

Банк заданий по специальной части вступительного испытания в магистратуру**Задание №6 экзаменационного билета (5 баллов)****Твердотельная электроника****Задание 6.1**

Нарисовать вольт-амперную характеристику (ВАХ) кремниевого диода (отдельно прямую, отдельно обратную ветвь) с обозначением осей и знака разности потенциалов. Отметить область пробоя. Указать типовое значение прямого падения напряжения на диоде и типовые значения напряжения пробоя.

Задание 6.2

Нарисовать вольт-амперную характеристику (ВАХ) диода Шоттки (отдельно прямую, отдельно обратную ветвь) с обозначением осей и знака разности потенциалов. Отметить область пробоя. Указать типовое значение прямого падения напряжения на диоде и типовые значения напряжения пробоя.

Задание 6.3

Нарисовать вольт-амперную характеристику (ВАХ) стабилитрона с туннельным пробоем (отдельно прямую, отдельно обратную ветвь) с обозначением осей и знака разности потенциалов. Отметить область пробоя. Указать типовое значение прямого падения напряжения на диоде и типовые значения напряжения пробоя.

Задание 6.4

Нарисовать вольт-амперную характеристику (ВАХ) стабилитрона с лавинным пробоем (отдельно прямую, отдельно обратную ветвь) с обозначением осей и знака разности потенциалов. Отметить область пробоя. Указать типовое значение прямого падения напряжения на диоде и типовые значения напряжения пробоя.

Задание 6.5

Нарисовать вольт-амперную характеристику (ВАХ) триодного тиристора (отдельно прямую, отдельно обратную ветвь) с обозначением осей и знака разности потенциалов. Отметить область пробоя. Указать на осях напряжение включения, ток включения и ток удержания.

Задание 6.6

Нарисовать входные вольт-амперные характеристики (ВАХ) *n-p-n*-транзистора в схеме с общей базой (с обозначением осей и знака разности потенциалов). Указать напряжения коллектор-база при которых получены эти характеристики.

Задание 6.7

Нарисовать входные вольт-амперные характеристики (ВАХ) *n-p-n*-транзистора в схеме с общим эмиттером (с обозначением осей и знака разности потенциалов). Указать напряжения коллектор-база при которых получены эти характеристики.

Задание 6.8

Нарисовать выходные вольт-амперные характеристики (ВАХ) *n-p-n*-транзистора в схеме с общей базой (с обозначением осей и знака разности потенциалов). Отметьте область насыщения, отсечки, активную область и область пробоя.

Задание 6.9

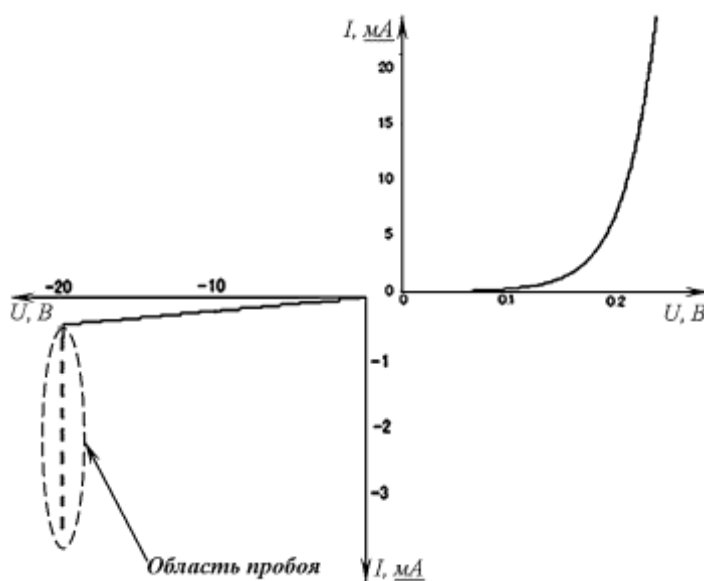
Нарисовать выходные вольт-амперные характеристики (ВАХ) *n-p-n*-транзистора в схеме с общим эмиттером (с обозначением осей и знака разности потенциалов). Отметьте область насыщения, отсечки, активную область и область пробоя.

Задание 6.10

Нарисовать выходные вольт-амперные характеристики (ВАХ) МДП-транзистора с индуцированным каналом n-типа в схеме с общим истоком (с обозначением осей и знака разности потенциалов). Отметьте линейную область, область насыщения и область пробоя.

Ответ на задание 6.2

Нарисовать вольт-амперную характеристику (ВАХ) диода Шоттки (отдельно прямую, отдельно обратную ветвь) с обозначением осей и знака разности потенциалов. Отметить область пробоя. Указать типовое значение прямого падения напряжения на диоде и типовые значения напряжения пробоя.



Типовое значение прямого падения напряжения на диоде Шоттки (малой мощности) составляет величину порядка 0,2–0,4 В.

Типовое значения напряжения пробоя 20–60 В

Задание №7 экзаменационного билета (5 баллов)

Схемотехника

Задание 7.1

Дать определение коэффициента передачи четырехполюсника. Нарисовать схему для измерения коэффициента передачи и изложить порядок расчета коэффициента передачи по показаниям измерительных приборов.

Задание 7.2

Дать определение коэффициента усиления усилителя. Нарисовать схему для измерения коэффициента усиления и изложить порядок расчета коэффициента усиления по показаниям измерительных приборов. Привести пример расчета коэффициента усиления по току и коэффициента усиления по напряжению по показаниям измерительных приборов.

Задание 7.3

Дать определение входного сопротивления усилителя. Нарисовать схему для измерения входного сопротивления усилителя и изложить порядок расчета входного сопротивления по показаниям измерительных приборов.

Задание 7.4

Дать определение выходного сопротивления усилителя. Нарисовать схему для измерения выходного сопротивления усилителя и изложить порядок расчета выходного сопротивления по показаниям измерительных приборов.

Задание 7.5

Дать определение амплитудной характеристике усилителя. Нарисовать схему для получения амплитудной характеристики усилителя и изложить порядок построения этой характеристики по показаниям измерительных приборов.

Задание 7.6

Дать определение амплитудно-частотной характеристики усилителя. Нарисовать схему для получения амплитудно-частотной характеристики усилителя и изложить порядок построения этой характеристики по показаниям измерительных приборов.

Задание 7.7

Дать определение фазо-частотной характеристики усилителя. Нарисовать схему для получения фазо-частотной характеристики усилителя и изложить порядок построения этой характеристики по показаниям измерительных приборов.

Задание 7.8

Дать определение амплитудно-фазовой характеристики усилителя. Нарисовать схему для получения амплитудно-фазовой характеристики усилителя и изложить порядок построения этой характеристики по показаниям измерительных приборов.

Задание 7.9

По каким правилам определяется полоса пропускания усилителя (верхняя и нижняя граничные частоты)? Привести пример определения полосы пропускания широкополосного усилителя по известной амплитудно-частотной характеристике и по известной логарифмической амплитудно-частотной характеристике.

Задание 7.10

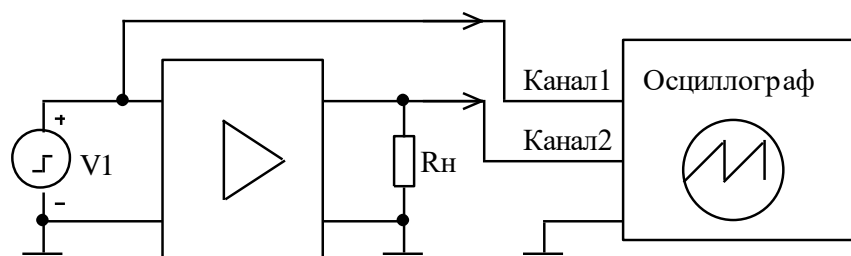
Дать определение переходной характеристики усилителя напряжения. Нарисовать схему для получения переходной характеристики усилителя и изложить порядок построения этой характеристики по показаниям измерительных приборов.

Ответ на задание 7.10

Дать определение переходной характеристики усилителя напряжения. Нарисовать схему для получения переходной характеристики усилителя и изложить порядок построения этой характеристики по показаниям измерительных приборов.

Для усилителя напряжения **переходная характеристика** это зависимость от времени выходного напряжения усилителя при подаче на вход ступенчатого напряжения. Амплитуда этого ступенчатого воздействия должна быть такой, чтобы усилитель не вышел из линейного режима работы.

