_3 = 1 \cdot 3^3 + 1 \cdot 3^2 + 0 \cdot 3^1 + 0 \cdot 3^0 = 36_{10}$.

3.8. 3. *Решение.* $110_5 = 1 \cdot 5^2 + 1 \cdot 5^1 + 0 \cdot 5^0 = 30_{10}$.

3.9. 2. 3.10. 2.

3.11. 2. *Решение.* Если при сложении в разряде получается число $2 = 1 + 1$, то в этом разряде проставляем 0, а в старший разряд переносим 1. Если в разряде получается число $3 = 1 + 1 + 1$, то в данном разряде проставляем 1 и в старший разряд переносим 1.

3.12. 2. 3.13. 3.

3.14. 2. *Решение.* Переносы, отмеченные стрелками, выполняются по следующим правилам:
в десятичной арифметике

$$\begin{array}{r} \overset{0}{\cancel{10}} \\ - \quad 8 \\ \hline 02 \end{array}; \quad \begin{array}{r} \overset{0}{\cancel{99}} \overset{10}{10} \\ - \quad 1000 \\ \hline 987 \\ \hline 0013 \end{array};$$

в двоичной арифметике

$$\begin{array}{r} \overset{0}{\cancel{10}} \\ - \quad 01 \\ \hline 01 \end{array}; \quad \begin{array}{r} \overset{0}{\cancel{11}} \overset{12}{12} \\ - \quad 1000 \\ \hline 101 \\ \hline 0011 \end{array}.$$

Осуществим операцию вычитания $101101 - 100111$ (вторая пара чисел из приведенных в задании):

$$\begin{array}{r} 101101 \\ - 100111 \\ \hline 0 \end{array} \quad \text{— вычитание в младшем разряде;}$$

$$\begin{array}{r} \overset{02}{101101} \\ - 100111 \\ \hline \end{array}$$

0 — перенос из третьего разряда уменьшаемого во второй разряд;

$$\begin{array}{r} 100221 \\ - 11 \\ \hline 10 \end{array} \text{ — вычитание вторых разрядов;}$$

$$\begin{array}{r} \overset{02}{101021} \\ - 100111 \\ \hline \end{array}$$

10 — перенос из четвертого разряда уменьшаемого в третий разряд;

$$\begin{array}{r} 100221 \\ - 111 \\ \hline 110 \end{array} \text{ — вычитание третьих разрядов;}$$

$$\begin{array}{r} 100221 \\ - 100111 \\ \hline \end{array}$$

000110 — вычитание старших разрядов, получение окончательного результата (разности).

Данный результат не совпадает со вторым ответом.

3.15. 2. Решение. Записываем вычитаемое число в двоичном коде:

$$23_{10} = 0001.0111.$$

Обратный код числа 23_{10} : 1110.1000.

Прибавляем к обратному коду единицу и получаем дополнительный код:

$$\begin{array}{r} 1110.1000 \\ + 1 \\ \hline 1110.1001 \end{array} \text{ — дополнительный код числа } 23_{10}.$$

Для вычисления разности представляем уменьшаемое число в двоичном виде ($58_{10} = 0011.1010$) и складываем его с дополнительным кодом числа 23_{10} :

$$\begin{array}{r} 0011.1010 \\ + 1110.1001 \\ \hline 10010.0011. \end{array}$$

Так как разность $58 - 23$ положительна, то отбрасываем единицу переноса и получаем окончательно $58 - 23 = 0010.0011$.

3.16. 1. Решение.

1. Определим дополнительный код числа 34.

Записываем вычитаемое число в двоичном виде: $34_{10} = 0010.0010$.
 Образует обратный код числа 34_{10} : 1101.1101.
 Прибавляем к обратному коду единицу и получаем дополнительный код числа 34_{10} : 1101.1110.
 2. Вычисляем разность.
 Десятичная арифметика:

$$\begin{array}{r} 26 \\ - 34 \\ \hline -08 \end{array}$$

Двоичная арифметика:
 0001.1010 — число 26_{10} в двоичном виде
 +
 1101.1110 — дополнительный код числа 34_{10}
 $\hline 1111.1000$ — разность в форме дополнения (поскольку в старшем разряде 1).

3. Определяем абсолютное значение разности.
 Так как разность — число отрицательное (бит старшего разряда равен 1), то она получена в дополнительном коде. Для определения абсолютной величины отрицательного числа полученную разность необходимо представить в обратном коде, а затем прибавить единицу:

1111.1000 — дополнительный код разности;
 0000.0111 — обратный код;
 0000.0001 — единица, добавляемая к обратному коду;
 0000.1000 — абсолютное значение разности (8_{10}).

3.17. 5.

3.18. 1. *Решение.* Возьмем первую пару чисел.

Деление «в столбик»:

$$\begin{array}{r} \text{делимое } 30_{10} \text{ — } 11110 \quad \begin{array}{l} \overline{)101} \\ 110 \end{array} \text{ — делитель } 5_{10} \\ \quad \quad \quad \begin{array}{l} \overline{)101} \\ 110 \end{array} \text{ — частное } 6_{10} \\ \quad \quad \quad \begin{array}{l} 0101 \\ \overline{)101} \\ 000 \end{array} \end{array}$$

Выполняем двоичное деление путем вычитания и сдвига.

Представляем делитель в дополнительном коде:

0101 — делитель 5_{10}
 1010 — обратный код делителя
 + 0001 — единица, добавляемая к обратному коду
 $\hline 1011$ — дополнительный код числа 5_{10} .

Первое деление:

011110 — делимое 30_{10}
 + 101100 — дополнительный код числа 5_{10}
 $\hline 1001010$ — первый результат.

Единицу старшего разряда отбрасываем. Так как в следующем разряде 0, то частное от первого деления равно 1, частное в целом имеет вид 1XX.

Сдвигаем первый результат влево на одну позицию и проводим второе деление.

$$\begin{array}{r} 10100 \text{ — сдвиг первого результата} \\ + 10110 \text{ — дополнительный код числа } 5_{10} \\ \hline 100000 \text{ — второй результат.} \end{array}$$

Следовательно, частное имеет вид 11X. Дальнейшее деление дает нули, поэтому частное равно 110. Таким образом, первый ответ неверен.

К главе 4

4.1. 1. 4.2. 6. 4.3. 1. 4.4. 2. 4.5. 2. 4.6. 1. 4.7. 3. 4.8. 2. 4.9. 1. 4.10. 5. 4.11. 1. 4.12. 2. 4.13. 1. 4.14. 2. 4.15. 3.

4.16. 2. *Решение.* Левые элементы И—НЕ с объединенными входами на рис. 4.14 выполняют функцию НЕ, образуя переменные $\bar{x}_1$ и $\bar{x}_2$. На выходе правого элемента И—НЕ будет функция И—НЕ от этих переменных:

$$Y = \overline{\bar{x}_1 \bar{x}_2}.$$

Инверсия конъюнкции есть дизъюнкция инверсий:

$$Y = x_1 + x_2,$$

следовательно, реализуется функция ИЛИ.

4.17. 2. 4.18. 2. 4.19. 1.

4.20. 4. *Решение.* Составим по схеме, приведенной на рис. 4.18, логическую формулу:

$$Y = \overline{\bar{x}_1 \bar{x}_2 + x_1 x_2}.$$

Ее инверсия $\bar{Y} = \bar{x}_1 \bar{x}_2 + x_1 x_2$ соответствует функции «Равнозначность», что можно подтвердить, составив таблицу истинности. Следовательно, искомая функция есть «Сложение по модулю 2» (Неравнозначность).

