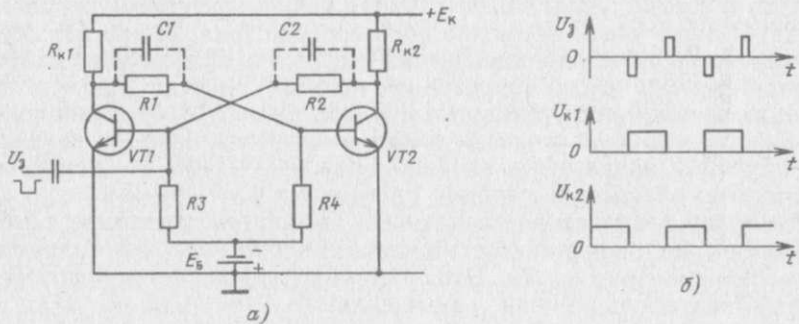


Рис. 12.20. Схема (а) и потенциальные диаграммы (б) триггера с независимым смещением



Триггер представляет собой переключательное устройство, которое сколь угодно долго сохраняет одно из двух состояний устойчивого равновесия и скачкообразно переключается по сигналу извне из одного состояния в другое. Выполняется преимущественно на полупроводниковых приборах (в том числе на ИС); применяется главным образом в вычислительных машинах и устройствах автоматики.

По признаку подачи смещающего напряжения все схемы триггеров можно разделить на два класса: триггеры с независимым и зависимым, или автоматическим смещением. На рис. 12.20, а приведена простейшая схема триггера с независимым смещением. Как видно из схемы, триггер представляет собой двухкаскадный усилитель, каждый каскад которого работает в режиме транзисторного ключа. Если оба каскада собраны на элементах с одинаковыми параметрами ($R_{к1} = R_{к2}$; $R_1 = R_2$; $R_3 = R_4$), то такой триггер называется симметричным. Если каскады отличаются параметром хотя бы одного элемента или собраны на разнотипных транзисторах, то такой триггер называется несимметричным. Оба каскада в триггере охвачены положительной обратной связью. Выход первого

каскада через резистор $R1$ соединен со входом второго, а выход второго — через резистор $R2$ соединен со входом первого. Каждый каскад работает по схеме с ОЭ. Резисторы $R3$ и $R4$ служат для ограничения тока базы источника E_6 .

С включением напряжений E_k и E_6 ток проводит только один из транзисторов, другой будет закрыт по базе работающим транзистором, с коллектора которого снимается потенциал насыщенного транзистора $U_{кн}$, близкий к нулю. Поскольку схема симметрична, то находится в состоянии «открыто» (насыщение) может любой из транзисторов с равной вероятностью. Для определенности допустим, что транзистор $VT1$ открыт, а $VT2$ закрыт. Потенциалы относительно «земли» на коллекторе, базе и эмиттере примерно одинаковы и равны нулю: $U_k = U_{61} = U_{31} = 0$. Транзистор $VT2$ закрыт отрицательным потенциалом U_{62} . Через цепь база-эмиттер транзистора $VT2$ под действием запирающего напряжения E_6 проходит ток $I_{62} = -I_{к0}$, где $I_{к0}$ — обратный ток коллекторного перехода. Открытое состояние транзистора $VT2$ поддерживается током $I_{61} = E_k/R_2$. Такое состояние может быть сколь угодно долго. С поступлением на базу транзистора $VT1$ запирающего импульса отрицательной полярности и амплитудой примерно равной или большей $+E_k$ транзистор $VT1$ начинает закрываться, при этом запирающий потенциал на базе транзистора $VT2$ уменьшается из-за появления положительного потенциала на коллекторе транзистора $VT1$. Транзистор $VT2$ начинает открываться, и на его коллекторе потенциал понижается. Это понижение передается через цепь обратной связи $R2$ на базу транзистора $VT1$, который еще больше начинает закрываться и т. д. Развивается лавинный процесс. В результате транзистор $VT1$ полностью закрывается, а транзистор $VT2$ открывается. Устанавливается новое устойчивое состояние. Исходное состояние триггера наступит с приходом открывающего (положительного) импульса на базу транзистора $VT1$. Перевод триггера из одного состояния в другое (запуск триггера) разнополярными импульсами запуска U_3 можно осуществлять по одной из баз или по одному из коллекторов. Такой запуск называется раздельным. Существует также счетный запуск — это когда однополярные импульсы подаются сразу на два электрода: на два коллектора либо две базы. Счетный запуск применяется в триггерных счетчиках импульсов (см. гл. 13).

