

11.2. МУЛЬТИВИБРАТОРЫ

Мультивибраторы применяются для генерирования прямоугольных импульсов в тех случаях, когда нет жестких требований к их длительности и частоте повторения.

Мультивибраторы на дискретных элементах. Схема простейшего автоколебательного мультивибратора на транзисторах приведена на рис. 11.1, а. Он представляет

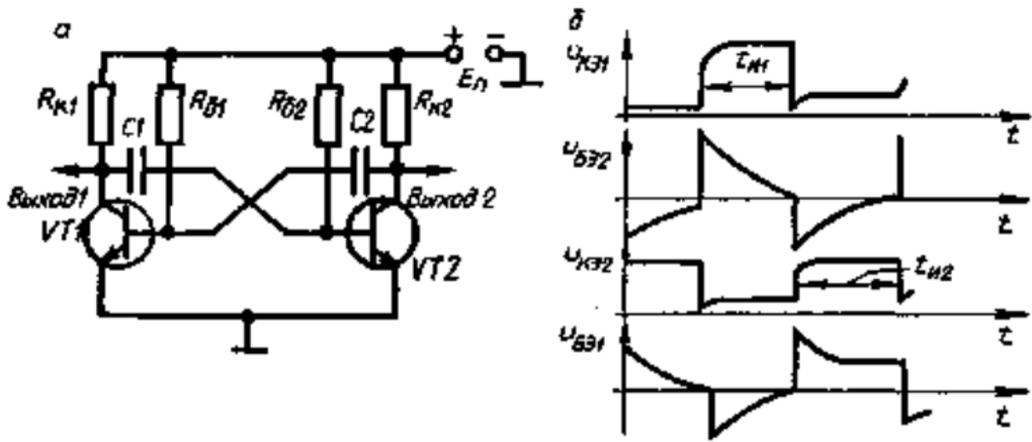


Рис. 11.1. Схема мультивибратора с коллекторно-базовыми связями (а) и графики напряжений на электродах транзисторов (б)

собой двухкаскадный усилитель с положительной ОС, замкнутый в кольцевую схему: выход первого усилителя соединен со входом второго, а выход второго — со входом первого. Если $R_{к1} = R_{к2}$, $R_{б1} = R_{б2}$ и $C1 = C2$, то мультивибратор называют симметричным.

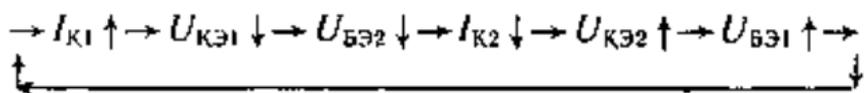
При подключении источника питания токи проходят через оба транзистора VT1 и VT2. Одновременно начинается зарядка конденсаторов C1 и C2. Напряжения на конденсаторах u_C и u_{C2} нарастают по экспоненциальному закону.

По мере увеличения коллекторных токов транзисторов

повышаются и коэффициенты усиления плеч (т. е. первого и второго усилительных каскадов) мультивибратора. Пока $\beta K < 1$ (β — коэффициент передачи цепи положительной ОС; K — коэффициент усиления), происходит увеличение коллекторных токов обоих транзисторов и увеличение напряжений u_{C1} и u_{C2} . Мультивибратор работает как двухкаскадный усилитель с положительной ОС.

Вследствие даже незначительной асимметрии плеч мультивибратора, вызванной разбросом параметров транзисторов, резисторов и конденсаторов, коллекторный ток одного транзистора окажется больше по сравнению с коллекторным током другого транзистора. При $\beta K > 1$ это приведет к возникновению регенеративного процесса. Действительно, пусть коллекторный ток I_{K1} транзистора $VT1$ будет больше коллекторного тока I_{K2} транзистора $VT2$. Это вызовет уменьшение коллекторного напряжения транзистора $VT1$, которое передается через конденсатор $C1$ на базу транзистора $VT2$ и приводит к уменьшению коллекторного тока I_{K2} этого транзистора. Уменьшение тока I_{K2} сопровождается увеличением коллекторного напряжения транзистора $VT2$, которое через конденсатор $C2$ передается на базу транзистора $VT1$ и приводит к еще большему увеличению коллекторного тока I_{K1} , уменьшению коллекторного напряжения транзистора $VT1$ и т. д.

