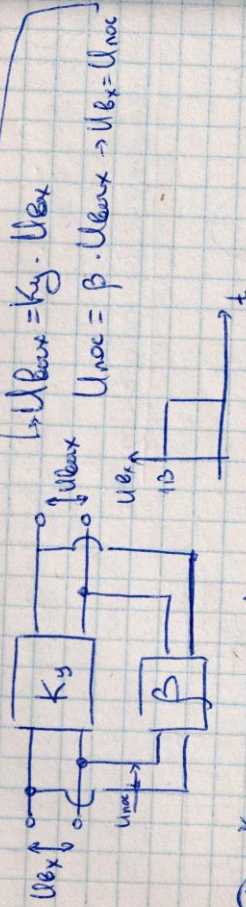


Генератор



- ① $K_y = 10, \beta = \frac{1}{100}, t = 0: U_{\text{вых}} = 1\text{В}, U_{\text{норм}} = 10\text{В}, U_{\text{норм}} = 0,1\text{В}$
 $t = \Delta t: U_{\text{вых}} = U_{\text{норм}}(0) = 0,1\text{В}, U_{\text{норм}} = 1\text{В}, U_{\text{норм}} = 0,01\text{В}$
 $t = 2\Delta t: U_{\text{вых}} = 0,01\text{В}, U_{\text{норм}} = 0,1\text{В}, U_{\text{норм}} = 0,001\text{В}$

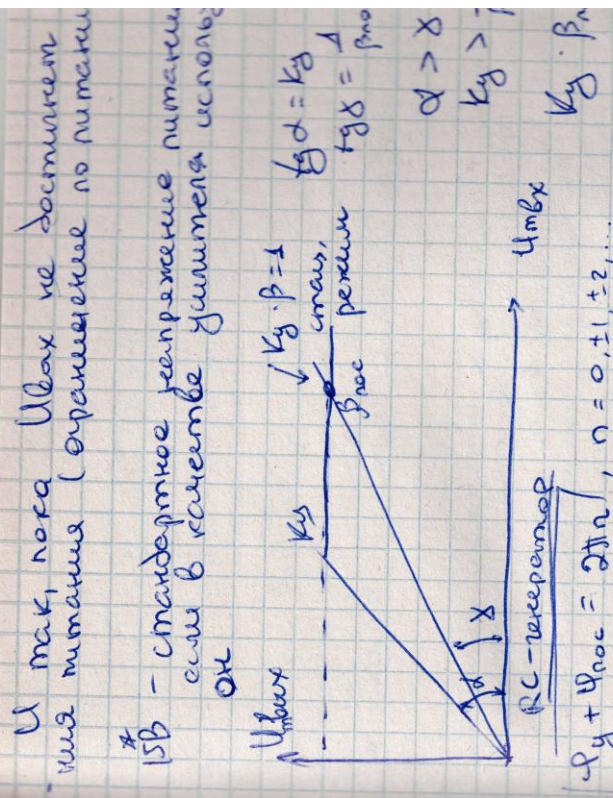
- ② $K_y = 10, \beta = \frac{1}{10}, t = 0: U_{\text{вых}} = 1\text{В}, U_{\text{норм}} = 10\text{В}, U_{\text{норм}} = 1\text{В}$
 $t = \Delta t: U_{\text{вых}} = U_{\text{норм}}(0) = 1\text{В}, U_{\text{норм}} = 10\text{В}, U_{\text{норм}} = 1\text{В}$
 $t = 2\Delta t: U_{\text{вых}} = 1\text{В}, U_{\text{норм}} = 10\text{В}, U_{\text{норм}} = 1\text{В}$

$$K_y \cdot \beta = 1 - \text{Санитарный}$$

устойчивость

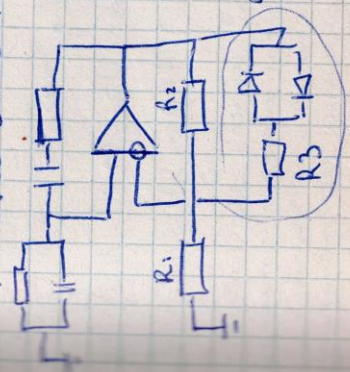
- ③ $K_y \cdot \beta > 1, K_y = 10, \beta = \frac{1}{100}$

- $t = 0: U_{\text{вых}} = 0\text{В}, U_{\text{норм}} = 100\text{В}, U_{\text{норм}} = 10\text{В}$
 $t = \Delta t: U_{\text{вых}} = U_{\text{норм}}(0) = 10\text{В}, U_{\text{норм}} = 100\text{В}, U_{\text{норм}} = 1\text{В}$
 $t = 2\Delta t: U_{\text{вых}} = 1\text{В}, U_{\text{норм}} = 10\text{В}, U_{\text{норм}} = 10\text{В}$



Санитарный

Примеры возникновения аварийной ситуации. Выход напряжения, превышающий норму, на выходе усилителя (появление шума на выходе) до момента сбоя в работе с минимальным временем сбоя на выходе цепи



RC-цепочка с нормой при U_норм = 1В

для норм, чтобы избежать

3. Мультивибраторы

Мультивибратор — электронное импульсное устройство, имеющее два квазиустойчивых состояния и предназначенное для формирования импульсных сигналов. Возможность генерирования логических сигналов позволяет применять мультивибраторы в цифровых устройствах в качестве источников синхроимпульсов, формирователей временных интервалов заданной длительности и т. п. Работа мультивибратора может быть описана с помощью временных диаграмм, логических формул, таблиц истинности или графов. Для построения мультивибраторов используются элементы, способные инвертировать логический сигнал, такие как транзисторные ключи, логические элементы и др. Различают следующие виды данных устройств:

- ждущие мультивибраторы или формирователи — генерируют импульсы заданной длительности синхронно с внешними сигналами;
- автоколебательные — генерируют последовательность импульсов с заданными частотой повторения и длительностью.