4.21. 3. 4.22. 1. 4.23. 2. 4.24. 3. 4.25. 4. 4.26. 3. 4.27. 2. 4.28. 1. 4.29. 3. 4.30. 1. 4.31. 2. 4.32. 4. 4.33. 3. 4.34. 5. 4.35. 5.

4.36. 3. *Решение.* Для обеспечения малого значения низкого уровня выходного напряжения $U_{\text{вых}}^0$ необходимо, чтобы сопротивление канала открытых транзисторов VT1 и VT2 (см. рис. 4.31) было намного меньше сопротивления нагрузочного транзистора VT3. Для этого открытые транзисторы VT1 и VT2 должны оба работать на линейной части стоковой характеристики, представляя собой линейные резисторы с небольшим омическим сопротивлением.

4.37. 3.

4.38. 3. Решение. Действие входных сигналов низкого уровня $U_{вх1} = U^0$ и $U_{вх2} = U^0$ закрывает транзисторы $VT1$ и $VT2$ (см. рис. 4.33). При этом последовательно соединенные транзисторы $VT3$ и $VT4$ открыты. На выходе схемы устанавливается высокий уровень напряжения $U_{вых}^1$.

Если хотя бы на один вход поступает сигнал высокого уровня, то открывается соответствующий транзистор ($VT1$ или $VT2$), а связанный с ним транзистор ($VT3$ или $VT4$) закрывается. На выходе схемы устанавливается низкий уровень напряжения $U_{вых}^0$. Следовательно, реализуется функция ИЛИ — НЕ.

4.39. 4. Решение. При действии входных сигналов низкого уровня $U_{вх1} = U^0$ и $U_{вх2} = U^0$ транзисторы $VT1$ и $VT2$ закрыты, а $VT3$ и $VT4$ открыты (см. рис. 4.34). На выходе схемы будет высокий уровень напряжения $U_{вых}^1$.

Состояние схемы не изменяется, если сигнал низкого уровня $U_{вх}^0$ поступает только на один из входов.

При подаче на оба входа сигналов высокого уровня $U_{вх1}^1$ и $U_{вх2}^1$ транзисторы $VT1$ и $VT2$ открываются, а $VT3$ и $VT4$ — запираются. На выходе схемы устанавливается низкий уровень напряжения $U_{вых}^0 \approx 0$.

Следовательно, данная схема реализует функцию И — НЕ.

4.40. 4. 4.41. 3. 4.42. 3. 4.43. 2. 4.44. 2. 4.45. 1. 4.46. 1. 4.47. 5. 4.48. 2. 4.49. 3. 4.50. 3. 4.51. 2. 4.52. 4. 4.53. 7. 4.54. 2. 4.55. 3. 4.56. 4. 4.57. 1. 4.58. 2. 4.59. 2. 4.60. 1. 4.61. 4. 4.62. 5. 4.63. 3.

4.64. 1. Решение. Эквивалентная схема процесса при открывании тиристора VS приведена на рис. P.1.

Ток i_a через нагрузку и тиристор равен сумме токов:

$$i_R + i_C = i_a, \quad (1)$$

Составим дифференциальное уравнение для напряжения на конденсаторе U_C . Для этого примем во внимание, что $i_R = \frac{U_C}{R}$, $i_C = C \frac{dU_C}{dt}$. По второму правилу Кирхгофа

$$U_C + i_a R_n = E,$$

откуда

$$i_a = \frac{E - U_C}{R_n}.$$

Подставляем выражения для токов в уравнение (1):

$$\frac{U_C}{R} + C \frac{dU_C}{dt} = \frac{E - U_C}{R_n}.$$

После преобразований получаем искомого дифференциальное уравнение

$$C \frac{dU_C}{dt} + \frac{(R_n + R)U_C}{RR_n} = \frac{E}{R_n}. \quad (2)$$

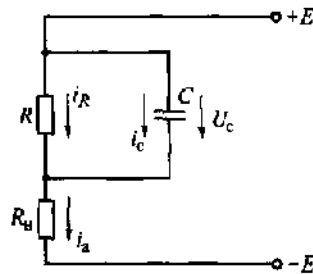


Рис. P.1

Для свободной составляющей напряжения на конденсаторе уравнение (2) принимает вид

$$C \frac{dU_{C\text{св}}}{dt} + \frac{R_n + R}{RR_n} U_{C\text{св}} = 0.$$

Отсюда можем записать характеристическое уравнение

$$CpU_{C\text{св}} + \frac{R_n + R}{RR_n} U_{C\text{св}} = 0.$$

Разделив обе его части на $U_{C\text{св}}$, найдем корень характеристического уравнения

$$p = -\frac{R_n + R}{RR_n} \frac{1}{C}.$$

Известно выражение

$$U_{C\text{св}} = Ae^{pt} = Ae^{-\frac{t}{\tau_{\text{зар}}}}.$$

Следовательно, постоянная времени заряда конденсатора

$$\tau_{\text{зар}} = \frac{RR_n}{R + R_n} C.$$

4.65. 1. 4.66. 3. 4.67. 2. 4.68. 5. 4.69. 5. 4.70. 2. 4.71. 5. 4.72. 2.

4.73. 3. *Решение.* Длительность импульса мультивибратора $t_1 = RC \ln[1 + (2R_1/R_2)]$, а период $T = 2t_1$. Следовательно, период следования импульсов зависит от параметров C , R , R_1 и R_2 .

4.74. 4. 4.75. 2. 4.76. 4. 4.77. 1. 4.78. 2. 4.79. 5. 4.80. 1. 4.81. 4. 4.82. 2. 4.83. 4. 4.84. 1.

К главе 5

5.1. 5.5.2. 2. 5.3. 1. 5.4. 5. 5.5. 5. 5.6. 4.

5.7. 2. *Решение.* Составим таблицу истинности мультиплексора и с ее помощью напомним логическую формулу для Y :

$$Y = F = D_0 \bar{x}_2 \bar{x}_1 \bar{x}_0 + D_1 \bar{x}_2 \bar{x}_1 x_0 + D_2 \bar{x}_2 x_1 \bar{x}_0 + D_3 \bar{x}_2 x_1 x_0 + \\ + D_4 x_2 \bar{x}_1 \bar{x}_0 + D_5 x_2 \bar{x}_1 x_0 + D_6 x_2 x_1 \bar{x}_0 + D_7 x_2 x_1 x_0.$$

Для проверки правильности ответов надо подставить значения $D_0 = D_1 = D_2 = D_4 = 0$ и $D_3 = D_5 = D_6 = D_7 = 1$ при заданных x_0 , x_1 и x_2 в логическую формулу. Следует учесть также состояние стробирующего входа E . Неправильным является ответ 2, так как при $E = 1$ мультиплексор находится в нерабочем состоянии.

5.8. 3. 5.9. 2. 5.10. 3. 5.11. 2. 5.12. 3. 5.13. 5. 5.14. 6. 5.15. 5. 5.16. 5. 5.17. 1. 5.18. 5. 5.19. 3. 5.20. 3. 5.21. 4. 5.22. 5. 5.23. 4.

5.24. 1. *Решение.* Число уровней квантования напряжения

$$N = \frac{U_{\text{вх}}}{\Delta U} = \frac{10}{0,01} = 1000.$$

Поскольку АЦП последовательного типа, то число импульсов, поступивших на счетчик, равно 1000. Необходим 10-разрядный счетчик, так как $2^9 < 1000 < 2^{10} = 1024$, т.е. $n = 10$.