Рассмотренный процесс можно более кратко представить в виде такой символической записи:



Процесс увеличения коллекторного тока I_{K1} и уменьшения коллекторного тока I_{K2} вследствие действия положительной ОС носит лавинообразный характер и заканчивается переходом транзистора $VT1$ в режим насыщения, а транзистора $VT2$ — в режим отсечки.

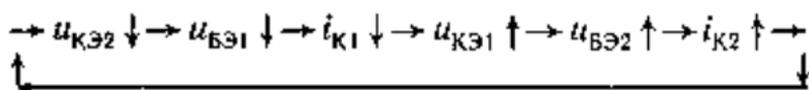
При открытом и насыщенном транзисторе $VT1$ конденсатор $C1$ оказывается подключенным через малое сопротивление $r_{KЭ1}$ между базой и эмиттером транзистора $VT2$. При этом отрицательное напряжение $u_{БЭ2} = -u_{C1}$ поддерживает транзистор $VT2$ в закрытом состоянии. В таком состоянии, которое называется временно устойчивым или квазиравновесным, мультивибратор будет находиться в течение времени, определяемого перезарядкой конденсатора $C1$ по цепи:

$+E_n \rightarrow R_{\text{с}2} \rightarrow \text{С1} \rightarrow$ коллектор — эмиттер $VT1 \rightarrow -E_n$.
 В это же время происходит зарядка конденсатора $C2$ по цепи:

$+E_n \rightarrow R_{\text{к}2} \rightarrow \text{С2} \rightarrow$ база — эмиттер $VT1 \rightarrow -E_n$.

Обычно элементы $R_{\text{к}}$ и $R_{\text{б}}$ выбирают так, чтобы процесс зарядки конденсатора протекал быстрее, чем процесс их перезарядки. Поэтому конденсатор $C2$ успеет зарядиться до значения коллекторного напряжения закрытого транзистора $VT2$, которое примерно равно $+E_n$. После окончания зарядки $C2$ транзистор $VT1$ будет удерживаться в режиме насыщения за счет протекания тока базы $I_{\text{Б1}} = I_{\text{Б макс}} = E_n / R_{\text{б1}}$.

По мере перезарядки конденсатора $C1$ напряжение $u_{\text{с1}}$ увеличивается и в некоторый момент достигает нулевого значения. С этого момента транзистор $VT2$ начнет открываться, его коллекторное напряжение $u_{\text{кэ}2}$ уменьшается и в мультивибраторе замыкается цепь ПОС, вызывающая лавинообразный процесс изменений токов и напряжений:



Этот процесс заканчивается запирающим транзистора $VT1$ и переходом в режим насыщения транзистора $VT2$.

Мультивибратор переходит во второе квазиустойчивое состояние равновесия, в котором начинается зарядка конденсатора $C1$ по цепи:

$+E_n \rightarrow R_{\text{к1}} \rightarrow \text{С2} \rightarrow$ база — эмиттер $VT2 \rightarrow -E_n$

и перезарядка конденсатора $C2$ по цепи:

$+E_n \rightarrow R_{\text{б1}} \rightarrow \text{С2} \rightarrow$ коллектор — эмиттер $VT2 \rightarrow -E_n$.

Транзистор $VT1$ будет поддерживаться в закрытом состоянии напряжением $u_{\text{с2}}$, которое подключается через малое сопротивление $r_{\text{кэ}2}$ между его базой и эмиттером минусом к базе. Такое квазиустойчивое состояние будет сохраняться до тех пор, пока напряжение $u_{\text{с2}}$ не достигнет нулевого значения. С этого момента начнет развиваться новый лавинообразный процесс изменений токов и напряжений, который приведет к отпиранию транзистора $VT1$ и запирающему $VT2$.

Графики изменений коллекторных и базовых напряжений мультивибратора показаны на рис. 11.1, б.