Ждущий мультивибратор на биполярных транзисторах

Транзисторный ключ выполняет логическую функцию инверсии сигнала, поступающего на его вход. На рис. 3.1 показана схема транзисторного ключа.

Логический сигнал, поступающий на вход A , определяет режим работы транзистора $VT2$. Единичный уровень обеспечивает наличие тока базы транзистора, переводя его в режим насыщения. Открытое состояние транзистора приводит к тому, что на его коллекторе (выход Q) будет сформирован сигнал низкого уровня. Нулевой уровень сигнала на входе A приведет к тому, что за счет источника $-E_{см}$ базово-эмиттерный переход транзистора окажется запертым и транзистор перейдет в режим отсечки. Закрытое состояние транзистора приводит к тому, что на его коллекторе (выход Q) будет сформирован сигнал высокого уровня.

При подключении входа транзисторного ключа через резистор $R_{б2}$ к источнику питания ключ оказывается во включенном состоянии и на его выходе постоянно формируется уровень логического нуля (рис. 3.2): $Q = 0$.

Подключив дифференцирующую цепь на конденсаторе C_p и резисторе R_p и подавая отри-

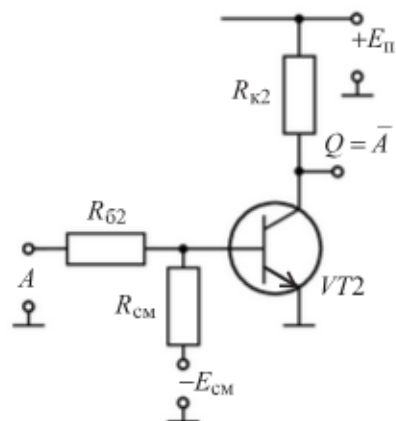


Рис. 3.1. Схема ключа на биполярном транзисторе

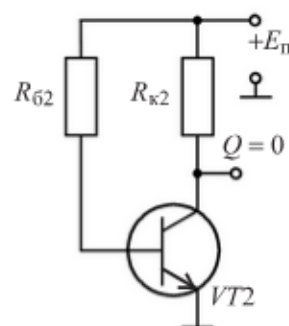


Рис. 3.2. Схема подключения транзисторного ключа к источнику питания

цательные импульсы на вход $U_{\text{зап}}$, можно получить на выходе Q короткий единичный импульс (рис. 3.3).

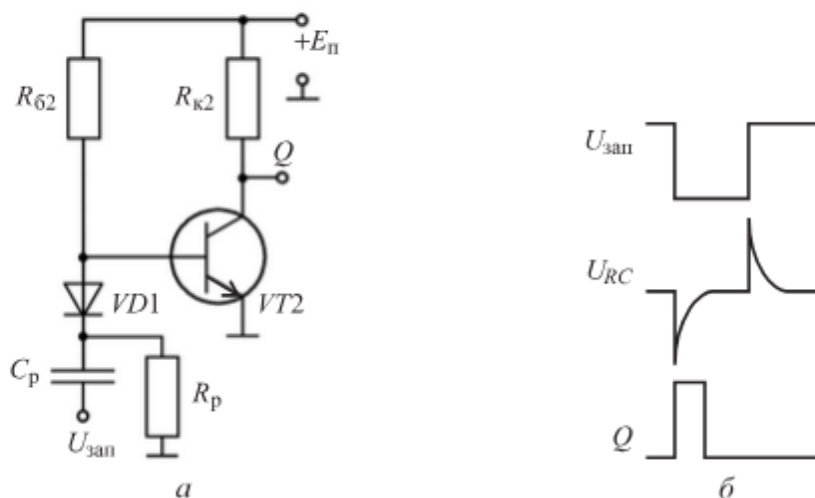


Рис. 3.3. Дифференцирующая цепь на входе транзисторного ключа:
а — схема; б — временные диаграммы

Диод $VD1$ ограничивает прохождение положительной составляющей продифференцированного импульса. Подключив к выходу Q аналогичный ключ (рис. 3.4, а), можно проинвертировать полученный импульс и получить на выходе $\bar{Q}$ сигнал, показанный на нижней диаграмме рис. 3.4, б.

Соединив выход $\bar{Q}$ с базой транзистора $VT2$, получим устройство, которое в исходном состоянии будет формировать на выходе Q нулевой уровень сигнала (на $\bar{Q} - 1$), а при подаче на вход $U_{\text{зап}}$ отрицательного импульса навсегда переключится в единичное состояние. Для ограничения времени пребывания схемы в этом состоянии в цепь обратной связи вводится конденсатор C_p , кото-

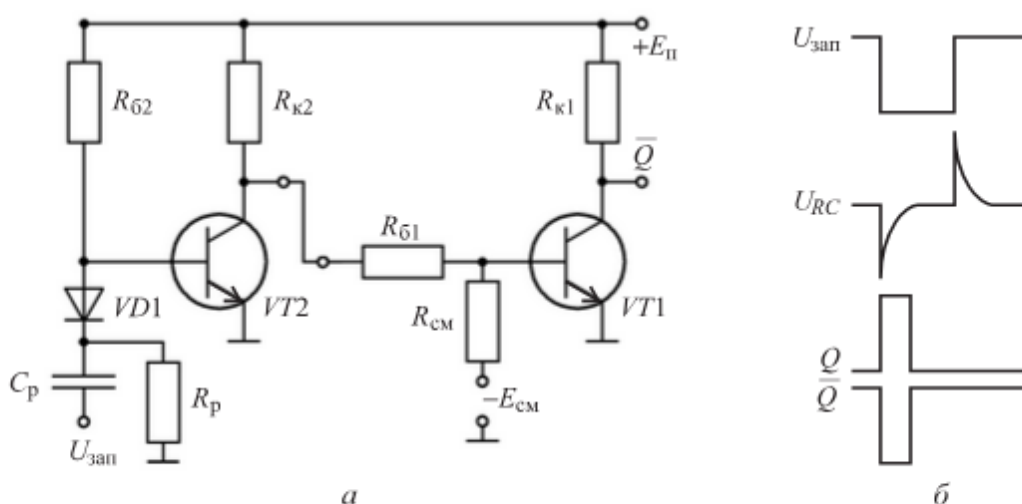


Рис. 3.4. Включение транзисторных ключей с инверсией:
а — схема; б — временные диаграммы

