

12.2. СИММЕТРИЧНЫЙ ТРИГГЕР НА БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРАХ С КОЛЛЕКТОРНО-БАЗОВЫМИ СВЯЗЯМИ

Установление исходного состояния. Принципиальная схема симметричного транзисторного триггера с коллекторно-базовыми связями приведена на рис. 12.1, а,

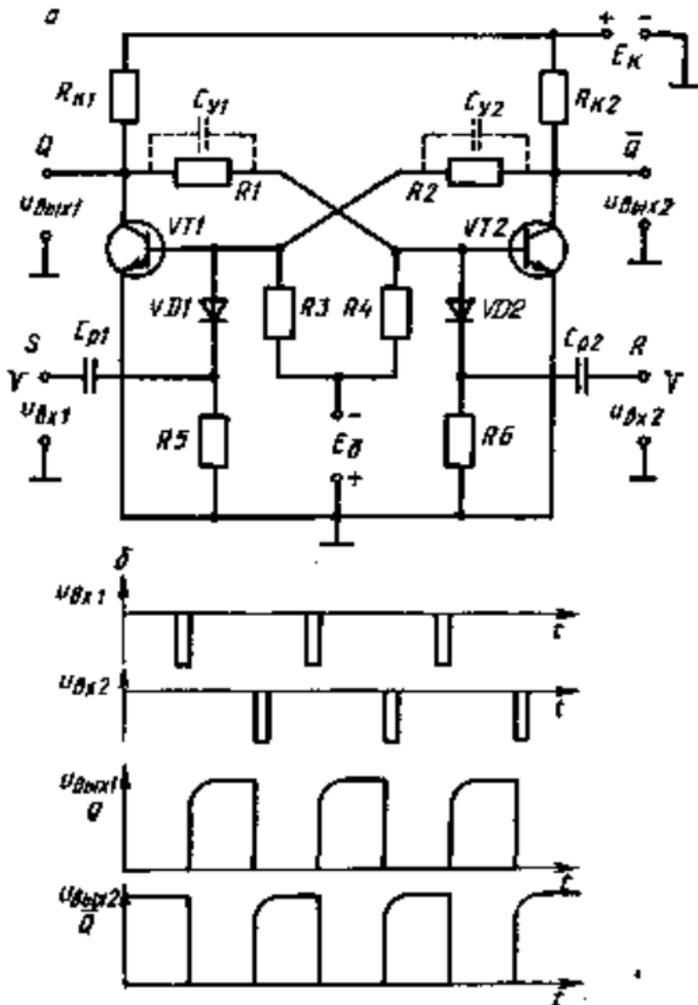


Рис. 12.1. Схема симметричного триггера с коллекторно-базовыми связями (а) и графики напряжений на его входах и выходах (б)

а его временные диаграммы — на рис. 12.1, б. Из симметрии схемы триггера не следует, что электрические режимы обоих транзисторов одинаковы. Если даже допустить, что после подачи напряжений источников E_K и E_{δ} на триггер оба транзистора $VT1$ и $VT2$ оказались открытыми, то вследствие даже незначительного отличия параметров элементов первого и второго плеч появятся различия в коллекторных токах и напряжениях, которые благодаря действию положительной ОС будут увеличиваться до тех пор, пока один из транзисторов не закроется, а другой не перейдет в режим насыщения. Действительно, предположим, что при открытых транзисторах $VT1$ и $VT2$ коллекторный ток i_{K1} транзистора $VT1$ оказался больше, чем коллекторный ток i_{K2} транзистора $VT2$. Это приведет к понижению коллекторного напряжения $u_{KЭ1}$ первого транзистора по сравнению с коллекторным напряжением