Время закрытого состояния транзистора $VT1$ или длительность положительного импульса, снимаемого с выхода I , определяется перезарядкой конденсатора $C2$ и рассчитывается по приближенной формуле:

$$t_{н1} \approx C2R_{61} \ln 2 \approx 0,7C2R_{61}. \quad (11.1)$$

Аналогично

$$t_{н2} \approx C1R_{62} \ln 2 \approx 0,7C1R_{62}. \quad (11.2)$$

Период повторения

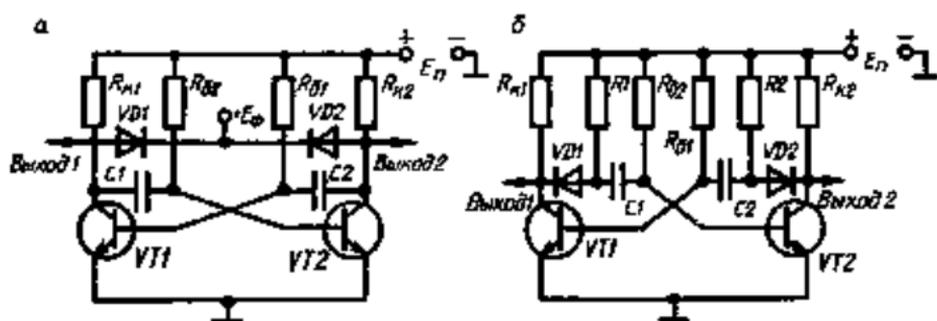
$$T = t_{н1} + t_{н2} = 0,7(C1R_{62} + C2R_{61}). \quad (11.3)$$

В симметричном мультивибраторе при $C1 = C2 = C$ и $R_{61} = R_{62} = R_6$:

$$t_{н1} = t_{н2} = 0,7CR_6; \quad T \approx 1,4CR_6.$$

Мультивибратор, схема которого показана на рис. 11.1, *a*, называют мультивибратором с коллекторно-базовыми связями и положительной базой. Если резисторы R_{61} и R_{62} включить между базами транзисторов и отрицательным полюсом источника E_n , то получится мультивибратор с коллекторно-базовыми связями и нулевой базой. Он обладает меньшей стабильностью длительности и периода повторения импульсов.

Для улучшения формы импульсов в мультивибратор вводят фиксирующие (рис. 11.2, *a*) или отсекающие (рис. 11.2, *б*) диоды. В мультивибраторе с фиксирую-



11.2. Схемы мультивибраторов с коллекторно-базовыми связями с фиксирующими (*a*) и отсекающими (*б*) диодами

щими диодами коллекторное напряжение увеличивается не до уровня E_n , а до уровня $E_\phi < E_n$. При $U_{кэ} = E_\phi$ соответствующий диод открывается и коллекторное напряжение фиксируется на этом уровне. Этим достигается уменьшение длительности фронта выходных импульсов.

Отсекающие диоды отключают закрывшийся транзистор от цепи зарядки конденсатора $C1$ или $C2$. Поэтому коллекторное напряжение оказывается не зависящим от напряжения на подключенном к нему конденсаторе, что приводит к увеличению крутизны фронта и среза импульсов.

Мультивибраторы на ИМС. Мультивибраторы, в которых используется рассмотренный принцип работы, выпускаются и в интегральном исполнении (например, К119ГГ1, КР119ГГ1). Недостатком интегральных мультивибраторов является потребность в конденсаторах большой емкости, которые трудно изготавливать. Поэтому в таких мультивибраторах используются навесные конденсаторы, подключаемые к соответствующим выводам ИМС.

Каждое плечо мультивибратора можно рассматривать как транзисторный ключ или логический элемент И — НЕ. Это позволяет выполнять мультивибраторы на базе логических элементов.

Мультивибратор на двухвходовых ЛЭ И — НЕ (рис. 11.3) работает следующим образом.

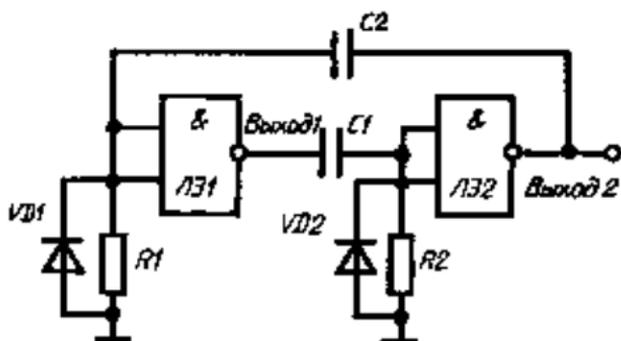


Рис. 11.3. Схема мультивибратора на логических элементах И — НЕ

Предположим, что ЛЭ1 закрыт, а ЛЭ2 открыт. Тогда на *выходе 1* высокий уровень напряжения (логическая единица) и конденсатор $C1$ заряжается через резистор $R2$. Напряжение u_{R2} , создаваемое на резисторе $R2$, поддерживает ЛЭ2 в открытом состоянии до тех пор, пока $u_{R2} > U_{пор}^1$. Пока идет зарядка конденсатора $C1$, конденсатор $C2$ успевает практически полностью разрядиться через выходное сопротивление $R_{вых}^0$ открытого ЛЭ2 и диод $VD1$.