рый с резистором R_{62} образует дифференцирующую цепочку (рис. 3.5, а). Если постоянная времени $R_{62} C_i$ больше $R_p C_p$, будет сформирован импульс, длительность которого определяется постоянной времени $R_{62} C_p$, т. е. не зависит от длительности входного запускающего импульса (рис. 3.5, б).

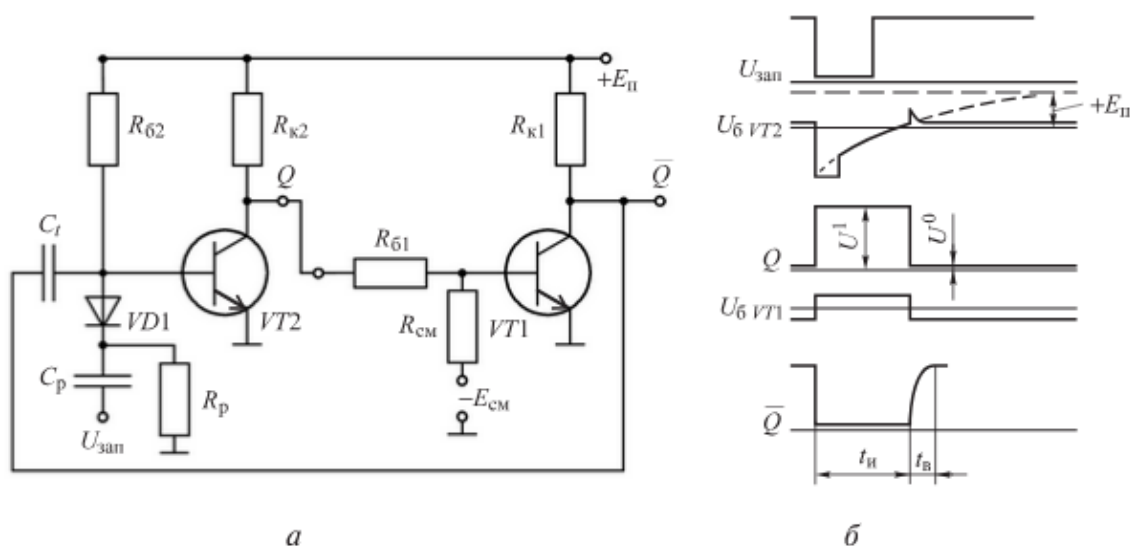


Рис. 3.5. Ждущий мультивибратор:
а — схема; б — временные диаграммы

Таким образом, получено устройство, способное генерировать однократный импульс заданной длительности. Это устройство называют *формирователем импульса* или *ждущим мультивибратором*. Традиционное изображение его схемы показано на рис. 3.6.

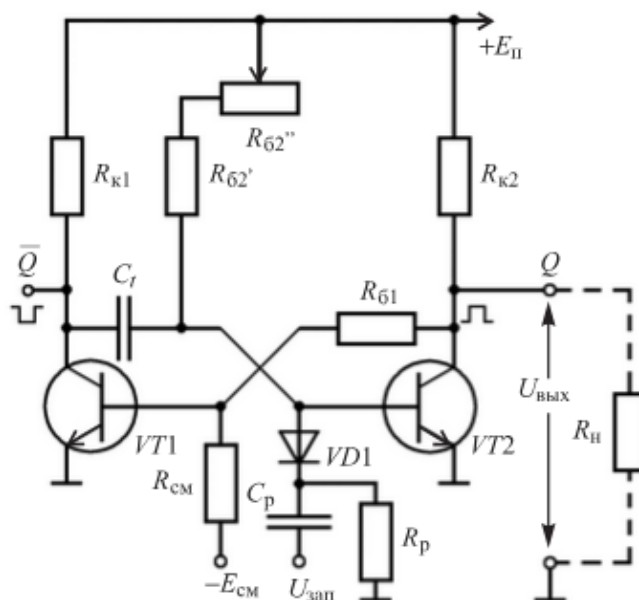


Рис. 3.6. Традиционная схема ждущего мультивибратора

Для регулировки длительности импульса необходимо иметь возможность изменять постоянную времени цепи $R_{62} C_r$. Для изменения ее в небольших пределах можно предусмотреть возможность изменения сопротивления резистора R_{62} , разделив его на последовательно включенные постоянный резистор $R_{62'}$ и переменный $R_{62''}$:

$$R_{62} = R_{62'} + R_{62''}.$$

Изменять его сопротивление в широких пределах не позволяет то обстоятельство, что этот резистор ограничивает ток базы транзистора VT2. При выборе R_{62} должно выполняться условие:

$$\beta R_{k2}/s \leq R_{62} < \beta R_{k2},$$

где β — статический коэффициент передачи тока базы в цепь коллектора; s — коэффициент насыщения.

Для регулирования длительности импульса в широких пределах необходимо изменять емкость конденсатора C_r . Рассмотрим работу формирователя в различных режимах работы.