$u_{кэ2}$ второго транзистора. Уменьшение $u_{кэ1}$ через делитель $R1R4$ поступает на базу транзистора $VT2$ и приводит к еще большему уменьшению тока $i_{к2}$ и увеличению напряжения $u_{кэ2}$. Увеличение напряжения $u_{кэ2}$ сколлектора $VT2$ через делитель $R2R3$ передается на базу транзистора $VT1$ и вызывает дальнейшее увеличение его коллекторного тока $i_{к1}$ и уменьшение коллекторного напряжения $u_{кэ1}$. Таким образом, положительная ОС вызывает лавинообразный процесс изменения токов и напряжений транзисторов, приводящий к полному отпиранию и переходу в режим насыщения одного транзистора ($VT1$) и запиранию (переходу в режим отсечки) другого ($VT2$) транзистора. Переход закрывающегося транзистора в режим отсечки обеспечивается наличием дополнительного источника E_6 .

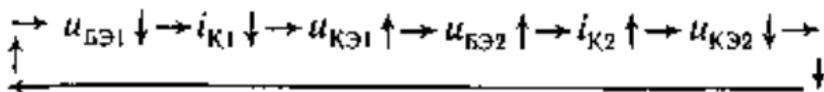
Делители $R1R4$ и $R2R3$, передавая изменения коллекторных напряжений на базы транзисторов, имеют коэффициенты передачи

$$\frac{R4}{R1 + R4} < 1 \text{ и } \frac{R3}{R2 + R3} < 1.$$

Чтобы изменения коллекторных напряжений передавались на базы без ослабления, резисторы $R1$ и $R2$ иногда шунтируют конденсаторами небольшой емкости C_{y1} и C_{y2} , которые называются *ускоряющими*. Ускоряющие конденсаторы повышают скорость нарастания лавинообразных процессов и надежность запуска триггера импульсами малой длительности и амплитуды.

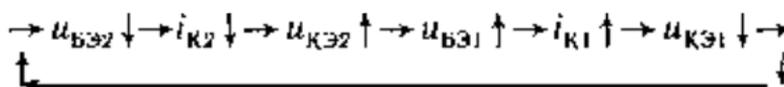
Принципы работы. На рис. 12.1, б приведены временные диаграммы триггера при отдельном запуске. Если после подачи напряжений E_k и E_6 транзистор $VT1$ оказался в режиме насыщения, а транзистор $VT2$ — в режиме отсечки, то первый отрицательный импульс, поступивший на базу $VT1$, вызывает уменьшение тока $i_{к1}$ и увеличение напряжения $u_{кэ1}$. Скачок напряжения $u_{кэ1}$ через элементы C_{y1} и $R4$ поступает на базу транзистора $VT2$.

Это приводит к увеличению тока $i_{к2}$ и уменьшению напряжения $u_{кэ2}$, которое передается через элементы C_{y2} и $R3$ на базу $VT1$. Рассмотренный процесс можно отобразить следующей символической записью:



В результате действия положительной ОС транзистор $VT1$ запирается, а транзистор $VT2$ отпирается и пере-

дится в режим насыщения. Такое состояние триггера сохраняется до прихода отрицательного импульса на базу транзистора VT_2 (второй вход). Уменьшение напряжения $u_{БЭ2}$ вызывает уменьшение тока $i_{К2}$ и увеличение напряжения $u_{КЭ2}$. Создаются условия для нового срабатывания триггера. Символическая запись протекающих при этом процессов имеет вид:



Транзистор VT_1 открывается и переходит в режим насыщения, а транзистор VT_2 запирается. В таком состоянии триггер будет находиться до поступления на первый вход следующего отрицательного импульса, который вызовет его «опрокидывание» в первое устойчивое состояние, и т. д.

Состояния триггера. Напряжения на коллекторах транзисторов служат выходными сигналами триггера. Из приведенных графиков и принципа работы следует, что уровни сигналов на выходах являются взаимно инверсными и по состоянию одного выхода можно судить о состоянии другого. Один из выходов называют *прямым* и обозначают буквой Q . Другой выход — *инверсный* — обозначается \bar{Q} . В силу симметрии схемы прямым или инверсным может быть назначен любой выход триггера.