Когда напряжение на резисторе $R2$ достигнет порогового, ЛЭ2 начнет закрываться. Увеличение напряжения на *выходе 2* через конденсатор $C2$ будет передано на вход ЛЭ1 и вызовет его отпирание. При этом произойдет уменьшение напряжения на *выходе 1*, которое через кон-

денсатор $C1$ будет передано на вход ЛЭ2 и приведет к дальнейшему уменьшению протекающего через него тока. Таким образом, замыкается петля положительной ОС и происходит «опрокидывание» (т. е. переход из одного квазиравновесного состояния в другое) мультивибратора. После опрокидывания ЛЭ1 окажется открытым, а ЛЭ2 — закрытым. Начнется зарядка конденсатора $C2$ и разрядка конденсатора $C/$.

На рис. 11.4, *a* приведена схема мультивибратора на операционном усилителе (ОУ). Рассмотрим его работу.

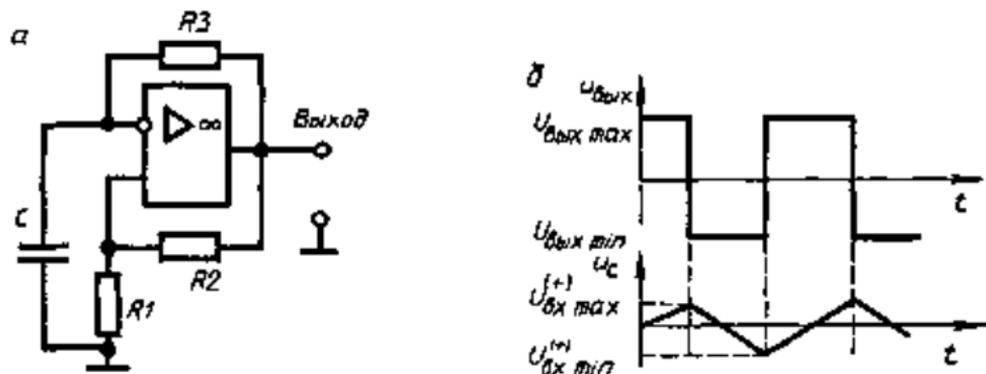


Рис. 11.4. Схема мультивибратора на ОУ (*a*) и графики изменений напряжений на конденсаторе и выходе мультивибратора (*б*)

В момент подключения мультивибратора к источникам питания $u_c = U_{\text{вх}}^{(-)} = 0$, а состояние ОУ является неопределенным. Предположим, что в этот момент $u_{\text{вых}} = U_{\text{вых max}}$. Следовательно, на неинвертирующем входе ОУ действует положительное напряжение $U_{\text{вх max}}^{(+)} = U_{\text{вых max}} \cdot R1 / (R1 + R2)$, а конденсатор C заряжается через резистор $R3$. При увеличении напряжения на конденсаторе до значения, близкого к $U_{\text{вх max}}^{(+)}$, ОУ выходит из режима насыщения, вступает в действие положительная ОС и начинается лавинообразный процесс переключения («опрокидывания»), в результате которого на выходе ОУ устанавливается минимальный нижний уровень напряжения $u_{\text{вых}} = U_{\text{вых min}}$, и напряжение на неинвертирующем входе принимает значение $U_{\text{вх min}}^{(+)} = U_{\text{вых min}} \cdot R1 / (R1 + R2)$. Конденсатор C начинает перезаряжаться через резистор $R3$. При уменьшении напряжения u_c до значения, близкого к $U_{\text{вх min}}^{(+)}$, происходит «обратное опрокидывание» и т. д.

Графики выходного напряжения и напряжения на конденсаторе, иллюстрирующие работу мультивибратора, показаны на рис. 11.4, *б*.