Исходное состояние. Для данного состояния характерно отсутствие запускающих импульсов на входе $U_{\text{зап}}$. Транзистор VT2 насыщен, его базовый ток определяется составным резистором R_{62} , R_p и напряжением питания базовой цепи:

$$I_6^1 = \frac{E_{\text{п}} - U_{6.н}}{R_{62}} - \frac{U_{6.н} - U_{VD1}}{R_p} \approx \frac{E_{\text{п}}}{R_{62}};$$

$$I_6^1 > \frac{E_{\text{п}}}{\beta R_{k2}}.$$

Здесь $E_{\text{п}}$ — напряжение питания схемы; $U_{6.н}$ — падение напряжения базы в режиме насыщения; β — статический коэффициент передачи тока транзистора в цепь коллектора.

Транзистор VT1 закрыт, и напряжение на его базе определяется резисторами $R_{\text{см}}$ и R_{61} и отрицательным напряжением смещения $-E_{\text{см}}$:

$$U_{6VT1} = -\frac{E_{\text{см}}}{R_{\text{см}} + R_{61}} R_{61} + \frac{U_{к.нVT2}}{R_{\text{см}} + R_{61}} R_{\text{см}} \approx -\frac{E_{\text{см}}}{R_{\text{см}} + R_{61}} R_{61}.$$

Конденсатор C_r заряжен до разности потенциалов коллектора VT1:

$$U_{кVT1} = E_{\text{к}} - I_{\text{ко}} R_{кI} \approx E_{\text{п}}$$

и базы VT2:

$$U_{6VT2} = U_{6.н};$$

$$U_{\text{с max}} \approx U_{кVT1} \approx E_{\text{п}}.$$

Исходное состояние может продолжаться до тех пор, пока на входе $U_{\text{зап}}$ не действует импульс запуска.

Режим запуска. Для запуска мультивибратора необходим отрицательный импульс $U_{\text{заг}}$. Импульс дифференцируется цепью $R_p C_p$. Отрицательный укороченный импульс проходит через диод $VD1$ на базу транзистора $VT2$, вызывает рассасывание избыточного заряда и переводит $VT2$ в активный режим. В активном режиме $VT2$ усиливает и инвертирует отрицательный запускающий импульс в положительный импульс коллекторного напряжения. Повышение напряжения на коллекторе $VT2$ компенсирует часть отрицательного напряжения источника смещения $-E_{\text{см}}$, что приводит к повышению потенциала базы и открыванию транзистора $VT1$:

$$U_{\text{б.н}VT1} < \frac{R_{\text{см}}(E_{\text{п}} + E_{\text{см}})}{R_{\text{к}2} + R_{\text{б}1} + R_{\text{см}}} - E_{\text{см}}.$$

Процесс переключения ускоряется под действием положительной обратной связи, замыкающейся перекрестно с коллектора одного транзистора на базу другого.

Генерация импульса (квазистойчивое состояние). После окончания переходного процесса $VT1$ оказывается в режиме насыщения. Базовый ток определяется следующим соотношением:

$$I_6^1 = \frac{E_{\text{п}}}{R_{\text{к}2} + R_{\text{б}1}} - \frac{E_{\text{см}} + U_{\text{б.н}}}{R_{\text{см}}} \approx \frac{E_{\text{п}}}{R_{\text{к}2} + R_{\text{б}1}} - \frac{E_{\text{см}}}{R_{\text{см}}}.$$

Условие насыщения должно учитывать емкостную составляющую коллекторного тока $VT1$, которая максимальна в начале разряда конденсатора:

$$I_6^1 > \frac{E_{\text{п}}}{R_{\text{к}1}\beta} + \frac{U_{\text{сmax}} + E_{\text{п}}}{R_{\text{б}2}\beta}. \quad (3.1)$$

Транзистор $VT2$ закрыт отрицательным потенциалом, формируемым конденсатором C_r , который разряжается по цепи $+E_{\text{п}} - R_{\text{б}2} - R_{\text{б}2}' - C_r$ — открытый $VT1$ — общий провод. При этом запирающий потенциал на базе $VT2$ убывает (по модулю):

$$U_{\text{б}VT2}(t) = -U_{\text{сmax}} + (E_{\text{п}} + U_{\text{сmax}}) \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau_p}\right) \right), \quad (3.2)$$

где $\tau_p = C_r R_{\text{б}2}$.

В тот момент времени, когда $U_{\text{б}}(t)$ станет положительным и превысит порог отпирания $U_{\text{п}}$ транзистора $VT2$, т. е. $U_{\text{б}}(t_{\text{п}}) > U_{\text{п}}$, в схеме возникает регенеративный процесс возврата в исходное состояние. С учетом (3.1), (3.2), $U_{\text{п}} \ll E_{\text{п}}$ и $U_{\text{сmax}}$ можно определить длительность формируемого импульса:

$$t_{\text{п}} = C_r R_{\text{б}2} \ln \frac{U_{\text{сmax}} + E_{\text{п}}}{E_{\text{п}} - U_{\text{п}}} \approx C_r R_{\text{б}2} \ln \left(\frac{U_{\text{сmax}}}{E_{\text{п}}} + 1 \right) \approx C_r R_{\text{б}2} \ln \left(\frac{E_{\text{п}}}{E_{\text{п}}} + 1 \right) \approx 0,69 C_r R_{\text{б}2}. \quad (3.3)$$

Восстановление исходного состояния. Данный режим происходит в течение интервала времени t_b (см. рис. 3.5, б). На этом этапе происходит заряд конденсатора C_t по цепи $+E_n - R_{k1} - C_t$ — база $VT2$ — общий провод. Напряжение на коллекторе $VT1$ растет по закону:

$$U_{k1}(t) = E_n \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau_3}\right) \right),$$

где $\tau_3 = C_t R_{k1}$.

Бросок зарядного тока C_t вызывает появление на базе $VT2$ характерного пика напряжения, спадающего по мере заряда C_t .

Анализируя (3.3), можно заметить, что длительность квазистойчивого состояния зависит от R_{62} и U_{Cmax} , которое равно напряжению на коллекторе $VT1$ в исходном состоянии.