Схема для получения переходной характеристики усилителя:

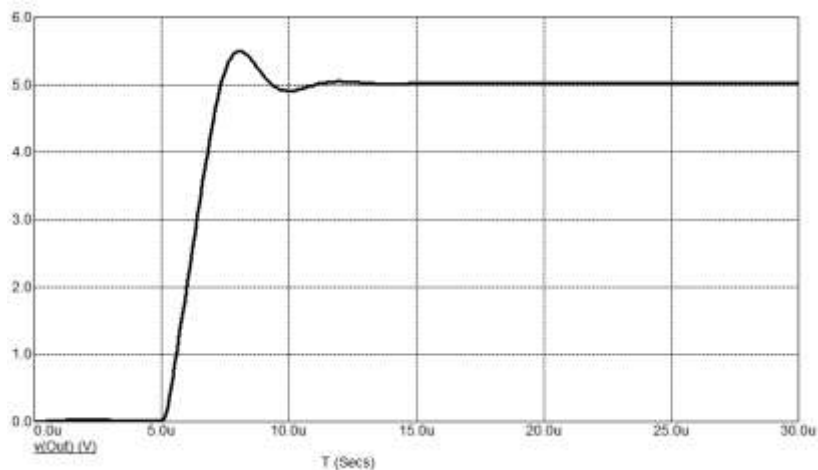


Порядок построения переходной характеристики:

1. К входным клеммам усилителя подключают источник периодической последовательности прямоугольных импульсов.

2. Амплитуда прямоугольного импульса должна быть такой, чтобы усилитель не вышел из линейного режима (не было ограничения сигнала на выходе усилителя).
3. Длительность импульса должна быть много больше длительности процессов установления сигнала на выходе усилителя.
4. К выходным клеммам усилителя подключают нагрузку номинальной величины.
5. Первый канал осциллографа подключают к входным клеммам усилителя. По этому каналу будет осуществляться синхронизация осциллографа.
6. Второй канал осциллографа подключают к выходным клеммам усилителя.
7. Устанавливают горизонтальную развертку так, чтобы переходный процесс установления выходного напряжения полностью завершился.

Типовой вид переходной характеристики усилителя



Задание №8 экзаменационного билета (10 баллов)

Твердотельная электроника

Задание 8.1

Контактные явления в полупроводниках. Электронно-дырочный переход. Равновесное состояние p-n перехода. Контактная разность потенциалов. Прямое и обратное смещение p-n перехода.

Задание 8.2

Описать принцип действия полупроводникового диода. Нарисовать его упрощенную структуру. Перечислить его основные параметры и область применения

Задание 8.3

Описать принцип действия диода Шоттки. Нарисовать его упрощенную структуру. Перечислить его основные параметры и область применения.

Задание 8.4

Описать принцип действия стабилитрона. Нарисовать его упрощенную структуру. Перечислить его основные параметры и область применения

Задание 8.5

Описать принцип действия биполярного транзистора. Нарисовать его упрощенную структуру. Перечислить его основные параметры и область применения.

Задание 8.6

Описать принцип действия тиристора. Нарисовать его упрощенную структуру. Перечислить его основные параметры и область применения.

Задание 8.7

Описать принцип действия полевого транзистора с управляющим p-n-переходом. Нарисовать его упрощенную структуру. Перечислить его основные параметры область применения.

Задание 8.8

Описать принцип действия МДП-транзистора со встроенным каналом. Нарисовать его упрощенную структуру. Перечислить его основные параметры область применения.

Задание 8.9

Описать принцип действия МДП-транзистора с индуцированным каналом. Нарисовать его упрощенную структуру. Перечислить его основные параметры область применения.

Задание 8.10

Описать принцип действия биполярного транзистора с изолированным затвором. Нарисовать его упрощенную структуру. Перечислить его основные параметры и область применения.

Ответ на задание 8.6

Описать принцип действия триодного тиристора. Нарисовать его упрощенную структуру. Перечислить его основные параметры и область применения.

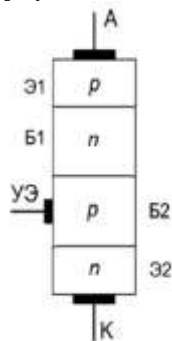
Триодный тиристор — полупроводниковый прибор, имеющий два устойчивых состояния:

- «закрытое» состояние — состояние низкой проводимости;
- «открытое» состояние — состояние высокой проводимости.

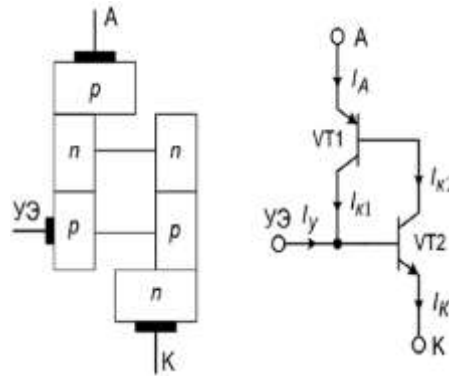


Триодный тиристор в общем случае является неуправляемым электронным ключевым прибором. Подачей сигнала управления тиристор можно открыть, но нельзя закрыть. Этот ключевой элемент запирается только в том случае, если ток через него по каким-либо причинам упал до нуля.

Триодный тиристор имеет структуру с тремя p - n -переходами, образованными четырьмя чередующимися слоями полупроводника с различными типами проводимости p - n - p - n , имеющий три электрода: анод — образованный контактом с внешним p -слоем, катод — образованный контактом с внешним n -слоем и управляющий электрод — образованный контактом с одним из внутренних слоев (p или n).



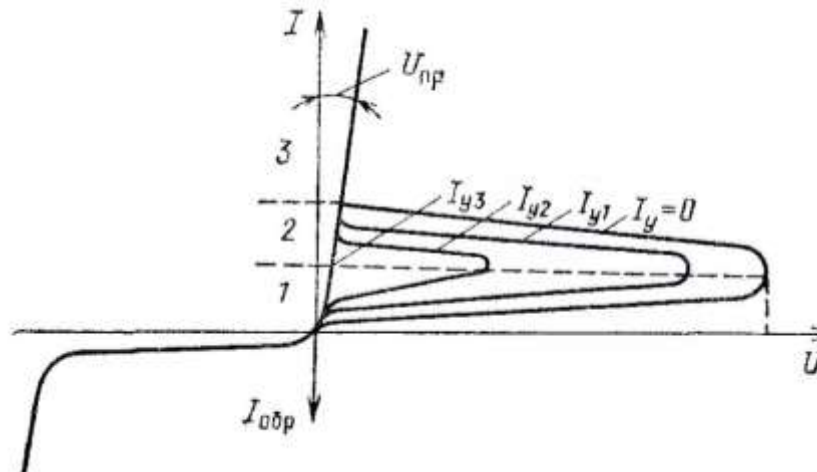
Внешние слои принято называть эмиттерами, а p - n -переходы которые они образуют — эмиттерными; внутренние слои принято называть базами, а p - n -переход которые они образуют между собой — коллекторным.



Триодный тиристор можно рассматривать в виде двухтранзисторной модели, как соединение $p-n-p$ транзистора с $n-p-n$ транзистором, причём коллектор каждого из них соединён с базой другого.

В триодном тиристоре подачей напряжения на управляющий электрод, можно увеличить уровень инжекции через прилегающий к этой базе эмиттерный переход и вызвать тем самым включение тиристора при меньшем напряжении между анодом и катодом.

Типовая вольт-амперная характеристика триодного тиристора



Основные параметры триодного тиристора:

- 1) постоянное напряжение в открытом состоянии U_{OC} ;
- 2) отпирающее напряжение управления $U_{y.от}$;
- 3) отпирающий постоянный ток управления $I_{y.от}$;
- 4) время включения $t_{вкл}$ и время выключения $t_{выкл}$;
- 5) постоянный анодный ток в закрытом состоянии $I_{зс}$;
- 6) максимально допустимое постоянное анодное напряжение в закрытом состоянии $U_{зс}$;
- 7) максимально допустимое обратное напряжение $U_{обр}$;
- 8) средний анодный ток в открытом состоянии $I_{oc.ср}$;
- 9) максимально допустимая скорость нарастания напряжения в закрытом состоянии $du_{зс}/dt$;
- 10) средняя рассеиваемая мощность в открытом состоянии $P_{oc.ср}$;
- 11) максимально допустимая скорость нарастания анодного тока в открытом состоянии di_{oc}/dt .