Период следования тактовых импульсов

$$T_r = 1/f_r = 1/10^6 \text{ с.}$$

Время преобразования

$$t_{\text{пр}} = T_r N = \frac{1}{10^6} 1000 = 10^{-3} \text{ с} = 1 \text{ мс.}$$

5.25. 1. *Решение.* Максимальное число импульсов, подсчитываемых двоичным счетчиком с $n = 10$, составляет $N = 2^n - 1 = 1023$.

Период следования тактовых импульсов $T_r = 1/f_r = \frac{1}{10 \cdot 10^6} = \frac{1}{10^7} \text{ с.}$

Время дискретизации по времени (выборки)

$$T_d = T_r N = 1023/10^7 \text{ с.}$$

Частота выборки $f_d = 1/T_d = 10^7/1023 = 9,77 \cdot 10^3 \text{ Гц} = 9,77 \text{ кГц.}$

Дискретизация по времени корректна, если можно восстановить исходный аналоговый сигнал, что осуществимо при $f_d \geq 2f_s$ (теорема Котельникова).

Таким образом, верхняя граничная частота по условию однозначности преобразования составляет

$$f_s = f_d/2 = 4,89 \text{ кГц.}$$

5.26. 3. 5.27. 2. 5.28. 3. 5.29. 1. 5.30. 4.

5.31. 4. *Решение.* Срабатывание триггера DD2 (см. рис. 5.20) происходит по переднему фронту $U^{0,1}$ импульсов на входе С.

В исходном состоянии моменту прихода фронта импульса на вход С соответствует напряжение низкого уровня на входе D (рис. Р.2, а). Следовательно, на выходе 1 будет напряжение низкого уровня, на выходе 2 — высокого.

После прикосновения пальца к сенсору емкость тела оператора и резистор R (см. рис. 5.20) образуют интегрирующую цепь, которая будет искажать фронт и срез импульсов на входе D (рис. Р.2, б).

В момент поступления фронта тактового импульса на вход С на входе D еще присутствует напряжение высокого уровня и триггер переходит в состояние высокого уровня напряжения на выходе 1. Продолжительность нахождения триггера в этом состоянии равна времени контакта пальца

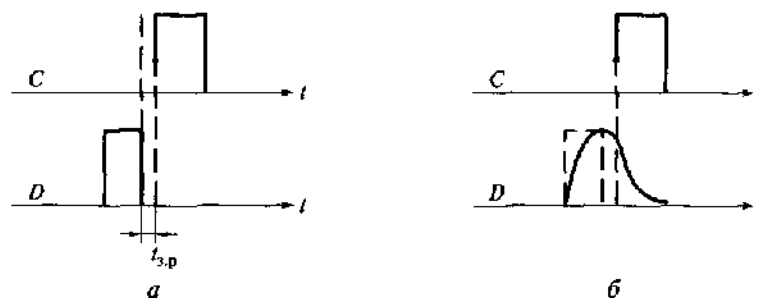


Рис. P.2

с сенсором. После отпущания пальца форма импульсов на входе D восстанавливается и очередной тактовый импульс возвращает триггер в исходное состояние. Следовательно, высказывание 4 не соответствует действительности.

5.32. 1. 5.33. 4. 5.34. 3. 5.35. 1. 5.36. 1. 5.37. 3. 5.38. 6.

5.39. 3. *Решение.* При подаче на вход Z (см. рис. 5.24) напряжения низкого уровня транзистор $VT5$ закрыт и логический элемент работает обычным образом.

При подаче на вход Z напряжения высокого уровня (логической 1) транзистор $VT5$ открывается, входит в режим насыщения и транзисторы $VT2—VT4$ закрываются. Наступает третье состояние независимо от комбинаций сигналов x_1 и x_2 на входе элемента.

При объединении выходов таких схем на общей шине нагрузка должна обслуживаться только одним элементом, а все остальные должны находиться в третьем состоянии.

5.40. 5. 5.41. 7. 5.42. 1. 5.43. 4. 5.44. 1. 5.45. 6. 5.46. 7. 5.47. 1.

5.48. 4. *Решение.* Переход к каждому следующему поколению ЭВМ характеризуется применением новой элементной базы и(или) принципиально новых архитектурных решений. Наиболее важной чертой ЭВМ четвертого поколения является широкое использование микропроцессоров. ИС средней и частично высокой степени интеграции ко времени появления указанных ЭВМ уже применялись в лучших образцах более ранних моделей.

5.49. 2. *Решение.* В микропроцессорной системе все управляющие программы хранятся в $ЗУ$ (см. рис. 5.29), которое в этом смысле подобно почтовому ящику. Однако все необходимые аппаратные средства для обращения к $ЗУ$ входят в состав $МП$, который извлекает из $ЗУ$ управляющие программы и в соответствии с ними организует процесс вычислений, выполняет его и непосредственно управляет им.

5.50. 2.

5.51. 1. Решение. Разрядность МП определяется числом бит данных, которые он может обработать одной командой, поэтому его шина данных должна обеспечивать одновременное считывание из ЗУ именно такого числа бит. Таким образом, разрядность МП однозначно определяется числом проводников (разрядностью) его внешней шины данных.

5.52. 4. Решение. Предельно возможный объем памяти, которой может быть укомплектована ЭВМ, определяется разрядностью шины адреса используемого МП. Как правило, даже 8-разрядные МП, работающие с байтами данных, имеют 16-разрядную адресную шину, что позволяет им обращаться не более чем к $2^{16} = 65\,536$ ячейкам памяти. Поскольку 1 Кбайт равен 1024 байт, максимальный объем адресуемой памяти в этом случае будет 64 Кбайт.

5.53. 2. Решение. Оба блока и МП в целом должны состоять из комбинационных и запоминающих устройств. Запоминающие устройства, входящие в состав МП, выполнены в виде отдельных быстродействующих регистров и называются местной регистровой памятью. Скорость обращения к этим регистрам значительно больше, чем к основной памяти, поэтому местную память называют сверхоперативным запоминающим устройством (СОЗУ).

5.54. 2. 5.55. 5. 5.56. 1.

5.57. 4. Решение. Рабочие регистры предназначены для хранения промежуточных результатов и элементов данных, обрабатываемых МП. Основное число ячеек памяти обеспечивает ЗУ. Как правило, общее число рабочих регистров МП не так уж и велико, чтобы можно было говорить о заметном расширении за счет их объема памяти микроЭВМ. В рабочих регистрах могут храниться какие-то адреса, но предварительно эти адреса должны быть либо вычислены в процессе выполнения программы, либо извлечены из ячеек памяти. В этом смысле правильнее считать, что указанные адреса являются промежуточными результатами исполнения программы, для хранения которых и используются рабочие регистры.

5.58. 4. 5.59. 3. 5.60. 2. 5.61. 5. 5.62. 3. 5.63. 1.

5.64. 3. Решение. ОЗУ предназначены для хранения данных, изменяющихся в процессе исполнения программы. В этом их главное отличие от многократно программируемых ПЗУ. Последние подобно ОЗУ обеспечивают произвольную выборку, а современные ИС многократно программируемых ПЗУ (например, флэш-памяти) по времени выборки почти не уступают ОЗУ. В многократно программируемых ИС ПЗУ число циклов перезаписи ограничено, в то время как в ИС ОЗУ таких ограничений нет.