Состояние триггера называют *единичным*, если на прямом выходе имеется уровень напряжения, соответствующий логической единице, а на инверсном — логическому нулю, т. е. при $Q = 1$, $\bar{Q} = 0$.

Вход, на который подается сигнал, устанавливающий триггер в состояние 1 , обозначают буквой S . Вход, на который поступает сигнал, устанавливающий триггер в состояние 0 ($Q = 0$, $\bar{Q} = 1$), обозначают R (от англ. set — установка и reset — сброс). Такой триггер с отдельным запуском получил название RS -триггера.

В рассмотренном триггере (рис. 12.1, а) управление состояниями триггера от источников входных сигналов осуществляется через RC -цепи $C_{p1}R_5$ и $C_{p2}R_6$. Следовательно, запуск и опрокидывание осуществляются короткими импульсами, которые могут быть сформированы в моменты перепадов напряжений и не зависят от установившихся уровней напряжений. Такой триггер называют триггером с *динамическими входами*. Если входы триггера связаны с источниками сигналов гальваническими связями, то запуск и опрокидывание триггера будут опреде-

ляться уровнями напряжений независимо от их формы. Такие входы называют *статическими*.

Интегральный $\bar{R}\bar{S}$ -триггер. Интегральный $\bar{R}\bar{S}$ -триггер (рис. 12.2) отличается от рассмотренного отсутствием источника смещения E_6 , наличием схем «И» на одном из входов и эмиттерного повторителя на выходе.

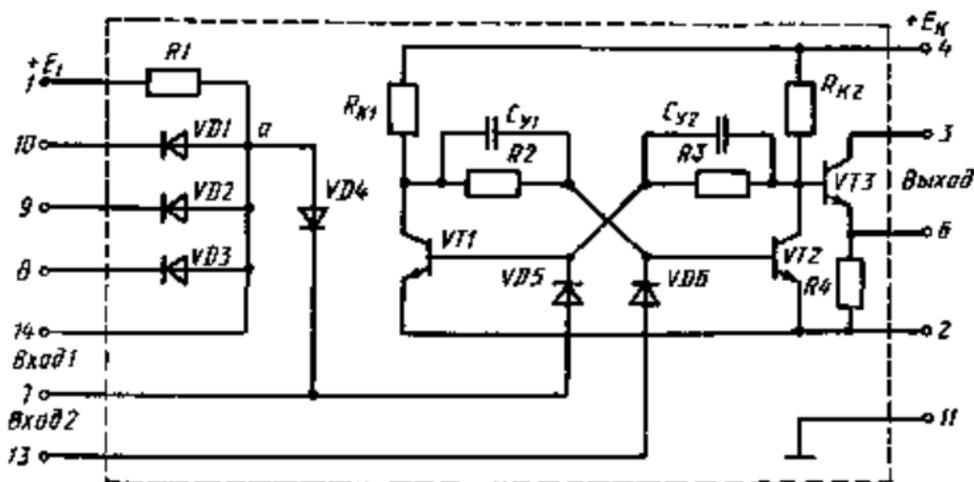


Рис. 12.2. Схема интегрального $\bar{R}\bar{S}$ -триггера типа 221TP1

Источник смещения E_6 служит для поддержания одного из транзисторов в закрытом состоянии. Поскольку у интегральных планарно-эпитаксиальных кремниевых транзисторов, находящихся в режиме насыщения, падение напряжения между коллектором и эмиттером составляет сотые доли вольта, то второй транзистор, подключенный базой к коллектору насыщенного транзистора, будет находиться в закрытом состоянии и без дополнительного источника E_6 . Эмиттерный повторитель на транзисторе $VT3$ служит для улучшения согласования триггера с нагрузкой.

Триггер со счетным запуском. Рассмотренные триггеры имеют два входа. Эти входы можно объединить так, как показано на рис. 12.3, а.