Триодные тиристоры как правило, применяются в качестве элементной базы устройств работающих в области переменных токов:

- электронных ключей;
- управляемых выпрямителей;

- преобразователей (инверторов);
- регуляторов мощности.

Задание №9 экзаменационного билета (20 баллов)

Схемотехника

Задание 9.1

Обратные связи в схемах усилителей. Виды обратных связей. Влияние обратных связей на коэффициент усиления, входное и выходное сопротивление усилителя.

Задание 9.2

Задание и стабилизация рабочей точки усилительных каскадов на биполярных транзисторах по схеме с общим эмиттером.

Задание 9.3

Схемы окончных каскадов бестрансформаторных усилителей. Режим АВ в бестрансформаторных усилителях мощности.

Задание 9.4

Интегральные операционные усилители (ОУ), общие сведения. Схемы инвертирующего и неинвертирующего усилителей на ОУ и их основные параметры и характеристики.

Задание 9.5

Интегральный компаратор. Основные характеристики, область применения. Компаратор с гистерезисом (триггер Шмидта).

Ответ на задание 9.2

Задание и стабилизация рабочей точки усилительных каскадов на биполярных транзисторах по схеме с общим эмиттером.

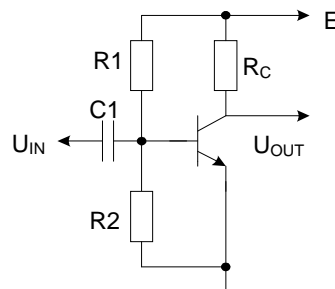
Задание рабочей точки усилительного каскада с общим эмиттером

Необходимый режим работы транзистора устанавливается путем подачи на базу транзистора относительно его эмиттера напряжения смещения. Это напряжение в зависимости от типа транзистора и режима его работы может иметь величину порядка 0,4 – 0,6 В.

Чаще всего для цепи смещения и коллекторной цепи используется один источник питания. При этом рабочая точка (режим работы транзистора) задается двумя способами: заданием фиксированного потенциала базы либо заданием тока фиксированного базы.

Задание рабочей точки фиксацией потенциала базы.

Напряжение смещения формируется с помощью делителя напряжения, состоящую из резисторов R_1 и R_2 .



Потенциал базы (напряжение база-эмиттер U_{BE}) определяется выражением:

$$U_{BE} = E \frac{R_2}{R_1 + R_2}.$$

Для того, чтобы ток базы транзистора не влиял на потенциал, который задает делитель, необходимо, чтобы ток, протекающий через делитель, был на порядок больше тока базы. Т.е.

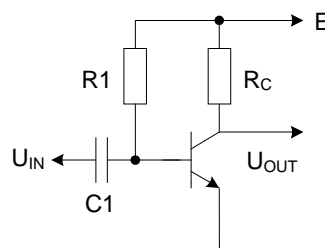
$$I_R = \frac{E}{R_1 + R_2} > 10 \cdot I_{OB}$$

Из этого следует, что для задания потенциала базы резистивным делителем, необходимо чтобы:

$$R_1 + R_2 < \frac{E}{10 \cdot I_{OB}}$$

Задание рабочей точки фиксацией тока базы.

Вместо напряжения смещения можно задавать ток смещения, задаваемы резистором R1.



Для задания тока I_B необходимо сопротивление:

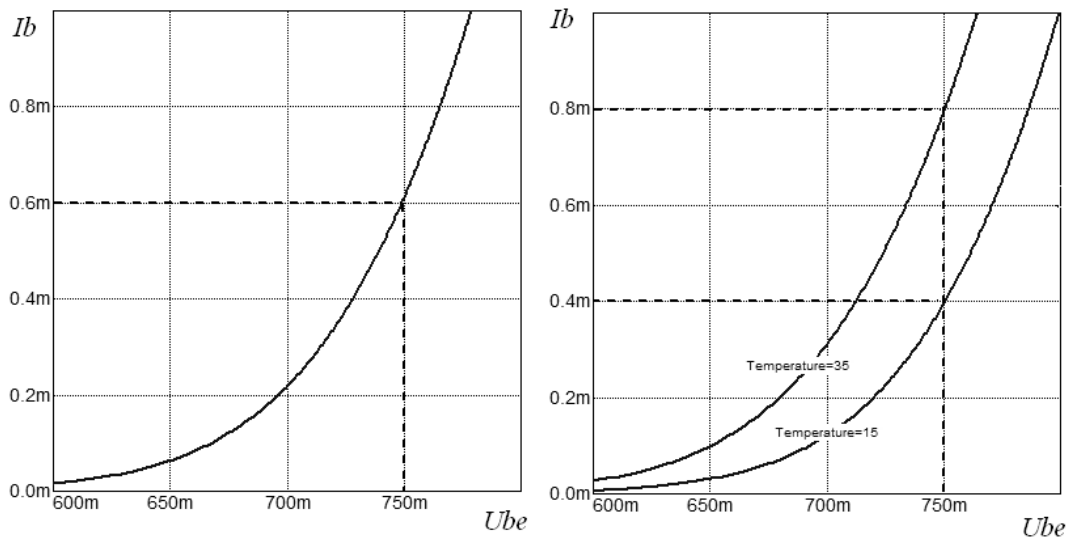
$$R_1 = \frac{E - U_{BE}}{I_B},$$

Так как в реальных схемах напряжение питания E выбирается много больше напряжения эмиттер–база транзистора, то можно считать, что

$$R_1 = \frac{E}{I_B}$$

Стабилизация рабочей точки

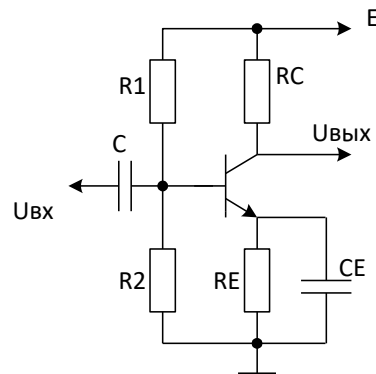
При задании рабочей точки фиксацией потенциала базы ток базы сильно зависит от напряжения база–эмиттер. Поэтому даже небольшое изменение напряжения U_{EB} относительно U_{EBO} , приводит к значительному изменению коллекторного тока. Так согласно графика а U_{EB} на 0.05В, ток базы I_b изменяется на 30%. Соответственно, на те же 30% меняется ток коллектора I_{OC} и сильно смещается положение рабочей точки.



Так как неизбежен разброс параметров транзисторов и эти параметры меняются в зависимости от температуры (напряжение база-эмиттер, соответствующее коллекторному току I_{OC} , изменяется на 2 мВ при изменении температуры на один градус), то необходима стабилизация рабочей точки.

Для стабилизации положения рабочей точки в схемах усилителей применяется отрицательная обратная связь. Эта связь может быть либо по току (эмиттерная стабилизация), либо по напряжению (коллекторная стабилизация)

Эмиттерная стабилизация



В этой схеме стабилизация режима осуществляется при помощи ООС по постоянному току через эмиттерный резистор. Ток коллектора в этой схеме с изменением температуры изменяется очень мало, так как увеличение тока эмиттера вызывает уменьшение разности потенциалов база-эмиттер, что препятствует увеличению тока коллектора. Таким образом, в стабилизированной схеме ток коллектора изменяется значительно меньше. Блокировочный конденсатор C_E исключает ООС по переменному току, поскольку переменный ток протекает через него в обход резистора R_E и не создает на этом резисторе падение напряжения. В результате сохраняют высокое значение коэффициента усиления для быстро изменяющихся сигналов (т.е. для переменного тока). Однако для обеспечения отсутствия спада усиления на низких частотах емкость этого конденсатора оказывается очень большой (сотни мкФ).

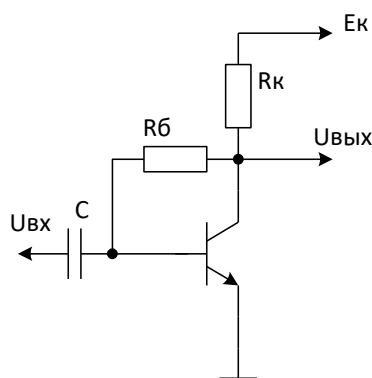
Схема эмиттерной стабилизации удобна тем, что в ней можно отдельно управлять режимом работы усилителя и его стабилизацией. При правильном выборе элементов она обеспечивает достаточно высокую стабилизацию рабочей точки в широком температурном диапазоне.