Одновибратор с эмиттерной обратной связью

Еще одной разновидностью семейства ждущих мультивибраторов является схема транзисторного одновибратора с эмиттерной обратной связью (рис. 3.7, а). В отличие от предыдущей схемы для его работы не требуется источник отрицательного смещения, а для запуска используется импульс положительной полярности, что в ряде случаев играет положительную роль. Временные диаграммы, иллюстрирующие работу одновибратора с эмиттерной обратной связью, показаны на рис. 3.7, б.

Ждущий режим одновибратора с эмиттерной обратной связью обеспечивается при отсутствии запускающего импульса на входе. При этом транзистор $VT2$ открыт и насыщен за счет тока базы, ограниченного резисторами R_{62} и R_3 . Ток эмиттера транзистора $VT2$, протекающий через R_3 , создает на нем падение

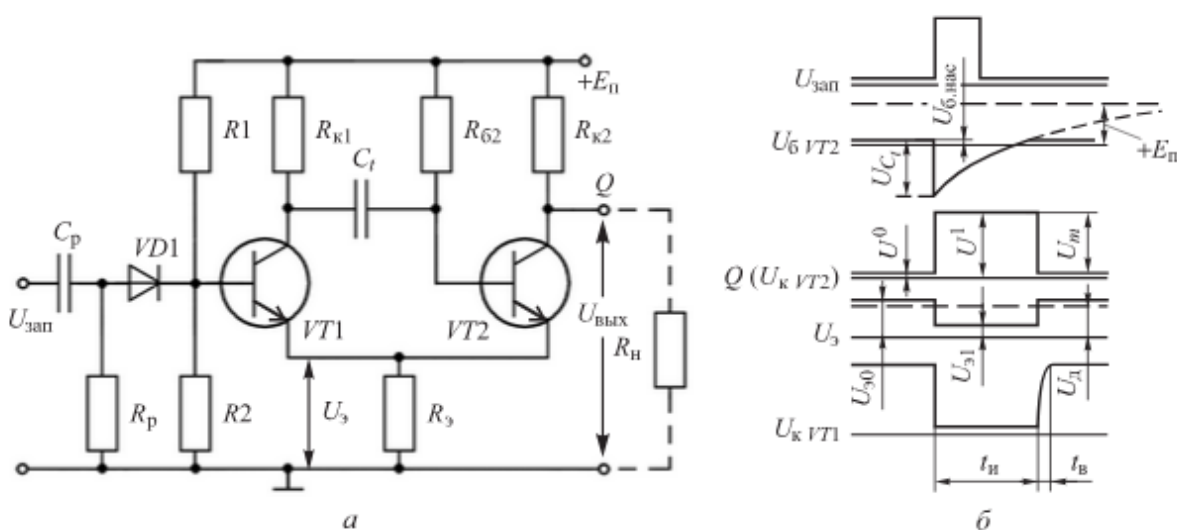


Рис. 3.7. Одновибратор с эмиттерной обратной связью:

а — схема; б — временные диаграммы

напряжения $U_{э0}$, общее для эмиттеров обоих транзисторов. Делитель напряжения R_1-R_2 рассчитывается таким образом, чтобы при отсутствии запускающего импульса напряжение на базе $VT1$ не превышало $U_{э0}$, что обеспечивает его нахождение в режиме отсечки, а на его коллекторе присутствует напряжение, близкое к потенциалу источника питания $E_{п}$. Следовательно, конденсатор C_i заряжен до напряжения $U_{C_i} = E_{п} - U_{бэ VT2} - U_{э0}$.

Запуск одновибратора с эмиттерной обратной связью производится положительным импульсом произвольной длительности. Дифференцирующая цепь C_p-R_p укорачивает его, диод $VD1$ отсекает его отрицательную составляющую. Это приведет к тому, что его амплитуда просуммируется с постоянным напряжением делителя R_1-R_2 и вызовет отпирание базово-эмиттерного перехода транзистора $VT1$. Напряжение на его коллекторе уменьшится, что приведет к падению потенциала на базе $VT2$ за счет заряда конденсатора C_i до величины $U_{б VT2} = U_{к VT1} - U_{C_i}$. В схеме начинается процесс лавинного переключения в силу сильной положительной обратной связи транзисторов через R_3 . В результате транзистор $VT2$ запирается независимо от нарастания $U_{вх}$, данный транзистор закроется и на выходе Q сформируется сигнал с уровнем логической единицы. В этом случае напряжение на эмиттерах будет определяться током открытого транзистора $VT1$, который, в свою очередь, зависит от величины $R_{к1}$. Его сопротивление должно быть больше $R_{к2}$, чтобы напряжение на эмиттере $U_{э1}$ было меньше, чем $U_{э0}$ и $U_{б VT1}$. Это приведет к тому, что если запускающий импульс закончится до окончания выходного, транзистор $VT1$ останется открытым до окончания выходного импульса. При этом конденсатор C_i будет перезаряжаться от источника питания по цепи $R_{б2} - C_i - VT1 - R_3$ по экспоненциальному закону с постоянной времени $\tau = C_i (R_{б2} + R_3)$. Следовательно, напряжение на базе транзистора $VT2$ будет расти до тех пор, пока не станет достаточным для отпирания его базово-эмиттерного перехода. В результате транзистор $VT2$ откроется, выходной импульс закончится.

Восстановление схемы в исходное состояние происходит после закрывания транзистора $VT1$ и заключается в заряде конденсатора C_i от источника питания по цепи $R_{к1} - C_i - VT2 - R_3$ по экспоненциальному закону с постоянной времени $\tau = C_i (R_{к1} + R_3)$.