На рис. 12.21 представлена схема триггера с автоматическим смещением. Смещение в такой схеме вырабатывается автоматически на резисторе R_3 . На нем создается падение напряжения от прохождения тока открытого транзистора. Автоматическое смещение сильно зависит от температуры и случайных изменений питающего напряжения E_k , поэтому такой триггер еще называют с зависимым смещением.

Для ускорения процесса опрокидывания параллельно резисторам $R1$ и $R2$ иногда включает конденсаторы $C1$ и $C2$, действие которых описано применительно к рис. 12.19.

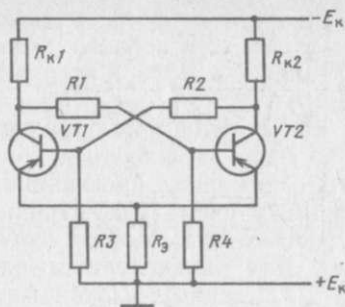


Рис. 12.21. Схема триггера с автоматическим (зависимым) смещением

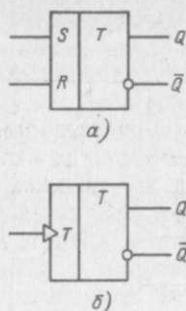


Рис. 12.22. Условное обозначение SR-триггера (а) и T-триггера (б)

Триггер с отдельным запуском иначе называется *RS*-триггером. Название происходит от начальных букв английских слов *set* — установка в «1» и *reset* — сброс в «0». Условное обозначение *RS*-триггера дано на рис. 12.22, а. Триггер со счетным входом условно называется *T*-триггером. Его работа в качестве счетчика импульсов описывается в гл. 13. Название произошло от начальной буквы английского слова *tumble* — опрокидываться.

В обоих обозначениях триггера Q и \bar{Q} соответственно означают прямой и инверсный выходы, т. е. логические уровни напряжений на этих выходах взаимно обратны: если, например, выход Q соответствует большому потенциалу, то \bar{Q} — меньшему, и наоборот. При этом на прямом выходе логический сигнал считается активным при наличии лог. 1, а на инверсном выходе при наличии лог. 0. Следует отметить, что рассмотренные схемы триггеров, по существу, представляют собой два взаимодействующих электронных ключа. Используя электронные ключи с несколькими входами для запускающих сигналов, можно реализовать работу различных триггеров. Транзисторные ключи интегрального исполнения транзисторно-транзисторной логики (ТТЛ, см. § 13.2) позволяют реализовать работу рассмотренных выше *RS*- и *T*-триггеров. Существуют и другие типы триггеров, которые можно получить из ТТЛ ИС, например *D*-триггер, который подробно будет рассмотрен в гл. 13.

Мультивибратор — это электронное устройство, состоящее из двух транзисторных ключей, охваченных положительной обратной связью, и преобразующее постоянный ток источника питания в импульс тока. Форма импульса близка к прямоугольной, а длительность определяется процессом релаксации *RC*-цепи. По способу возбуждения мультивибраторы могут быть с самовозбуждением и с посторонним возбуждением. Последние называются *одновибраторами* или *ждущими мультивибраторами*.

Слово мультивибратор произошло от латинского слова *multum* — много и *vibrare* — колебаться. На рис. 12.23, а приведена простей-