Принцип работы триггера следующий. Предположим, что до прихода положительных импульсов на вход транзистор $VT1$ закрыт, а транзистор $VT2$ открыт. По этой причине потенциал катода диода $VD1$ оказывается более низким, чем потенциал катода диода $VD2$, и первый входной положительный импульс создает прямой ток диода $VD1$, больший, чем у диода $VD2$. Прямой ток диода $VD1$ создает ток базы транзистора $VT1$. Транзистор $VT1$ открывается, а транзистор $VT2$ в результате возникшего

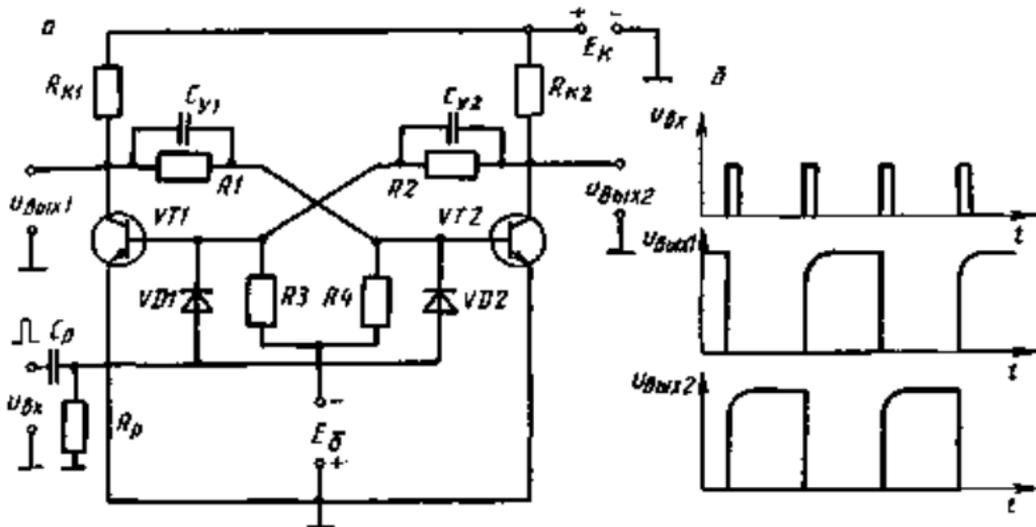


Рис. 12.3. Схема триггера со счетным запуском (а) и графики напряжений на его входе и выходах (б)

регенеративного процесса закрывается. Второй входной положительный импульс возвращает триггер в первоначальное состояние и т. д. На выходах триггера образуются прямоугольные импульсы, длительность которых равна периоду повторения входных импульсов. Частота выходных импульсов триггера вдвое меньше частоты входных импульсов (рис. 12.3, б).

Триггер с одним входом называют триггером со счетным запуском или Т-триггером. Т-триггеры применяются для деления частоты повторения импульсов, построения счетчиков и других устройств цифровой техники.

Несимметричный триггер с эмиттерной связью. Кроме рассмотренных триггеров с коллекторно-базовыми связями, широкое применение получил триггер с эмиттерной связью. По принципу построения это — несимметричный триггер, в котором одна коллекторно-базовая связь заменена эмиттерной связью, осуществляемой через резистор R_3 в эмиттерной цепи транзисторов (рис. 12.4, а). Данный триггер имеет два устойчивых состояния. Рассмотрим его работу при поступлении на вход синусоидального напряжения (рис. 12.4. б).