5.65. 3. Решение. Разрядность МП определяется числом бит данных, которые он может обработать одной командой. Для 8-разрядного МП это 1 байт, а для 16-разрядного МП — машинное слово, состоящее из 2 байт. Естественно, что 16-разрядный МП может за один цикл обращения к памяти считать 2 байт, а 8-разрядный только 1 байт.

В любом МП объем адресуемой памяти определяется разрядностью его шины адреса, причем минимальной адресуемой единицей объема памяти всегда считается 1 байт. В данном случае рассматриваемые МП имеют 16-разрядную шину адреса, поэтому их максимально возможные объемы адресуемой памяти одинаковы и равны 65 536 байт, или 64 Кбайт.

5.66. 3. Решение. Работа со стеком организована по принципу «последним пришел, первым вышел», поэтому порядок восстановления содержимого всех регистров из стека должен быть обратным порядку занесения их содержимого в стек.

5.67. 3. Решение. Необходимость применения более одного порта в ИС ввода-вывода обусловлена не только передачей данных (для этого было бы достаточно одного порта), но и требованием управления процессом передачи и контроля со стороны МП за состоянием внешнего устройства (ВУ). При этом, как минимум, необходимо дополнительное обращение к регистру состояния ВУ, для чего нужен еще хотя бы один порт.

5.68. 3. Решение. Принципиальное отличие параллельного способа передачи и приема информации от последовательного заключается в разном числе одновременно передаваемых бит (при параллельном — сразу байт, при последовательном — поочередно битами).

Остальные варианты ответов в данном случае отмечают лишь несущественные детали. Конечно, у обоих способов разные предельно допустимые длины используемого кабеля и разное оборудование, но это лишь следствие принципиального их различия.

При передаче данных ТТЛ-уровнями (+5 В и 0 В) максимальная длина кабеля связи в стандартном параллельном интерфейсе не должна превышать 2...3 м. Увеличение длины кабеля до 10 м возможно только при использовании специальных усилителей, поэтому для работы с более удаленными принтерами лучше всего применять последовательный интерфейс. Основным его преимуществом является возможность передачи данных на большие расстояния, как правило, не менее 30 м. В современных микропроцессорных системах последовательный интерфейс используется для большинства периферийных устройств, таких как клавиатура, удаленный принтер, внешний модем (устройство для междокументного обмена по линиям телефонной связи) и др.

5.69. 5.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Условные обозначения элементов на принципиальных электрических схемах

Наименование элемента	Условное обозначение	Примечание
Биполярный транзистор $n-p-n$ -типа		Б — база К — коллектор Э — эмиттер
Биполярный транзистор $p-n-p$ -типа		
Полевой транзистор с управляющим $p-n$ -переходом и каналом n -типа		З — затвор С — сток И — исток
Полевой транзистор с управляющим $p-n$ -переходом и каналом p -типа		
Полевой транзистор с изолированным затвором и встроенным каналом n -типа		П — подложка
Полевой транзистор с изолированным затвором и индуцированным каналом n -типа		
Тиристор		А — анод К — катод УЭ — управляющий электрод
Резистор		
Конденсатор, электролитический конденсатор		Обкладка «+» подключается к положительному потенциалу
Дроссель		
Выпрямительный диод		А — анод К — катод
Стабилитрон		

**Единицы измерения и обозначения некоторых
физико-технических величин**

Величина	Обозначение всичины*	Единица измерения в Международной системе единиц (СИ)	
		Название**	Обозначение
Общетеchnические величины			
Время	t (τ)	Секунда	с
Давление	p	Ньютон на квад- ратный метр, или паскаль	Н/м ² , или Па
Длина	l	Метр	м
Количество теплоты	Q	Джоуль	Дж
Масса	m	Килограмм	кг
Момент силы	M	Ньютон-метр	Н · м
Мощность	P	Ватт	Вт
Объем	V	Кубический метр	м ³
Плотность	ρ (δ)	Килограмм на кубический метр	кг/м ³
Площадь	S	Квадратный метр	м ²
Работа	A (W , L)	Джоуль	Дж
Сила	F (f , P)	Ньютон	Н
Поток световой	Φ	Люмен	лм
Сила света	J	Кандела	кд
Сила тяжести	G	Ньютон	Н
Скорость линейная	v	Метр в секунду	м/с
Скорость угловая	ω	РадIAN в секунду	рад/с

Продолжение приложения 2

Величина	Обозначение величины*	Единица измерения в Международной системе единиц (СИ)	
		Название**	Обозначение
Термодинамическая температура (Кельвина)	T	Кельвин	К
Практическая температура (Цельсия)	$t(T)$	Градус Цельсия	°C
Угол плоский	—	РадIAN	рад
Угол телесный	Ω	Стерadian	ср
Удельный вес	γ	Ньютон на кубический метр	Н/м³
Ускорение линейное	a	Метр на секунду в квадрате	м/с²
Ускорение угловое	ε	РадIAN на секунду в квадрате	рад/с²
<i>Электрические величины</i>			
Емкость электрическая	C	Фарад	Ф
Заряд электрический	$Q(q)$	Кулон	Кл
Индуктивность собственная	L	Генри	Гн
Индуктивность взаимная	M	Генри	Гн
Индукция магнитная	B	Тесла	Тл
Поток магнитный	Φ	Вебер	Вб
Потокоцепление	ψ	Вебер	Вб
Коэффициент мощности	$\cos \varphi$	—	—
Коэффициент трансформации	K	—	—
Мощность активная	P	Ватт	Вт
Мощность полная	$S(P_S)$	Вольт-ампер	В·А
Мощность реактивная	$Q(P_Q)$	Вольт-ампер реактивный	вар

Продолжение приложения 2

Величина	Обозначение величины*	Единица измерения в Международной системе единиц (СИ)	
		Название**	Обозначение
Напряжение электрическое	U	Вольт	В
Сила электродвижущая	E	Вольт	В
Напряженность электрического поля	E	Вольт на метр	В/м
Напряженность магнитного поля	H	Ампер на метр	А/м
Период колебаний электрической или магнитной величины	T	Секунда	с
Плотность электрического тока	J	Ампер на квадратный миллиметр	А/мм ²
Потенциал электрический	V	Вольт	В
Проводимость магнитная	Λ	Вебер на ампер	Вб/А
Проводимость электрическая активная	g	Сименс	См
Проводимость электрическая реактивная	b	Сименс	См
Проводимость электрическая полная	y	Сименс	См
Проводимость электрическая удельная	γ	Сименс на метр	См/м
Проницаемость абсолютная диэлектрическая	ϵ_a	Фарад на метр	Ф/м
Проницаемость абсолютная магнитная	μ_a	Генри на метр	Гн/м
Проницаемость относительная диэлектрическая	ϵ	Безразмерная величина	—

Продолжение приложения 2

Величина	Обозначение величины*	Единица измерения в Международной системе единиц (СИ)	
		Название**	Обозначение
Проницаемость относительная магнитная	μ	Безразмерная величина	—
Сдвиг фаз между напряжением и током	φ	Градус электрический	—
Сила коэрцитивная	H_c	Ампер на метр	А/м
Сила магнитодвижущая вдоль замкнутого контура	F	Ампер	А
Скольжение	S	Безразмерная величина	—
Смещение электрическое	D	Кулон на квадратный метр	Кл/м ²
Сопротивление магнитное	$R_m (r_m)$	Ампер на вебер	А/Вб (1/Тн)
Сопротивление электрическое постоянному току	$R (r)$	Ом	Ом
Сопротивление электрическое активное	$R (r)$	Ом	Ом
Сопротивление электрическое реактивное	$X (x)$	Ом	Ом
Сопротивление электрическое полное	Z	Ом	Ом
Сопротивление электрическое удельное	ρ	Ом-метр	Ом · м
Сила тока	I	Ампер	А
Частота колебаний электрической или магнитной величины	$f (v)$	Герц	Гц
Частота колебаний угловая электрической или магнитной величины	$\omega (\Omega)$	Рад/с	рад/с

Окончание приложения 2

Величина	Обозначение величины*	Единица измерения в Международной системе единиц (СИ)	
		Название**	Обозначение
Число витков	w (N)	—	—
Число пар полюсов	p	—	—
Число фаз многофазной системы	m	—	—
Энергия электромаг- нитная	W	Джоуль	Дж

* В скобках указаны запасные обозначения.