Для расчета резистора R_E можно использовать следующее приближенное эмпирическое правило: падение напряжения на резисторе R_E при заданном коллекторном токе должно лежать в пределах $1 \div 2$ В или $R_E \approx 0,2 R_E$. После того, как величина R_E выбрана, сопротивления резисторов R_1 и R_2 могут быть найдены из условия

$$(\beta_{\min} + 1)R_E > R_1 \parallel R_2 > 5R_{IN E} \approx 5 \frac{\beta_{\max}}{I_C / \varphi_T},$$

где β_{\max} , β_{\min} — наибольшая и наименьшая ожидаемые величины β , а $I_{C \max}$ — наибольшее допустимое значение коллекторного тока. В результате для большинства практических применений рабочая точка оказывается достаточно стабильной к изменениям как β , так и напряжения U_{BE} .

Коллекторная стабилизация



В этой схеме резистор R_B подключен не к источнику питания, а к коллектору транзистора. Поэтому ток через этот резистор зависит от напряжения на коллекторе.

Сопротивление резистора R_B

$$R_B = \frac{U_{CB}}{I_B} = \frac{U_{0C} - U_{BE}}{I_{0B}} \approx \frac{U_{0C}}{I_{0B}}.$$

Стабилизация режима в этой схеме осуществляется при помощи ООС по напряжению. С увеличением температуры окружающей среды увеличивается I_C , а U_{CB} соответственно уменьшается. При этом будет уменьшаться и ток базы. Уменьшение I_B приводит к уменьшению I_C , который стремится возвратиться к току покоя I_{0C} . В результате I_{0C} и U_{0C} изменяются незначительно.

Цифровая техника

Задание 9.6

Элементы цифровых устройств. Комбинационные и последовательностные схемы. Шифраторы, дешифраторы, преобразователи кодов.

Задание 9.7

Цифровые конечные автоматы. Автоматы Мура и Мили.

Задание 9.8

Триггеры. Классификация триггеров. Взаимные преобразования триггеров. Асинхронный RS-триггер. Синхронный RS-триггер. D-триггеры с динамическим синхровходом.

Задание 9.9

Счетчики. Классификация счетчиков. Двоичные счетчики суммирующие, вычитающие и реверсивные с последовательным переносом.

Задание 9.10

Регистры и их классификация. Параллельные и последовательные (сдвиговые) регистры. Универсальные регистры.

Ответ на задание 9.10

Регистры и их классификация. Параллельные и последовательные (сдвиговые) регистры. Универсальные регистры.

Регистры

Регистры — самые распространенные узлы цифровых устройств. Они оперируют с множеством связанных переменных, составляющих слово. Над словами выполняется ряд операций: прием, выдача, хранение, сдвиг в разрядной сетке, поразрядные логические операции.

Регистры состоят из разрядных схем, в которых имеются триггеры и, чаще всего, также и логические элементы.

Главным классификационным признаком является способ приема и выдачи данных. По этому признаку различают параллельные (статические) регистры, последовательные (сдвигающие) и параллельно-последовательные.

В *параллельных* регистрах прием и выдача слов производятся по всем разрядам одновременно. В них хранятся слова, которые могут быть подвергнуты поразрядным логическим преобразованиям.

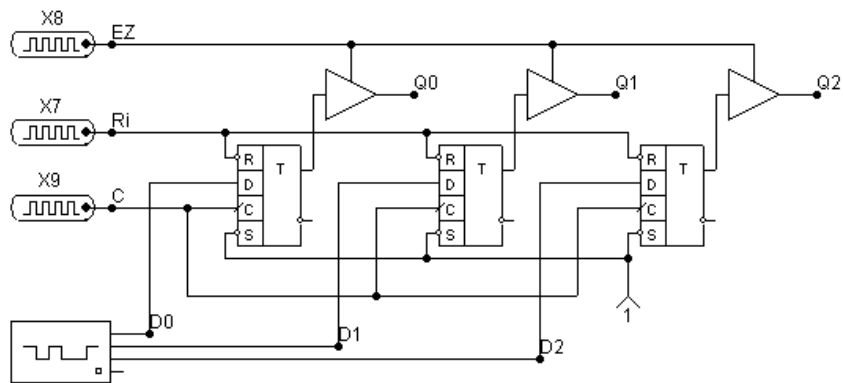
В *последовательных* регистрах слова принимаются и выдаются разряд за разрядом. Их называют сдвигающими, т. к. тактирующие сигналы при вводе и выводе слов перемещают их в разрядной сетке. Сдвигающий регистр может быть нереверсивным (с однонаправленным сдвигом) или реверсивным (с возможностью сдвига в обоих направлениях).

Последовательно-параллельные регистры имеют входы-выходы одновременно последовательного и параллельного типа. Имеются варианты с последовательным входом и параллельным выходом (SIPO, Serial Input — Parallel Output), параллельным входом и последовательным выходом (PISO), а также варианты с возможностью любого сочетания способов приема и выдачи слов.

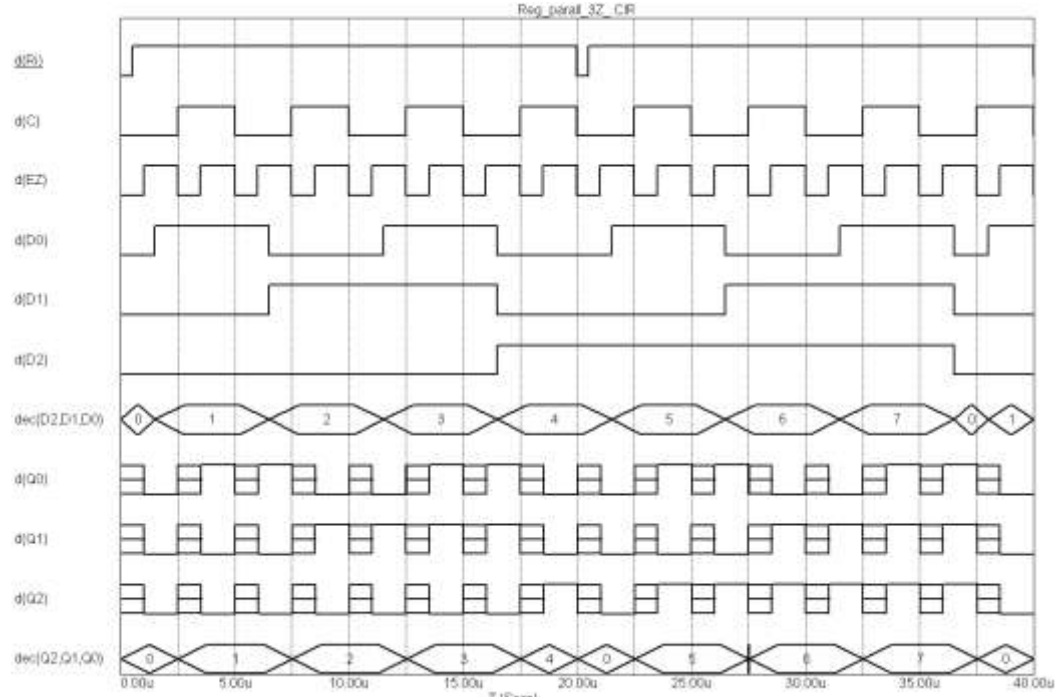
Параллельные регистры

В параллельных (статических) регистрах схемы разрядов не обмениваются данными между собой. Общими для разрядов обычно являются цепи тактирования, сброса/установки, разрешения вывода или приема, т. е. цепи управления. Пример схемы статического регистра, построенного на триггерах типа D с прямыми динамическими входами, имеющего входы сброса R и выходы с третьим состоянием, управляемые сигналом EZ, показан на рис. 2.64.

Для современной схемотехники характерно построение регистров именно на D-триггерах, преимущественно с динамическим управлением. Многие имеют выходы с третьим состоянием, некоторые регистры относятся к числу буферных, т. е. рассчитаны на работу с большими емкостными и/или низкоомными активными нагрузками. Это обеспечивает их работу непосредственно на магистраль (без дополнительных схем интерфейса).