Рассмотрим методику расчета элементов одновибратора с эмиттерной обратной связью. В первой главе уже упоминалось, что при сопротивлении нагрузки R_n требуется получить одиночный импульс с максимальной амплитудой выходного сигнала $U_{\max \text{ вых}}$, длительностью t_n и длительностью фронтов t_ϕ .

Частотные требования к транзистору можно определить исходя из длительности фронтов:

$$f_\alpha \approx \frac{0,5}{t_\phi},$$

где f_α — граничная частота транзистора.

При отсутствии запускающего импульса схема одновибратора с эмиттерной обратной связью находится в ждущем состоянии. Транзистор $VT2$ открыт

и насыщен за счет тока базы, ограниченного резисторами $R_{\text{б2}}$ и R_3 . Напряжение на коллекторе $VT2$ соответствует уровню логического нуля, т. е.

$$U_0 = \frac{(E_{\text{п}} - U_{\text{к.э.нас } VT2})(R_3 \parallel R_{\text{н}})}{R_{\text{к2}} + (R_3 \parallel R_{\text{н}})} \approx \frac{E_{\text{п}} R_3}{R_{\text{к2}} + R_3},$$

где $U_{\text{к.э.нас } VT2}$ — падение напряжения на насыщенном транзисторе $VT2$, которым можно пренебречь.

Ниже показано, что $R_{\text{н}}$ значительно больше R_3 , и его значением в параллельном включении можно пренебречь. Запуск одновибратора с эмиттерной обратной связью приводит к закрыванию $VT2$. На его коллекторе формируется высокий уровень напряжения, соответствующий уровню логической единицы:

$$U_1 = \frac{E_{\text{п}} R_{\text{н}}}{R_{\text{н}} + R_{\text{к2}}};$$

максимальный размах напряжения в нагрузке $U_{\text{мах вых}} = U_1 - U_0$;

$$U_{\text{мах вых}} = E_{\text{п}} \left(\frac{R_{\text{н}}}{R_{\text{н}} + R_{\text{к2}}} - \frac{R_3}{R_{\text{к2}} + R_3} \right).$$

Примем $U_0 \approx 0,1E_{\text{п}}$ и $U_1 \approx 0,9E_{\text{п}}$. Тогда $U_{\text{мах вых}} \approx 0,8E_{\text{п}}$ и $E_{\text{п}} \approx 1,25U_{\text{мах вых}}$:

$$U_1 = \frac{1,25U_{\text{мах вых}} R_{\text{н}}}{R_{\text{н}} + R_{\text{к2}}},$$

следовательно,

$$R_{\text{н}} + R_{\text{к2}} = \frac{1,25U_{\text{мах вых}} R_{\text{н}}}{1,125U_{\text{н}}};$$

$$R_{\text{к2}} = 1,1R_{\text{н}} - R_{\text{н}} = 0,1R_{\text{н}};$$

$$U_0 \approx \frac{1,25U_{\text{мах вых}} R_3}{0,1R_{\text{н}} + R_3}.$$

В таком случае

$$0,1R_{\text{н}} + R_3 \approx \frac{1,25U_{\text{мах вых}} R_3}{0,125U_{\text{н}}};$$

$$0,1R_{\text{н}} + R_3 = 10R_3,$$

отсюда $R_3 = 0,011R_{\text{н}}$.

Исходя из полученных соотношений, можно найти ток коллектора насыщенного транзистора VT2:

$$I_{\text{к,нас VT2}} = \frac{E_{\text{п}}}{R_{\text{к2}} + R_{\text{э}}} = \frac{1,25U_{\text{мах вых}}}{(0,1+0,011)R_{\text{н}}} \approx 11,25 \frac{U_{\text{мах вых}}}{R_{\text{н}}}.$$

Далее следует определить требования к транзистору:

- максимально допустимый ток коллектора

$$I_{\text{к,доп}} \geq I_{\text{к,нас VT2}};$$

- максимально допустимое напряжение коллектор-эмиттер

$$U_{\text{к.э.доп VT2}} \geq E_{\text{п}}.$$

Теперь необходимо рассчитать элементы базовой цепи:

$$I_{\text{б}} = \frac{I_{\text{к,нас}}}{\beta} s = \frac{E_{\text{п}}}{R_{\text{б2}} + R_{\text{э}}};$$

$$R_{\text{б2}} = \frac{E_{\text{п}} \beta}{I_{\text{к,нас}} s} - R_{\text{э}};$$

$$U_{\text{э0}} = R_{\text{э}} (I_{\text{к2}} + I_{\text{б2}}) = R_{\text{э}} \left(\frac{E_{\text{п}} - U_{\text{к.э.нас VT2}}}{R_{\text{э}} + R_{\text{к2}}} + \frac{E_{\text{п}} - U_{\text{б.э.нас VT2}}}{R_{\text{э}} + R_{\text{б2}}} \right).$$

Здесь s — коэффициент насыщения (2...4); β — статический коэффициент передачи тока выбранного транзистора в цепь коллектора.

Током базы $I_{\text{б2}}$ и напряжениями насыщения $U_{\text{к.э.нас VT2}}$ и $U_{\text{б.э.нас VT2}}$ можно пренебречь, следовательно, $U_{\text{э0}} \approx U_0$.