При действии отрицательной полуволны входного напряжения транзистор $VT1$ закрыт, а транзистор $VT2$ открыт и насыщен. На резисторе R_3 эмиттерным током $I_{э2}$ транзистора $VT2$ создается падение напряжения

$$U_{э2} = I_{э2} R_3 \approx E_k \frac{R_3}{R_3 + R_{к2}}$$

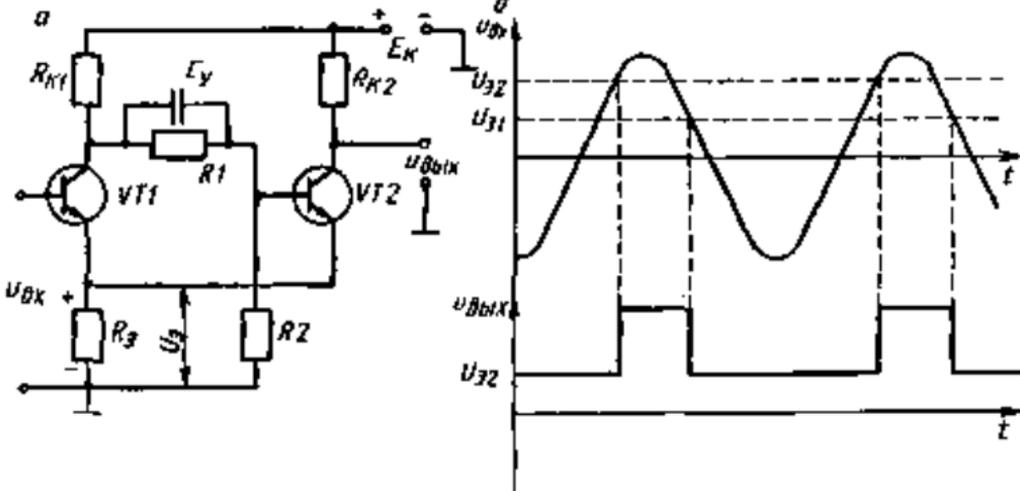


Рис. 12.4. Схема несимметричного триггера с эмиттерной связью (а) и графики напряжений на его входе и выходе (б)

Когда уровень входного напряжения достигнет значения $U_{з2}$, транзистор $VT1$ начнет открываться и через него потечет коллекторный ток $i_{к1}$. Замкнется петля положительной ОС и начнется первое «опрокидывание»:

$$\rightarrow i_{к1} (i_{э1}) \uparrow \rightarrow u_{кэ1} \downarrow \rightarrow u_{бэ2} \downarrow \rightarrow i_{э2} \downarrow \rightarrow U_э \downarrow \rightarrow u_{бэ1} \uparrow \rightarrow$$

В результате первого «опрокидывания» транзистор $VT1$ откроется и войдет в режим насыщения, а транзистор $VT2$ закроется. На резисторе R_3 эмиттерным током транзистора $VT1$ будет создаваться напряжение

$$U_{э1} = I_{э1} R_3 \approx E_k \frac{R_3}{R_3 + R_{к1}}$$

Обычно выбирают $R_{к1} > R_{к2}$. Поэтому $i_{э1} < i_{э2}$ и $U_{э1} < U_{э2}$.

Когда входное напряжение уменьшится до значения $U_{з1}$, транзистор $VT1$ начнет выходить из режима насыщения и его коллекторный и эмиттерный токи будут уменьшаться. Начнется второе «опрокидывание»:

$$\rightarrow i_{к1} (i_{э1}) \downarrow \rightarrow u_{кэ1} \uparrow \rightarrow u_{бэ2} \uparrow \rightarrow i_{э2} \uparrow \rightarrow U_э \uparrow \rightarrow u_{бэ1} \downarrow \rightarrow$$

В результате транзистор $VT1$ закроется, а транзистор $VT2$ откроется.

Несимметричный триггер с эмиттерной связью является транзисторным вариантом триггера Шмитта. Он, как и рассмотренные в § 11.6 триггеры Шмитта на интегральных

ОУ, обладает гистерезисной передаточной характеристикой (см. рис. 11.20—11.23). Передаточную характеристику с гистерезисом иногда называют релейной, так как срабатывание и отпусkanie электромагнитного реле тоже происходит при разных уровнях напряжений.