а



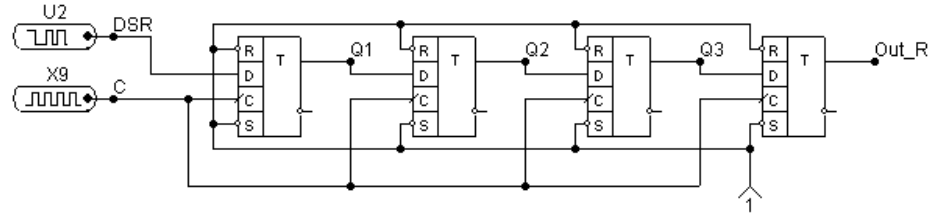
б

Рисунок 2.64 — Параллельный регистр с 3-мя состояниями выходов, тактируемый фронтом: а — схема; б — временные диаграммы

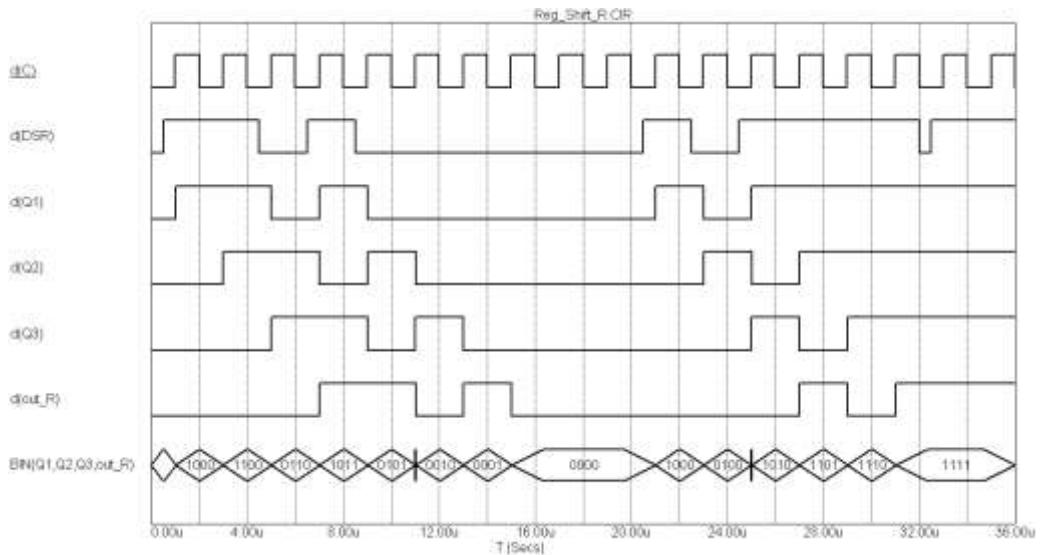
Подобную структуру (см. рис. 2.64) имеет параллельный регистр с 3-мя состояниями выхода КР1533ИР38 (74ALS874В), за исключением того, что выходы разрешаются низким уровнем (а не высоким как на рис. 2.64).

Сдвигающие регистры

Последовательные (сдвигающие) регистры представляют собою цепочку разрядных схем, связанных цепями переноса.



а



б

Рисунок 2.66 — Регистр сдвига вправо на D-триггерах, управляемых фронтом

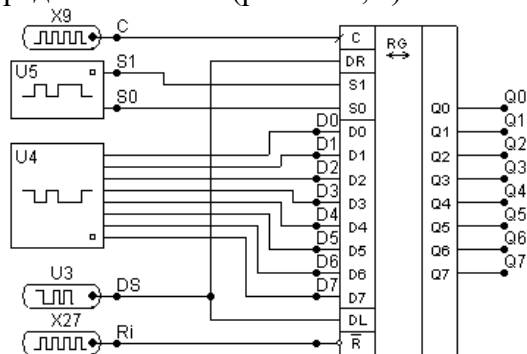
Универсальные регистры

В сериях ИС и библиотеках БИС/СБИС программируемой логики имеется много вариантов регистров (в схемотехнике ТТЛШ их около 30). Среди них многорежимные (многофункциональные) или универсальные, способные выполнять набор микроопераций. Многорежимность достигается композицией в одной и той же схеме частей, необходимых для выполнения различных операций. Управляющие сигналы, задающие вид выполняемой в данное время операции, активизируют необходимые для этого части схемы.

Типичным представителем многорежимных регистров является микросхема ИР13 серии КР1533 и других (рис. 2.69). Это восьмиразрядный регистр с возможностью двусторонних сдвигов с допустимой тактовой частотой до 25 МГц при токе потребления до 40 мА. Имеет также параллельные входы и выходы, вход асинхронного сброса R и входы выбора режима S0 и S1, задающие четыре режима (параллельная загрузка, два сдвига — влево и вправо, и хранение).

Примечание. Здесь сдвиг влево — от старшего к младшему, вправо — от младшего к старшему. Команды сдвига микропроцессоров и микроконтроллеров работают наоборот.

Условное обозначение регистра ИР13 на принципиальных схемах приведено на схеме для моделирования в среде Micro-CAP (рис. 2.70, а).



Основы микропроцессорной техники

Задание 9.11

Структура микропроцессорной системы. Составные части микропроцессорной системы: процессор, память, устройства ввода-вывода, шины.

Задание 9.12

Магистральный принцип обмена информацией в микропроцессорных системах. Шины адреса, данных и управления.

Задание 9.13

Архитектура фон Неймана (принстонская) и гарвардская архитектура.

Задание 9.14

Понятие операнда. Методы адресации операндов, применяемые в микроконтроллерах.

Задание 9.15

Система прерываний в микроконтроллерах. Вектора прерываний. Организация обработки прерываний.

Ответ на задание 9.14

Понятие операнда. Методы адресации операндов, применяемые в микроконтроллерах

Операнд — элемент данных, над которым производится машинная операция. В зависимости от разрядности микроконтроллера может быть байтом (восьмиразрядные системы), словом – 2 байта (16-разрядные МК), двойным словом, 4 байта (32-разрядные МК) и т.д.

Методы адресации

1. Регистровая (неявная) адресация. Предполагает, что операнд (входной или выходной) находится во внутреннем регистре процессора (РОН – регистре общего назначения). Конкретные регистровые операнды обычно кодируются внутри командной инструкции и команды с данным методом адресации обычно занимают минимальное количество ячеек программной памяти (В МК AVR – одну ячейку).

Пример регистровой адресации двух операндов: источника и приемника в МК AVR:
`MOV R1,R R2` ;Копирование содержимого регистра R2 в регистр R1



2. Непосредственная адресация. Операнд находится в самой команде или следует в программной памяти в виде константы сразу за командным словом. В микроконтроллерах AVR, например, непосредственный байтовый операнд находится внутри 16-разрядной команды.



Пример команды с непосредственной адресацией операнда-источника в МК AVR:
`LDI R17, k` ;загрузка байтовой константы k в регистр общего назначения R17.

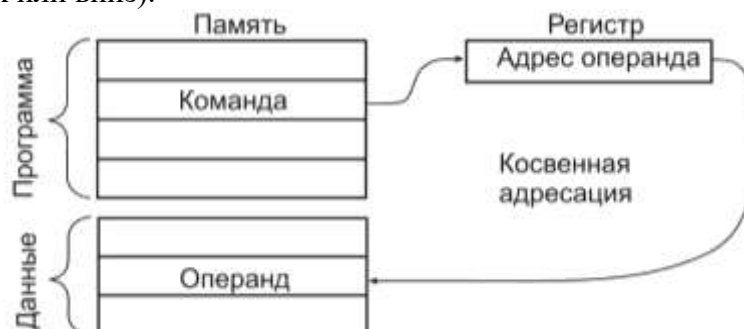
;Команда занимает одно 16-разрядное слово в программной памяти
 ;операнд-приемник R17 имеет регистровую адресацию

3. Прямая (абсолютная) адресация. Адрес операнда находится в программной памяти следом за командной инструкцией.



Пример команды с прямой адресацией операнда-приемника в МК AVR:
 STS addr, R16 ;загрузка содержимого регистра R16 в ячейку памяти данных
 ;с 16-битным адресом addr. [addr] \leftarrow (R16). Команда занимает 2
 ; 16-битных слова программной памяти
 ;операнд-источник (R16) имеет регистровую адресацию

4. Косвенно-регистровая (косвенная) адресация предполагает, что во внутреннем регистре процессора (РОН) находится не сам операнд, а его адрес в памяти. Для МК AVR поскольку адрес памяти 16-разрядный, а сам МК имеет 8-разрядную шину данных и регистры, адрес может находиться лишь в парном регистре X (R27:R26), Y (R29:R28) или Z (R31:R30). Как правило, имеет разновидности с модификацией индексного регистра: с постинкрементом (после выполнения команды индексный регистр увеличивается) и с преддекрементом (перед выполнением команды индексный регистр уменьшается). Оба типа косвенной адресации с модификацией индексного регистра применяются для работы с массивами данных (последовательного считывания-записи элементов в блоке памяти в направлении вверх или вниз).