Затем можно определить элементы, обеспечивающие работу входной цепи на транзисторе VT1, для этого примем $R_{\text{к1}} \approx 1,5R_{\text{к2}}$, тогда

$$I_{\text{к,нас VT1}} = \frac{E_{\text{п}}}{R_{\text{к1}} + R_{\text{э}}} = \frac{1,25U_{\text{мах вых}}}{1,5 \cdot 0,1R_{\text{н}} + 0,011R_{\text{н}}} = 7,8 \frac{U_{\text{мах вых}}}{R_{\text{н}}};$$

$$I_{\text{бVT1}} = \frac{I_{\text{к,нас VT1}}}{\beta} s;$$

$$R_{\text{б1}} = \frac{E_{\text{п}} \beta}{I_{\text{к,нас VT1}} s} - (R_{\text{э}} \parallel R_{\text{к2}}) \approx \frac{E_{\text{п}} \beta}{I_{\text{к,нас VT1}} s} - R_{\text{э}};$$

$$U_{\text{э1}} = \frac{R_{\text{э}} (E_{\text{п}} - U_{\text{к.э.нас VT1}})}{R_{\text{э}} + R_{\text{к1}}} \approx \frac{R_{\text{э}} E_{\text{п}}}{R_{\text{э}} + R_{\text{к1}}}.$$

Напряжение U_d , формируемое делителем R_1-R_2 , должно обеспечивать режим отсечки транзистора $VT1$ в режиме ожидания и насыщения в процессе формирования импульса:

$$U_{\varepsilon 1} < U_d \leq U_{\varepsilon 0} ;$$

$$U_d = \frac{E_n R_1}{R_1 + R_2} .$$

Длительность импульса определяется постоянной времени цепи перезаряда: $C_r(R_{62} + R_3)$, где R_3 примерно на два порядка меньше, чем R_{62} , поэтому его величиной можно пренебречь, а длительность импульса оценить аналогично схеме на рис. 3.6 (см. п. 3.1) по следующему соотношению: $t_n \approx 0,69 C_r R_{62}$

Симметричный автоколебательный мультивибратор на биполярных транзисторах

Сочетание инвертирующего транзисторного ключа и дифференцирующей цепи обеспечивает под действием запускающего сигнала формирование прямоугольного импульса с длительностью, пропорциональной постоянной времени дифференцирования $\tau_1 = R_{61}C_{r1}$. Подключение к такой схеме аналогичного сочетания ключа и дифференцирующей цепи с постоянной времени $\tau_2 = R_{62}C_{r2}$ приведет к формированию импульса, сдвинутого относительно запускающего (рис. 3.8).

Соединение входа $U_{\text{зап}}$ с выходом Q замыкает цепь положительной обратной связи и приводит к генерации бесконечной последовательности импуль-

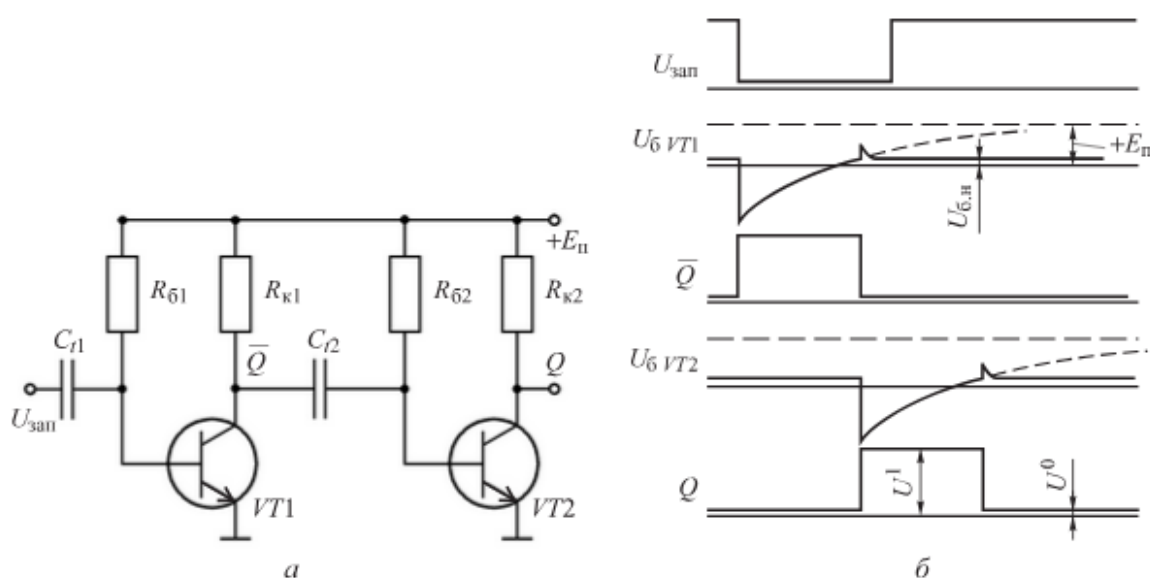


Рис. 3.8. Формирование сдвинутого импульса:

a — схема; *б* — временные диаграммы

сов (рис. 3.9, а). Полученное устройство называют симметричным автоколебательным мультивибратором на биполярных транзисторах (рис. 3.9, б).

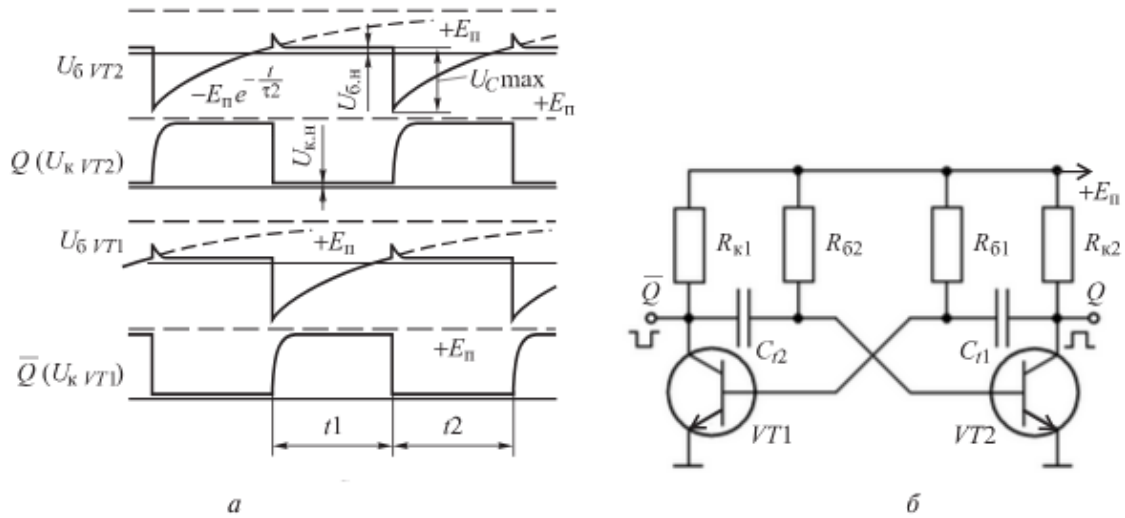


Рис. 3.9. Симметричный автоколебательный мультивибратор:

а — временные диаграммы; б — схема

Напряжение на базе транзистора $VT2$ может быть определено следующим образом:

$$U(t) = U_{б.н VT2} - U_{C_{\max}} e^{-\frac{t}{\tau_2}}.$$

Учитывая, что $U_{б.н VT2} \approx 0$, а $U_{C_{\max}} \approx E_{п}$,

$$U(t) = -E_{п} e^{-\frac{t}{\tau_2}}.$$

Период повторения $T_{п}$ колебаний мультивибратора складывается из двух полупериодов:

$$t_1 = C_{т1} R_{б1} \ln \frac{E_{п} + U_{C_{т1 \max}}}{E_{п}} \approx \tau_1 \ln 2 \approx 0,7 \tau_1;$$

$$t_2 = C_{т2} R_{б2} \ln \frac{E_{п} + U_{C_{т2 \max}}}{E_{п}} \approx \tau_2 \ln 2 \approx 0,7 \tau_2;$$

$$T_{п} = t_1 + t_2 \approx 0,7(C_{т1} R_{б1} + C_{т2} R_{б2}).$$

Для регулировки периода повторения и длительности импульсов необходимо иметь возможность изменять постоянные времени цепей $R_{б1} C_{т1}$ и $R_{б2} C_{т2}$. Для изменения в небольших пределах можно предусмотреть возможность изменения сопротивлений резисторов $R_{б1}$ и $R_{б2}$, включив последовательно до-

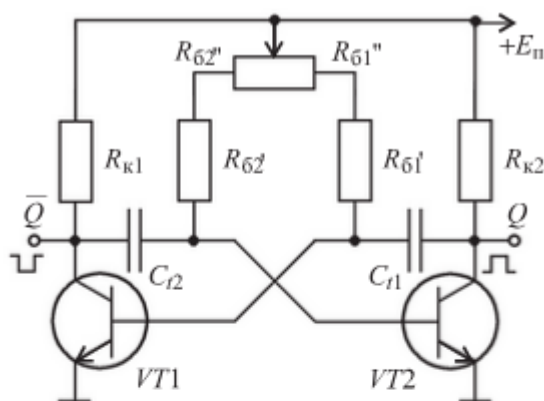


Рис. 3.10. Схема автоколебательно-го мультивибратора с регулировкой скважности

отводы — к резисторам R_{61} и R_{62} . Таким образом, при перемещении движка такого резистора происходит перераспределение значений постоянных времени при неизменной их сумме. Поэтому период повторения импульсов, генерируемых такой схемой, постоянен, а скважность может быть изменена.

полнительные переменные резисторы. Как и в случае со ждущим мультивибратором, изменять их сопротивление в широких пределах нельзя. Для регулирования периода и длительности импульса в широких пределах необходимо изменять емкость конденсаторов C_{r1} и C_{r2} . На рис. 3.10 показан один из способов регулировки временных параметров импульсной последовательности.

В схему включен дополнительный переменный резистор, оказывающий влияние одновременно на обе время-задающие цепи. Его движок подклю-чен к источнику питания, а боковые

Мультивибратор на логических элементах

Автоколебательная схема мультивибратора строится на основе двух инвертирующих логических элементов, соединенных перекрестной цепью положительной обратной связи через дифференцирующие цепи (рис. 3.11, а). При высоком уровне напряжения на выходе элемента $DD1.1$ через его выходное сопротивление и резисторы $R1$ и $R1'$ происходит заряд конденсатора $C1$. Ток заряда создает экспоненциально спадающее напряжение на резисторах $R1 + R1'$, т. е. на входе $DD1.2$. Пока это напряжение выше порога отпирания $DD1.2$, на его выходе будет низкий логический уровень. В это же время конденсатор $C2$

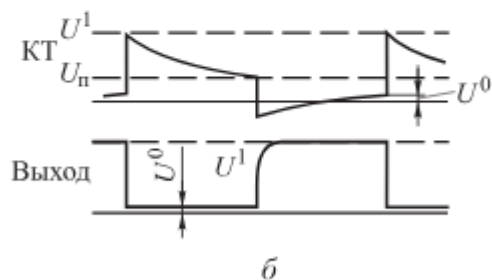
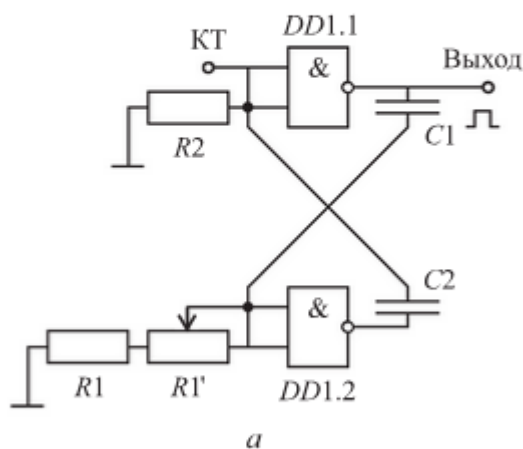


Рис. 3.11. Автоколебательный мультивибратор на логических элементах:
а — схема; б — временные диаграммы