** В международной системе единиц (СИ) единицы измерения длины (м), массы (кг), времени (с), силы электрического тока (А), термодинамической температуры (К), силы света (кд) являются основными, единицы плоского (рад) и телесного (ср) углов — дополнительными, прочих величин — производными.

Десятичные приставки к названиям величин

Наименование	Обозначение	Множитель
тера	Т	10^{12}
гига	Г	10^9
мега	М	10^6
кило	к	10^3
гекто	г	10^2
дека	да	10
деци	д	10^{-1}
санти	с	10^{-2}
милли	м	10^{-3}
микро	мк	10^{-6}
нано	н	10^{-9}
пико	п	10^{-12}

Пассивные элементы электронных устройств

Современные электронные устройства содержат помимо основных активных элементов — полупроводниковых или электровакуумных приборов — большое число пассивных элементов (резисторов и конденсаторов).

Резисторы. Резистором называют пассивный элемент электронных устройств, предназначенный для создания в электрической цепи требуемого сопротивления, обеспечивающего необходимое распределение и регулирование электрической энергии в элементах электронных устройств.

Резисторы — наиболее распространенные пассивные элементы устройств промышленной электроники. Они могут составлять 40...50 % общего числа всех элементов. Выпускаемые промышленностью резисторы классифицируют по различным признакам. В зависимости от характера изменения сопротивления резисторы подразделяют на постоянные и переменные, по материалу резистивного элемента — на непроволочные и проволочные.

В зависимости от назначения постоянные резисторы подразделяют на резисторы:

- общего применения (допустимые отклонения от номинала ± 5 ; ± 10 ; ± 20 %);
- прецизионные (с допусками $\pm 0,01$; $\pm 0,02$; $\pm 0,05$; $\pm 0,1$; $\pm 0,2$; $\pm 0,5$ %);
- высокоомные (свыше 10 МОм);
- высоковольтные (свыше 2 кВ);
- высокочастотные и импульсные.

Основными параметрами резисторов являются номинальное сопротивление (номинал), допустимое отклонение от номинала, номинальная мощность и температурный коэффициент сопротивления.

Номинальные сопротивления отечественных резисторов составляют $10^{-1} \dots 10^{11}$ Ом. Для резисторов установлено шесть рядов номинальных сопротивлений: E6, E12, E24, E48, E96, E192. Число, стоящее после символа E, определяет количество номинальных значений в ряду. Каждый ряд задается числовыми коэффициентами, умноженными на 10^n , где n — целое положительное число. Резисторы изготавливают с номинальными сопротивлениями, соответствующими одному из числовых коэффициентов. Наиболее распространенными являются ряды E6, E12, E24, которые представлены в табл. П4.1.

Допустимое отклонение от номинала соответствует ряду $\pm 0,01$; $\pm 0,02$; $\pm 0,05$; $\pm 0,1$; $\pm 0,2$; $\pm 0,5$; $\pm 1,0$; $\pm 2,0$; $\pm 5,0$; ± 10 ; ± 20 ; ± 30 .

Номинальная мощность $P_{ном}$ — максимальная мощность, на которую рассчитан резистор при длительной его работе без изменения параметров в течение гарантийного срока службы.

Таблица П4.1

Наиболее распространенные ряды номинальных сопротивлений резисторов

Ряд	Числовой коэффициент	Допустимое отклонение, %
E6	1,0 1,5 2,2 3,3 4,7 6,8	± 20
E12	1,0; 1,2; 1,5; 1,8; 2,2; 2,7; 3,3; 3,9; 4,7; 5,6; 6,8; 8,2	± 10
E24	1,0; 1,1; 1,2; 1,3; 1,5; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 2,4; 2,7; 3,0; 3,3; 3,6; 3,9; 4,3; 4,7; 5,1; 5,6; 6,2; 6,8; 7,5; 8,2; 9,1	± 5

Если резистор работает при температурах, превышающих предельное значение для данного резистора, то номинальная мощность рассеяния снижается. Номинальную мощность рассеяния в ваттах выбирают из ряда 0,01; 0,025; 0,05; 0,125; 0,25; 0,5; 1; 2; 5; 8; 10; 16; 25; 50; 75; 100; 150; 250; 500.

Температурный коэффициент сопротивления (ТКС) — величина, характеризующая относительное изменение сопротивления резистора при изменении температуры на 1°С. Значение этого коэффициента может быть как положительным, так и отрицательным.

Постоянные непроволочные резисторы подразделяют на пленочные и объемные. Пленочный резистор представляет собой стержень из изоляционного материала, покрытый слоем вещества с малой удельной электрической проводимостью. Для создания высокоомных резисторов токопроводящий слой выполняют в виде спирали. В зависимости от материала токопроводящего слоя различают металлопленочные, углеродистые пленочные, бороуглеродистые пленочные, металлооксидные и композиционные резисторы.

В *металлопленочных резисторах* токопроводящим слоем является пленка из сплавов высокого сопротивления, которую наносят на основание из керамики или ситалла.

Углеродистые пленочные резисторы обладают высокой стабильностью. Токопроводящим слоем в них является пленка углерода толщиной 0,1...0,2 мкм, которую наносят на поверхность керамического стержня.

Бороуглеродистые пленочные резисторы отличаются от углеродистых резисторов введением в состав углеродистой пленки примеси бора, что позволяет снизить ТКС и создать резисторы с небольшими отклонениями от номинала. Резисторы этого типа выпускаются с допусками $\pm 0,5$; $\pm 1\%$.

Металлооксидные резисторы отличаются большей по сравнению с металлопленочными резисторами стабильностью при изменениях температуры окружающей среды и других факторов. Токопроводящим слоем

в них является пленка оксидов металлов, чаще всего диоксида олова. Эти резисторы выпускаются с номинальными сопротивлениями 1...100 Ом и номинальной мощностью от 20 до 200 Вт.

Композиционные резисторы в настоящее время находят все большее применение. Токопроводящим слоем в них является пленка сажи или графита с наполнителем. Эти резисторы просты в изготовлении, имеют высокую надежность и небольшую стоимость, но обладают низкой стабильностью и зависимостью сопротивления от приложенного напряжения. Композиционные резисторы выпускаются с номиналом до 10^{11} Ом и на номинальные высокие напряжения до 60 кВ.

Объемные резисторы представляют собой спрессованные при высокой температуре стержни или параллелепипеды из смеси сажи, корундового порошка и стеклоэмали, которая является связующим веществом. Эти резисторы обладают высокой надежностью при номинальной мощности от 0,125 до 60 Вт.