Примеры команд с косвенно-регистровым методом адресации операнда-источника в МК AVR:

LD R0, X ; R0 \leftarrow [X]. Содержимое ЯП данных с адресом, который находится в паре регистров
 ; (R27:R26) копируется в регистр R0.

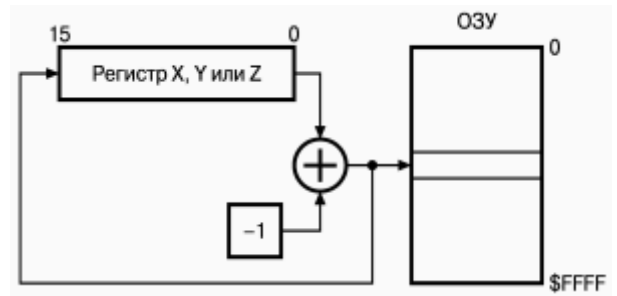
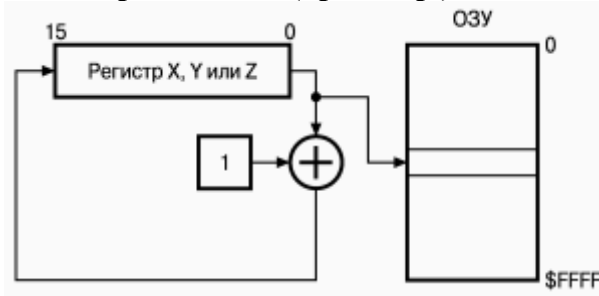
LD R1, X+ ; R1 \leftarrow [X], (X) \leftarrow (X+1). Содержимое ЯП данных с адресом, который находится

; в паре регистров (R27:R26) копируется в регистр R1, после этого содержимое

; регистровой пары (R27:R26) увеличивается на 1 - косвенная адр. с постинкрементом

LD R2, -X ; R2 ← [X-1]. Содержимое регистровой пары (R27:R26) сначала уменьшается на 1. ;Затем содержимое ЯП данных с адресом, который находится в паре регистров ;(R27:R26) копируется в регистр R2 – косв. адр. с преддекрементом

Косвенно-автоинкрементный (постинкр.) **Косвенно-автодекрементный (преддекр.)**



Преобразовательная техника

Задание 9.16

Выпрямители. Однополупериодная и двухполупериодная схема выпрямления. Особенности работы выпрямителей на разные типы нагрузок (активную, активно-емкостную и активно-индуктивную). Нагрузочная (выходная) характеристика выпрямителя.

Задание 9.17

Понижающий регулятор. Принцип работы, внешняя и регулировочная характеристики.

Задание 9.18

Повышающий регулятор. Принцип работы, внешняя и регулировочная характеристики.

Задание 9.19

Инвертирующий регулятор. Принцип работы, внешняя и регулировочная характеристики.

Задание 9.20

Система управления преобразователем DC-DC преобразователей с обратной связью по напряжению. Структурная схема, принцип работы.

Ответ на задание 9.17

Понижающий регулятор. Принцип работы, внешняя и регулировочная характеристики.

Понижающий регулятор

Для преобразования постоянного напряжения одного уровня в постоянное напряжение другого уровня используются так называемые импульсные регуляторы напряжения. Регуляторы напряжения в отличие от преобразователей напряжения не имеют гальванической развязки между входной и выходной цепью. Одним из таких регуляторов является понижающий регулятор (регулятор первого типа). В английской терминологии – Buck converter. Структурная схема понижающего регулятора и временные диаграммы его работы в режиме непрерывных токов дросселя (РНТ) представлены на рисунке 1.

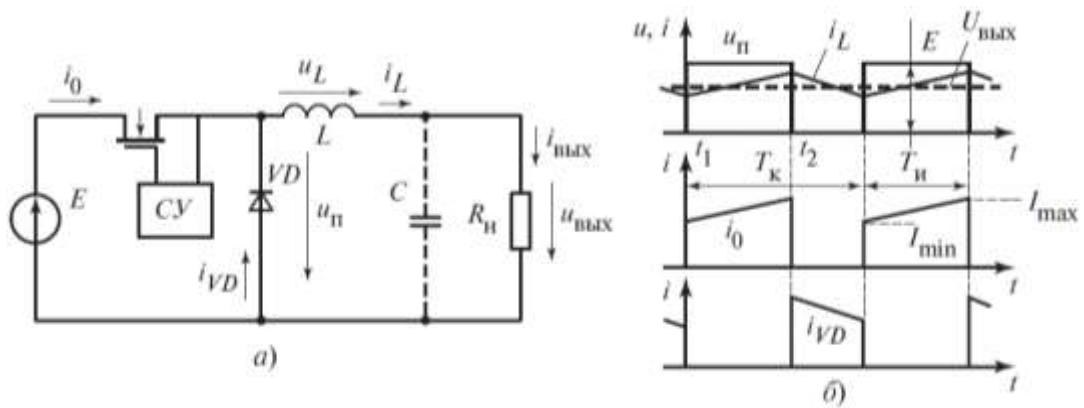


Рисунок 1 – Понижающий регулятор и временные диаграммы в режиме РНТ

В режиме РНТ у этого регулятора существуют два состояния силового контура: ключ закрыт (рисунок 2):

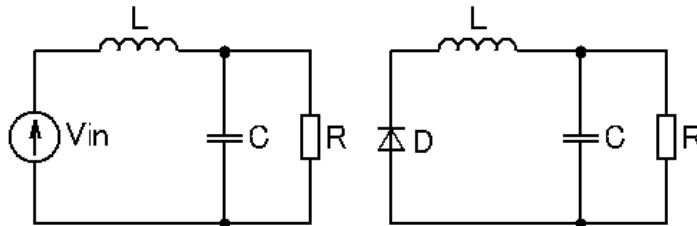


Рисунок 2 – Силовой контур понижающего регулятора при открытом (слева) и закрытом (справа) состоянии ключа

Для каждого из состояний можно записать систему уравнений для токов и напряжений схемы:

$$\begin{cases} u_{BX} = u_L + u_C \\ i_L = i_C + i_H \end{cases} \quad \begin{cases} 0 = u_L + u_C \\ i_L = i_C + i_H \end{cases}$$

$$\begin{cases} L \cdot \frac{di_L}{dt} = u_{BX} - u_C \\ C \cdot \frac{du_C}{dt} = i_L - \frac{1}{R} \cdot u_C \end{cases} \quad \begin{cases} L \cdot \frac{di_L}{dt} = -u_C \\ C \cdot \frac{du_C}{dt} = i_L - \frac{1}{R} \cdot u_C \end{cases}$$

Система уравнений для контуров напряжения и тока после усреднения:

$$\begin{cases} L \cdot \frac{di_L}{dt} = (u_{BX} - u_C) \cdot d_1 + (-u_C) \cdot (1 - d_1) \\ C \cdot \frac{du_C}{dt} = (i_L - \frac{1}{R} \cdot u_C) \cdot d_1 + (i_L - \frac{1}{R} \cdot u_C) \cdot (1 - d_1) \end{cases}$$

$$\begin{cases} L \cdot \frac{di_L}{dt} = u_{BX} \cdot d_1 - u_C \\ C \cdot \frac{du_C}{dt} = i_L - \frac{1}{R} \cdot u_C \end{cases}$$

Верхнее уравнение системы представляет собой воздействие зависимых источников напряжения на дроссель. Нижнее уравнение системы представляет собой воздействие зависимых источников тока на конденсатор.

В установившемся режиме среднее значение напряжения на дросселе за период коммутации равно 0. Приравняем к 0 верхнее уравнение системы и получаем следующее выражение:

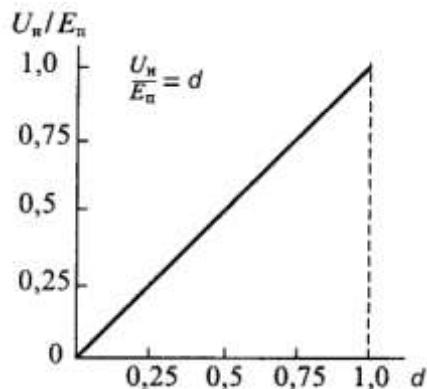
$$u_{BX} \cdot d_1 = u_C \Rightarrow \frac{u_{BВIX}}{u_{BX}} = d_1$$

Зависимость отношения выходного напряжения к входному от коэффициента заполнения управляющих импульсов d называется регулировочной характеристикой.

Регулировочная характеристика понижающего регулятора в режиме непрерывных токов дросселя представляет собой линейную зависимость:

$$u_{ВЫХ} = u_{ВХ} \cdot d_1$$

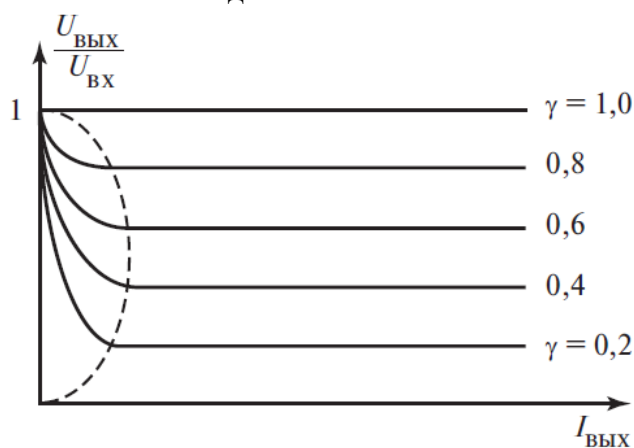
Максимально возможное выходное напряжение не может превышать входное напряжение.



Достоинством понижающего регулятора является непрерывность тока, поступающего на выходной С-фильтр, поэтому ёмкость конденсатора фильтра минимальна по сравнению с остальными типами регуляторов. Пульсации тока конденсатора фильтра также минимальны, что снижает требования к качеству этого конденсатора и увеличивает его срок службы.

Недостатком преобразователя является прерывистый характер тока, потребляемого от источника питания (ключ на входе). Некоторые источники питания могут плохо работать с прерывистым током потребления, в таком случае на входе понижающего преобразователя ставят конденсаторный фильтр. Но в этом случае необходимо предусмотреть защиту от броска пускового тока и перегрузки источника питания (добавить NTC-резистор для ограничения броска пускового тока конденсатора).

Построим внешнюю характеристику понижающего регулятора. **Внешняя характеристика регулятора** — зависимость среднего напряжения на нагрузке от тока нагрузки при постоянной относительной длительности включенного состояния ключа.



Внешние характеристики понижающего регулятора

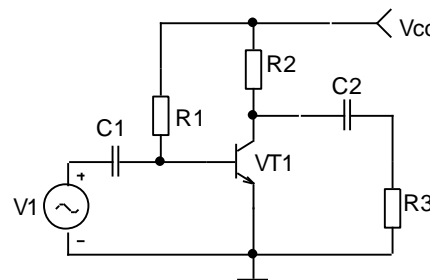
Внешние характеристики понижающего регулятора жесткие, наклон характеристик определяется величиной потерь в преобразователе. Штриховой линией показаны граничные значения при переходе из непрерывного тока дросселя в прерывистый.

Задание №10 экзаменационного билета (20 баллов)

Схемотехника

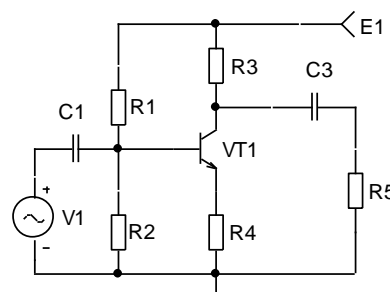
Задание 10.1

Напряжение питания транзисторного каскада $V_{cc} = 10$ В, сопротивление нагрузки $R_3 = 100$ кОм, коэффициент передачи тока базы транзистора $VT1$ $\beta = 30-100$. Выбрать сопротивление R_2 и рассчитать диапазон регулирования (т.е. минимальное и максимальное значения) сопротивления подстроечного резистора R_1 для обеспечения работы транзистора в режиме А и получения максимально возможной амплитуды выходного напряжения во всем диапазоне коэффициентов передачи тока транзистора.



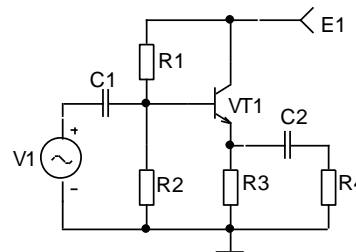
Задание 10.2

Напряжение питания транзисторного каскада $E1 = 10$ В, сопротивление нагрузки $R_5 = 100$ кОм, коэффициент передачи тока базы транзистора $VT1$ $\beta = 100$. Выбрать сопротивление R_3 и R_4 и рассчитать сопротивления резисторов R_1 , R_2 для обеспечения температурной стабилизации и получения максимально возможной амплитуды выходного напряжения. Рассчитать значение входного сопротивления R_{BX} для полученной схемы.



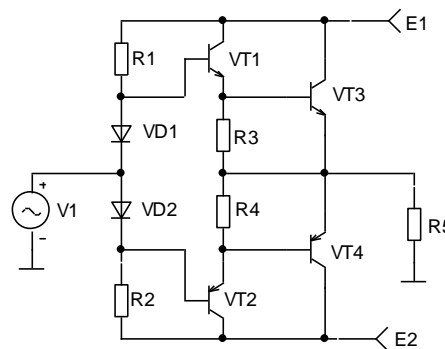
Задание 10.3

Напряжение питания транзисторного каскада $E1 = 10$ В, сопротивление нагрузки $R_4 = 100$ кОм, коэффициент передачи тока базы транзистора $VT1$ $\beta = 100$. Выбрать сопротивление R_3 и рассчитать сопротивления резисторов R_1 , R_2 для получения максимально возможной амплитуды выходного напряжения. Рассчитать значение входного сопротивления R_{BX} для полученной схемы.



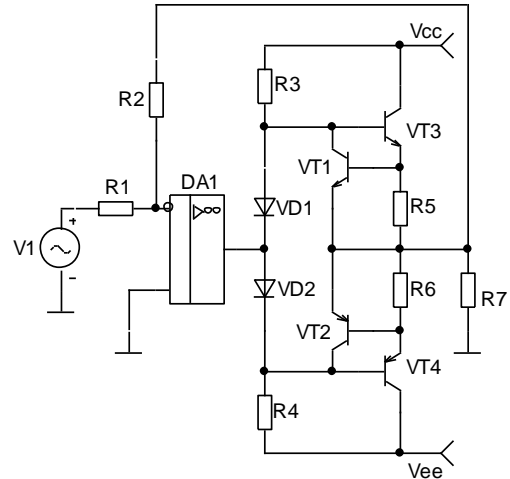
Задание 10.4

Напряжение питания транзисторного каскада $E_2 = -15$ В, $E_1 = 15$ В, сопротивление нагрузки $R_5 = 50$ Ом, коэффициент передачи тока базы транзисторов $VT1$ и $VT2$ $\beta = 100$, транзисторов $VT3$ и $VT4$ $\beta = 20$, амплитуда источника сигнала $V1$ равна 10 В. Рассчитать сопротивления резисторов R_1 , R_2 , R_3 , R_4 для обеспечения работы первого каскада транзисторного усилителя в режиме АВ, а второго – в режиме В. Второй каскад должен начинать работать при токе нагрузки 50 мА.



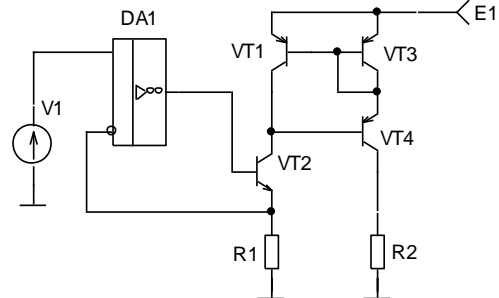
Задание 10.5

Напряжение питания транзисторного каскада $V_{CC} = +15 \text{ В}$, $V_{EE} = -15 \text{ В}$
сопротивление нагрузки $R_7 = 40 \text{ Ом}$,
коэффициент передачи тока базы транзисторов VT_1 и $VT_2 \beta = 100$,
транзисторов VT_3 и $VT_4 \beta = 50$, амплитуда источника сигнала V_1 равна 1 В .
Рассчитать сопротивления резисторов $R_1 - R_6$ для обеспечения коэффициента усиления по напряжению $K_u = 10$, работы выходного каскада усилителя в режиме АВ и срабатывания защиты по току при токе 500 мА . Рассчитать входное сопротивление получившегося усилителя.