Постоянные проволочные резисторы изготавливают из манганиновой, никромовой или константановой проволоки, которую наматывают на трубку из керамики или пресспорошка. Сверху в качестве защитного покрытия применяют силикатную эмаль, которая фиксирует витки и изолирует их друг от друга, а также защищает резистор от окисления и механических повреждений. Различают резисторы с однослойной и многослойной намотками. Постоянные проволочные резисторы имеют номиналы от 3 Ом до 51 кОм и номинальную мощность до 150 Вт.

Проволочные резисторы отличаются от пленочных высокой стабильностью, точностью и надежностью в работе. К недостаткам следует отнести их относительно большую паразитную индуктивность, а также высокую стоимость и большие габаритные размеры.

Освоен выпуск микропроволочных резисторов, обладающих повышенной стабильностью. Для изготовления микропроволочных резисторов применяют манганиновую микропроволоку диаметром 3...10 мкм. Допустимое отклонение от номинала составляет от $\pm 0,05$ до 5%.

Переменные резисторы также подразделяют на непроволочные и проволочные. Непроволочные переменные резисторы бывают пленочными и объемными.

Пленочные переменные резисторы состоят из токопроводящего слоя, который наносят на подковообразную пластину (основание) из гетинакса, и подвижной системы с токосъемом. Концы проводящего слоя и подвижная система имеют выводы. При перемещении подвижного контакта по токопроводящему слою изменяется значение сопротивления между подвижным и одним из неподвижных контактов. В зависимости от угла поворота оси подвижного токосъемного контакта значение сопротивления может изменяться по линейному, логарифмическому или обратнологарифмическому законам.

Объемные переменные резисторы имеют более толстый токопроводящий слой, который запрессовывают в специальную керамическую канавку основания. Сопротивление резистора линейно зависит от угла поворота оси. Указанные резисторы отличаются от пленочных переменных

резисторов более высокой надежностью и меньшими габаритными размерами.

Проволочные переменные резисторы могут работать в цепях постоянного тока и переменного тока низкой частоты. Их применяют для регулирования напряжения с высокой точностью.

В соответствии с действующей системой обозначений сокращенное условное обозначение резисторов (ГОСТ 10318—80) состоит из следующих элементов:

- первый элемент — буква или сочетание букв (Р — резисторы постоянные, РП — резисторы переменные, НР — набор резисторов);
- второй элемент — цифра, обозначающая группу резисторов по материалу резистивного элемента (1 — непроволочные, 2 — проволочные);
- третий элемент — регистрационный номер конкретного типа резисторов.

Например, Р1-4 — постоянный непроволочный резистор, регистрационный номер 4; РП1-46 — переменный непроволочный резистор, регистрационный номер 46.

Полное условное обозначение резисторов состоит из сокращенного обозначения, к которому добавляются:

- четвертый элемент — номинальная мощность;
- пятый — номинальное сопротивление и буквенное обозначение единицы измерения;
- шестой — допускаемое отклонение сопротивления в процентах.

Например, Р1-4-0,5-10 кОм $\pm 1\%$ — постоянный металлопленочный резистор, регистрационный номер 4, номинальная мощность 0,5 Вт, номинальное сопротивление 10 кОм с допуском $\pm 1\%$.

Номиналы резисторов обозначают в соответствии с буквенной системой кодирования: Е — омы, К — килоомы, М — мегаомы, Г — гигаомы, Т — тераомы.

Если номинал сопротивления резистора выражается целым числом, то обозначение единицы этой величины пишут после него. Например, 47Е — 47 Ом, 51К — 51 кОм, 47М — 47 МОм.

Условное обозначение допустимых отклонений от номинала:

Допустимое отклонение

от номинала, % $\pm 0,1$ $\pm 0,2$ $\pm 0,5$ ± 1 ± 2 ± 5 ± 10 ± 20 ± 30

Условное обозначение Ж У Д Р Л И С В Ф

Если значение сопротивления резистора дробное, то буквенное обозначение ставят вместо запятой. Например, резистор сопротивлением 2,2 кОм при допустимом отклонении от номинала $\pm 5\%$ маркируют 2К2И.

Если сопротивление резистора выражается десятичной дробью с нулем впереди, то вместо нуля целых и запятой ставят буквенное обозначение единицы этой величины. Например, К33 — 0,33 кОм, М51 — 0,51 МОм.

В технической документации резисторы обозначают следующим образом. Если сопротивление резисторов имеет значение от 1 до 1000 Ом и является целым числом, то резисторы записывают без указания единицы измерения сопротивления. Например, К510 — резистор сопротивле-

нием 510 Ом. Если сопротивление резистора составляет доли ома или целое число с долями ома, то указывают единицу измерения — Ом. Например, 0,51 Ом или 5,1 Ом. Резисторы сопротивлением от 1 до 910 кОм записывают в виде числа килоом с прибавлением буквы К. Например, R680 К. Резисторы сопротивлением от 1 МОм и выше обозначают в мегаомах без указания единицы измерения. Однако если сопротивление равно целому числу, то после его числового значения ставят запятую и нуль. Например, R6,0 и R2,0.

Разработанные до 1968 г. и еще выпускаемые в настоящее время резисторы обозначают тремя буквами:

- первая буква указывает на материал резистивных элементов (У — углеродистые, М — металлопленочные, К — композиционные, Б — бороуглеродистые, П — проволочные и т.д.);
- вторая буква обозначает вид защиты (Л — лакированные, Г — герметизированные, Э — эмалированные и т.д.);
- третья буква указывает на особые свойства или назначение резистора (Т — теплостойкие, П — прецизионные, В — высоковольтные и т.д.).

Например: УЛМ — углеродистые лакированные малогабаритные; КЛМ — композиционные лакированные мегаомные; КЭВ — композиционные эмалированные высоковольтные; БЛП — бороуглеродистые лакированные прецизионные; ПЭВ — проволочные эмалированные влагостойкие; ПТМ — проволочные точные малогабаритные.

Конденсаторы. Конденсатором называют пассивный элемент электронных устройств, состоящий из двух разделенных диэлектриком электродов и предназначенный для использования его емкости в электрической цепи.

Конденсаторы, применяемые в устройствах промышленной электроники, подразделяют на конденсаторы постоянной емкости, подстроечные и переменной емкости.

Конденсаторы классифицируют по нескольким признакам:

по ядру используемого диэлектрика — на конденсаторы с газообразным (воздушные), жидким (масляные), твердым неорганическим (слодяные, керамические, стеклокерамические и др.), твердым органическим (бумажные, пленочные и др.), оксидным (оксидно-полупроводниковые жидкостные, сухие и твердые) диэлектриками;

по назначению — на конденсаторы общего применения и специальные;

по номинальному (рабочему) напряжению — на низковольтные ($U_{\text{раб}} < 1600 \text{ В}$) и высоковольтные ($U_{\text{раб}} > 1600 \text{ В}$) конденсаторы.

Основными параметрами конденсаторов являются номинальная емкость (номинал), допустимые отклонения от номинала, электрическая прочность, температурный коэффициент емкости.

Номиналы емкостей устанавливают в соответствии со шкалой стандарта. Для конденсаторов установлено три ряда номинальных емкостей: Е6, Е12 и Е24. Число, стоящее после буквы Е, определяет количество номинальных значений в ряду. Каждый ряд задается числовыми коэффициентами. Конденсаторы изготовляют с номинальными емкостями, соответствующими одному из числовых коэффициентов, который надо

Таблица П4.2

Ряды номинальных емкостей конденсаторов

Ряд	Числовой коэффициент
E6	0,01; 0,015; 0,022; 0,033; 0,047; 0,068
E12	0,01; 0,012; 0,015; 0,018; 0,022; 0,027; 0,033; 0,039; 0,047; 0,056; 0,068; 0,082
E24	1,0; 1,1; 1,2; 1,3; 1,5; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 2,4; 2,7; 3,0; 3,3; 3,6; 3,9; 4,3; 4,7; 5,1; 5,6; 6,2; 6,8; 7,5; 8,2; 9,1

умножить на 10^n (табл. П4.2). Для ряда E6 $n = 0, 1, 2, 3, 4$; для ряда E12 $n = 0, 2, 3, 4$; для ряда E24 $n = 2, 3, 4$.

Отклонения от номинала стандартизованы и устанавливаются в соответствии с рядом, приведенным для резисторов.

Электрическая прочность характеризуется: номинальным (рабочим) напряжением $U_{\text{раб}}$, при котором конденсатор может работать в течение указанного срока службы и более длительно с соблюдением условий эксплуатации; испытательным напряжением $U_{\text{исп}}$, определяющим способность конденсатора выдерживать кратковременные перегрузки по напряжению; пробивным напряжением, т.е. напряжением, при котором наступает пробой диэлектрика.

Температурный коэффициент емкости (ТКС) — величина, характеризующая относительное изменение емкости конденсатора при изменении температуры на 1°C . Значение этого коэффициента может быть положительным, отрицательным или близким к нулю.

В конденсаторах постоянной емкости применяются в основном твердые и оксидные диэлектрики. К конденсаторам с твердым неорганическим диэлектриком относятся слюдяные, керамические, стеклоэмалевые конденсаторы и ряд других.

Слюдяные конденсаторы обладают наиболее высокими показателями, их широко используют в резонансных контурах в цепях блокировки и связи.

Керамические конденсаторы подразделяют на трубчатые, дисковые, монолитные, пластинчатые и др. Керамические конденсаторы имеют высокие электрические показатели, малые габаритные размеры, массу и стоимость. Их применяют в тех же случаях, что и слюдяные и монолитные конденсаторы, обладающие наибольшей удельной емкостью.

Стеклоэмалевые конденсаторы являются наиболее дешевыми, однако их электрические характеристики хуже, чем у слюдяных и керамических конденсаторов.

К конденсаторам с твердым органическим диэлектриком относят бумажные, металлобумажные, пленочные конденсаторы и ряд других.

Бумажные конденсаторы изготавливают в виде рулона бумажной ленты, которая находится между лентами алюминиевой фольги.

Металлобумажные герметизированные конденсаторы имеют меньшие габаритные размеры, чем бумажные, и обладают способностью самовосстанавливаться при пробое диэлектрика.

Бумажные и металлобумажные конденсаторы применяют в цепях с частотой не более 1 МГц в качестве фильтрующих, блокировочных и др.

У пленочных конденсаторов диэлектриком является синтетическая пленка, например полистирольная. Пленочные конденсаторы имеют высокие электрические показатели, в частности, отрицательный ТКС.

Электролитические конденсаторы выполняют с оксидным диэлектриком, наносимым в виде пленки на одну из пластин конденсатора. Такой пластиной служит тонкая алюминиевая или танталовая фольга. Другой пластиной является электролит, в зависимости от вида которого электролитические конденсаторы подразделяют на жидкостные, сухие и твердые. Электролитические конденсаторы являются униполярными, поэтому в их условных графических обозначениях и на корпусе соответствующую обкладку обозначают знаком «+». При включении конденсатора эту обкладку присоединяют к узлу электрической цепи с большим потенциалом. Нарушение полярности приводит к выходу конденсатора из строя.

В алюминиевых электролитических конденсаторах в качестве одной из обкладок используется фольгированный алюминий. Такие конденсаторы выпускают на номиналы 5...5000 мкФ и рабочие напряжения 3...500 В.

Значительно лучшие характеристики имеют танталовые электролитические конденсаторы, в которых в качестве электролита применяется раствор серной и соляной кислот. Эти конденсаторы выпускают на номиналы 2...1000 мкФ и рабочие напряжения 6...600 В. Танталовые электролитические конденсаторы с сухим электролитом имеют меньшие габаритные размеры, чем жидкостные, за счет пропитки вязким электролитом бумаги и ткани.

Твердые оксидно-полупроводниковые конденсаторы наиболее перспективны. В них диэлектриком является диоксид марганца (MnO_2) либо диоксид тантала (Ta_2O_5). Эти конденсаторы выпускают на номиналы 0,033...300 мкФ и рабочие напряжения 6...30 В. Основное их преимущество — способность работать при низких температурах (до $-80^\circ C$).

Для работы в цепях переменного тока выпускают неполярные электролитические конденсаторы.

Подстроечные конденсаторы и конденсаторы переменной емкости служат для настройки резонансных контуров, фазовращающих цепей и т.д. Диэлектриком в них являются керамика и воздух.

Подстроечные (полупеременные) конденсаторы предназначены для относительно небольшого изменения емкости. Наибольшее распространение получили дисковые подстроечные конденсаторы. Их обкладки представляют собой два слоя серебра в виде секторов, нанесенных на керамические подвижный и неподвижный диски. При повороте подвижного

диска изменяется емкость конденсатора. Подстроечный конденсатор характеризуется минимальной $C_{\min}$ и максимальной $C_{\max}$ емкостями.

Конденсаторы переменной емкости с механическим управлением выполняют в виде системы неподвижных пластин (статор), относительно которых поворачивается система подвижных пластин (ротор). Существуют также конденсаторы переменной емкости с электрическим управлением (варикапы и вариконды).

Конденсаторы, разработанные после 1964 г., обозначают в соответствии с буквенно-числовым кодом. Они имеют сокращенное и полное обозначения.

Первый элемент обозначения — буква или две буквы, указывающие на тип конденсатора (К — конденсатор постоянной емкости; КТ — конденсатор подстроечный; КС — конденсаторная сборка).

Второй элемент обозначения — двузначное число, указывающее на тип диэлектрика (10 — керамический на номинальное напряжение ниже 1600 В, 15 — керамический на номинальное напряжение 1600 В и выше, 22 — стекломалеваый, 24 — слюдяной малой мощности, 32 — слюдяной большой мощности, 40 — бумажный на номинальное напряжение выше 1600 В с фольговыми обкладками, 50 — электролитический алюминиевый, 52 — электролитический танталовый объемно-пористый, 53 — оксидно-полупроводниковый, 60 — воздушный, 70 — полистирольный с фольговыми обкладками, 71 — полистирольный с металлизированными обкладками, 75 — комбинированный).

Третий элемент обозначения — порядковый номер разработки.

Номинальную емкость конденсатора указывают в долях фарад: мкФ (10^{-6} Ф), нФ (10^{-9} Ф) и пФ (10^{-12} Ф). Для малогабаритных конденсаторов принята буквенно-цифровая маркировка: М — микрофарад, Н — нанофарад, П — пикофарад.