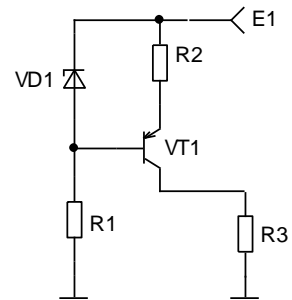
Задание 10.6

Напряжение питания $E_1 = 15 \text{ В}$.
Коэффициенты передачи тока базы транзистора $VT_1 - VT_4 \beta = 100$. Рассчитать сопротивления резисторов R_1 для получения выходного стабилизированного тока 10 мА в сопротивлении нагрузки R_2 при входном управляющем напряжении $V_1 = 10 \text{ В}$. Рассчитать максимальную величину сопротивления резистора R_2 , при которой сохраняется стабилизация тока.



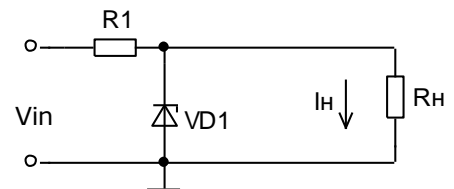
Задание 10.7

Напряжение питания $E_1 = 10 \text{ В}$. Напряжение стабилизации стабилитрона $U_{CT} = 3 \text{ В}$. Минимальный ток стабилизации стабилитрона $I_{CT \text{ MIN}} = 1 \text{ мА}$. Рассчитать сопротивления резисторов R_1 и R_2 для обеспечения номинального режима работы стабилитрона и получения выходного стабилизированного тока 10 мА в сопротивлении нагрузки R_3 .



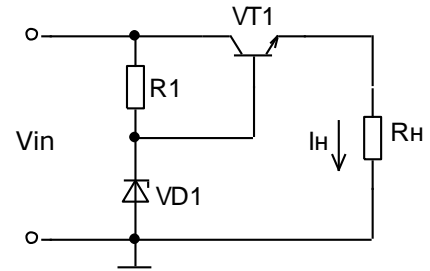
Задание 10.8

Входное напряжение стабилизатора $V_{in} = 12 - 18 \text{ В}$. Напряжение стабилизации стабилитрона $V_{CT} = 9 \text{ В}$. Минимальный ток стабилизации стабилитрона $I_{CT \text{ MIN}} = 1 \text{ мА}$. Ток нагрузки $I_H = 10 - 20 \text{ мА}$. Рассчитать сопротивления резистора R_1 для обеспечения номинального режима работы стабилитрона и получения выходного стабилизированного напряжения 9 В во всем заданном диапазоне токов нагрузки и входного напряжения. Рассчитать максимальный ток I_{max} через стабилитрон VD_1 и максимальную рассеиваемую мощность P_{max} на стабилитроне VD_1 .



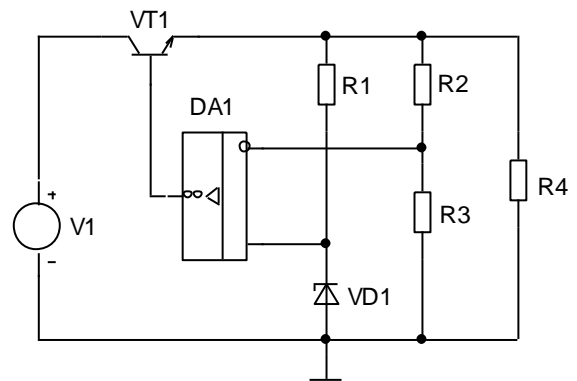
Задание 10.9

Входное напряжение стабилизатора $V_{in} = 12-18$ В. Напряжение стабилизации стабилитрона $V_{CT} = 9$ В. Минимальный ток стабилизации стабилитрона $I_{CT\ MIN} = 1$ мА. Коэффициент передачи тока базы транзистора $VT1$ $\beta = 50$. Ток нагрузки $I_H = 100-200$ мА. Рассчитать сопротивления резистора $R1$ для обеспечения номинального режима работы стабилитрона и получения выходного стабилизированного напряжения 9 В во всем заданном диапазоне токов нагрузки и входного напряжения. Рассчитать максимальный ток I_{max} через стабилитрон $VD1$ и максимальную рассеиваемую мощность P_{m_VD} на стабилитроне $VD1$ и P_{m_VT} на транзисторе $VT1$.



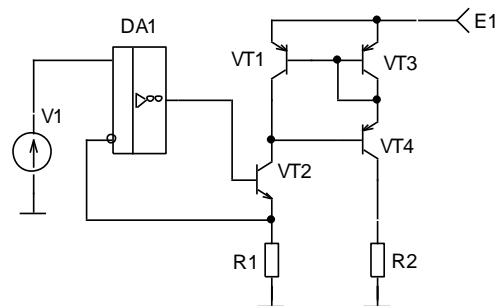
Задание 10.10

Входное напряжение стабилизатора $U_{BX} = 12-18$ В. Напряжение стабилизации стабилитрона $U_{CT} = 3.3$ В. Минимальный ток стабилизации стабилитрона $I_{CT\ MIN} = 1$ мА. Ток нагрузки $I_{H\ MAX} = 100$ мА. Рассчитать сопротивления резисторов $R1, R2, R3$ для обеспечения номинального режима работы стабилитрона и получения выходного стабилизированного напряжения 9 В во всем заданном диапазоне тока нагрузки и входного напряжения. Рассчитать максимальную рассеиваемую мощность P на транзисторе $VT1$.



Решение задачи 10.6

Напряжение питания $E1 = 15$ В. Коэффициенты передачи тока базы транзистора $VT1 - VT4$ $\beta = 100$. Рассчитать сопротивления резисторов $R1$ для получения выходного стабилизированного тока 10 мА в сопротивлении нагрузки $R2$ при входном управляющем напряжении $V1 = 10$ В. Рассчитать максимальную величину сопротивления резистора $R2$, при которой сохраняется стабилизация тока.



1. Источник тока состоит из двух каскадов. Первый каскад — источник тока, управляемый напряжением, построенный на ОУ $DA1$, транзисторе $VT2$ и резисторе $R1$. Второй каскад — токовое зеркало Уилсона на транзисторах $VT1, VT3, VT4$.

Для токового зеркала $I_{к\ VT1} \approx I_{к\ VT4}$. Ток $I_{к\ VT1}$ задаётся первым каскадом (управляемым источником тока). Т.е.

$$I_{кVT1} \approx I_{R2} = 20 \text{ мА}.$$

2. Из свойств идеального операционного усилителя следует, что разность напряжений между входами ОУ, охваченного отрицательной обратной связью, стремится к нулю. Это означает, что $U_{\alpha+} = U_{\alpha-}$.

$$U_{\alpha+} = U_{V1} = 5 \text{ В}; \quad U_{\alpha-} = U_{R1} = 5 \text{ В};$$

$$I_{кVT1} = I_{кVT2} \approx I_{\alpha VT2}; \quad I_{R1} = I_{\alpha VT2} \approx I_{кVT1}.$$

$$U_{R1} = I_{R1} \cdot R_1 \quad \Rightarrow \quad R_1 = \frac{U_{R1}}{I_{R1}} = \frac{5 \text{ В}}{20 \text{ мА}} = 250 \text{ Ом}.$$

3. При увеличении сопротивления R_2 возрастает падение напряжения на нём. Потенциал коллектора VT4 возрастает и транзистор VT4 может выйти из активного режима. Обычно считают, что минимальное падение напряжения $U_{кэ}$ на транзисторе в активном режиме составляет 1 В. Следовательно, максимально возможное падение напряжения на резисторе R_2 :

$$U_{R2\text{max}} = E_1 - U_{\beta\alpha VT3} - U_{кэ VT4}; \quad U_{R2\text{max}} = (10 - 0.6 - 1) \text{ В} = 8.4 \text{ В}.$$

$$U_{R2\text{max}} = I_{\text{вых}} \cdot R_{2\text{max}} \quad \Rightarrow \quad R_{2\text{max}} = \frac{U_{R2\text{max}}}{I_{\text{вых}}} = \frac{8.4 \text{ В}}{20 \text{ мА}} = 420 \text{ Ом}.$$

$$R_{2\text{max}} = 420 \text{ Ом}.$$

Ответ: $R_1=250 \text{ Ом}$, $R_{2\text{max}}=420 \text{ Ом}$