Маркировку малогабаритных и миниатюрных конденсаторов осуществляют следующим образом. Если емкость конденсатора менее 100 пФ, то на корпусе ставят букву П, если емкость не превышает 3100 пФ, то на корпусе ее обозначают в долях нанофарад, если емкость составляет от 0,01 до 0,091 мкФ, ее указывают в нанофарадах и добавляют букву Н. На корпусе конденсаторов емкостью 0,1 мкФ и более ставят букву М. Если емкость конденсатора выражается целым числом, то букву, соответствующую единице измерения емкости, пишут после этого числа. Например, 33П — 33 пФ, 47Н — 47 нФ. Если емкость конденсатора выражается десятичной дробью меньше единицы, то буквенное обозначение ставят вместо нуля и запятой спереди числа. Например, Н33 — 0,33 нФ, М5 — 0,5 мкФ.

На корпусе конденсаторов, емкость которых выражается десятичной дробью больше единицы, букву, соответствующую единице измерения емкости, ставят вместо запятой. Например, 6П8 — 6,8 пФ, 1Н5 — 1,5 нФ, 1М5 — 1,5 мкФ.

Примеры сокращенных условных обозначений конденсаторов:

К10-1 — конденсатор постоянной емкости, керамический, с номинальным напряжением ниже 1600 В, предназначенный для работы в цепях переменного и постоянного токов;

КТ4-1 — конденсатор подстроечный с твердым диэлектриком;

К42-2 — конденсатор постоянной емкости, металлобумажный, для работы в цепях постоянного и переменного токов, а также в импульсном режиме.

К50-3А — конденсатор постоянной емкости электролитический алюминиевый, используется в цепях постоянного и пульсирующего токов.

Пример полного условного обозначения:

К75-10-250В-0,47мкФ $\pm 5\%$ — конденсатор комбинированный постоянной емкости (К75) с порядковым номером разработки 10 на номинальное напряжение 250 В, номинальной емкостью 0,47 мкФ с допустимым отклонением $\pm 5\%$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зельдин Е. А. Импульсные устройства на микросхемах / Е. А. Зельдин. — М. : Радио и связь, 1991. — 160 с.
2. Лачин В. И. Электроника : учеб. пособие / В. И. Лачин, Н. С. Санелов. — 4-е изд. — Ростов н/Д. : Феникс, 2004. — 576 с.
3. Миловзоров О. В. Электроника : учебник для вузов / О. В. Миловзоров, И. Г. Панков. — М. : Высш. шк., 2004. — 288 с.
4. Основы промышленной электроники / [В. Г. Герасимов, О. М. Князьков, А. Е. Краснопольский, В. В. Сухоруков]. — 3-е изд. — М. : Высш. шк., 1986. — 336 с.
5. Полещук В. И. Задачник по электротехнике и электронике : учеб. пособие для сред. проф. образования / В. И. Полещук. — М. : Изд. центр «Академия», 2004. — 224 с.
6. Потемкин И. С. Функциональные узлы цифровой автоматики / И. С. Потемкин. — М. : Энергоатомиздат, 1988. — 320 с.
7. Титце У. Полупроводниковая схемотехника : справочное руководство / У. Титце, К. Шенк ; пер. с нем. — М. : Мир, 1982. — 512 с.
8. Филинов В. В. Основы цифровой схемотехники / В. В. Филинов, Н. С. Кузнецов. — М. : Изд-во МГАПИ, 2005. — 36 с.
9. Хокинс Г. Цифровая электроника для начинающих / Г. Хокинс ; пер. с англ. — М. : Мир, 1986. — 232 с.
10. Электротехника и электроника : учебник для вузов : в 3 кн. — Кн. 3. Электрические измерения и основы электроники / [Г. П. Гаев, В. Г. Герасимов, О. М. Князьков и др.] ; под ред. В. Г. Герасимова. — М. : Энергоатомиздат, 1998. — 432 с.
11. Ямпольский В. С. Основы автоматики и электронно-вычислительной техники : учеб. пособие для вузов / В. С. Ямпольский. — М. : Просвещение, 1991. — 223 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Глава 1. Полупроводниковые приборы	4
1.1. Основные положения и расчетные формулы	4
1.2. Задачи	6
1.2.1. Полупроводниковые диоды	6
1.2.2. Биполярные транзисторы	8
1.2.3. Полевые транзисторы	12
1.2.4. Тиристоры	15
1.2.5. Оптоэлектронные устройства	16
Глава 2. Аналоговые электронные устройства	19
2.1. Основные положения и расчетные формулы	19
2.2. Задачи	20
2.2.1. Вторичные источники электропитания	20
2.2.2. Усилители	23
2.2.3. Автогенераторы	32
2.2.4. Источники ЭДС и источники тока	34
2.2.5. Операционные усилители	36
Глава 3. Позиционные системы счисления	40
3.1. Основные положения и расчетные формулы	40
3.2. Задачи	42
Глава 4. Основы цифровой техники	46
4.1. Основные положения и расчетные формулы	46
4.1.1. Типовые логические элементы. Схемотехника логических элементов	46
4.1.2. Импульсные устройства	51
4.2. Задачи	53
4.2.1. Типовые логические элементы	53
4.2.2. Схемотехника логических элементов	59
4.2.3. Триггеры	68
4.2.4. Генераторы прямоугольных и пилообразных импульсов	76
4.2.5. Компараторы и триггеры Шмитта	84
Глава 5. Цифровые устройства	87
5.1. Основные положения и расчетные формулы	87
5.1.1. Комбинационные и последовательные устройства	87
156	

5.1.2. Микросхемы с тремя выходными состояниями	87
5.1.3. Преобразование информации	88
5.1.4. Микропроцессоры и микроЭВМ	90
5.2. Задачи	91
5.2.1. Комбинационные устройства	91
5.2.2. Регистры	96
5.2.3. Счетчики	98
5.2.4. ЦАП и АЦП	100
5.2.5. Сенсорные устройства	104
5.2.6. Оперативные запоминающие устройства	106
5.2.7. Микропроцессоры и микроЭВМ	112
Ответы и решения	123
Приложение 1. Условные обозначения элементов на принципиальных электрических схемах	139
Приложение 2. Единицы измерения и обозначения некоторых физико-технических величин	140
Приложение 3. Десятичные приставки к названиям величин	145
Приложение 4. Пассивные элементы электронных устройств	146
Список литературы	155

Учебное издание

Полещук Виктор Иванович

Задачник по электронике

Практикум

2-е издание, исправленное

Редактор *Е. М. Зубкович*

Технический редактор *Е. Ф. Коржуева*

Компьютерная верстка: *Г. Ю. Никитина*

Корректоры *Н. Л. Котелина, Е. Н. Медведева*

Изд. № 102112956. Подписано в печать 29.07.2011. Формат 60×90/16. Гарнитура «Таймс».

Бумага офс. № 1. Печать офсетная. Усл. печ. л. 10,00.

Тираж 1000 экз. Заказ № 31912.

ООО «Издательский центр «Академия». www.academia-moscow.ru

125252, Москва, ул. Зорге, д. 15, корп. 1, пом. 266.

Адрес для корреспонденции: 129085, Москва, пр-т Мира, 101В, стр. 1, а/я 48.

Тел./факс: (495) 648-0507, 616-00-29.

Санитарно-эпидемиологическое заключение № РОСС RU. АЕ51. Н 14964 от 21.12.2010.

Отпечатано в соответствии с качеством предоставленных издательством

электронных носителей в ОАО «Саратовский полиграфкомбинат».

410004, г. Саратов, ул. Чернышевского, 59. www.sarpk.ru

ЗАДАЧНИК ПО ЭЛЕКТРОНИКЕ



Издательский центр
«Академия»
www.academia-moscow.ru