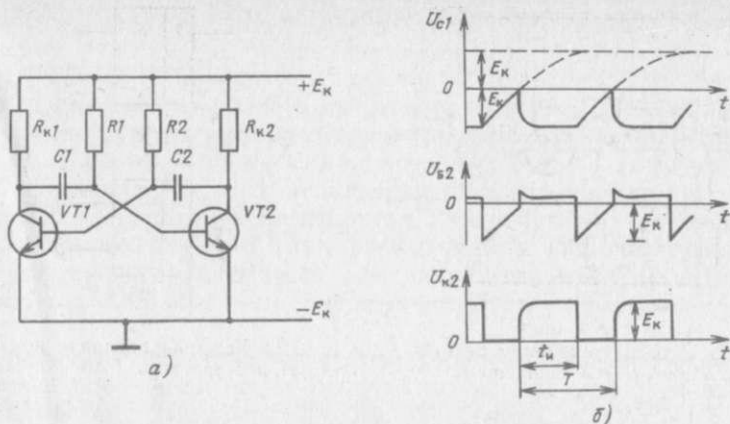


Рис. 12.23. Схема (а) и потенциальные диаграммы (б) мультивибратора с самовозбуждением

шая схема мультивибратора, работающего с самовозбуждением, а на рис. 12.23, б даны его потенциальные диаграммы. Для симметричного ($R_{к1} = R_{к2}$, $C_1 = C_2$, $R_1 = R_2$) мультивибратора с включением источника питания E_k любой из транзисторных ключей может быть открытым, а другой — закрытым. Допустим, что открыт транзистор VT_1 , а закрыт транзистор VT_2 . Открытое состояние транзистора VT_1 поддерживается положительным потенциалом левой пластины конденсатора C_2 ; закрытое состояние транзистора VT_2 — отрицательным потенциалом правой пластины C_1 . Одновременно происходят два релаксационных процесса: разряд конденсатора C_1 и заряд конденсатора C_2 . Разряд C_1 осуществляется по цепочке $+E_k R_1 C_1$, сопротивление открытого транзистора $r_{эк}$, $-E_k$, заряд конденсатора C_2 по цепочке $+E_k R_{к2} C_2$, сопротивление $r_{эб}$ открытого перехода транзистора VT_1 , $-E_k$. Поскольку обычно $R_1 = R_2 \gg R_{к1} = R_{к2}$, время разряда τ_p всегда больше времени заряда τ_3 , поэтому длительность импульса мультивибратора определяется приближительной формулой [полученной вычислениями по (12.9)]:

$$t_n = 0,7 R_1 C_1, \quad (12.11)$$

а период

$$T = 0,7 R_1 C_1 + 0,7 R_2 C_2 = 1,4 RC, \quad (12.12)$$

где $C_1 = C_2 = C$, $R_1 = R_2 = R$. По истечении времени разряда происходит лавинный процесс, в результате которого транзистор VT_1 закрывается, а VT_2 откроется. Роли конденсаторов меняются: через C_2 происходит разряд, а через C_1 — заряд.

Ждущий мультивибратор. Работу мультивибратора в ждущем режиме можно получить из схемы рис. 12.23, а. Для этого на одну из баз транзисторов, например на базу транзистора VT_1 (рис. 12.24, а), через ограничивающий резистор R_2 надо подать

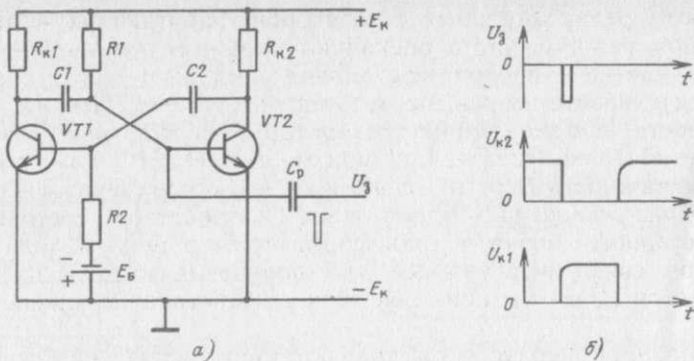


Рис. 12.24. Схема (а) и потенциальные диаграммы (б) ждущего мультивибратора

запирающее напряжение E_6 . Транзистор $VT1$ будет закрыт, а транзистор $VT2$ открыт. Открытое состояние транзистора $VT2$ будет поддерживаться положительным потенциалом правой пластины конденсатора $C1$, значение которого близко потенциалу «земли», так как транзистор $VT2$ находится в насыщении. Такое состояние может продолжаться сколь угодно долго. С приходом пускового сигнала U_3 отрицательной полярности на базу транзистора $VT2$ последний закрывается, а транзистор $VT1$ открывается положительным потенциалом, снимаемым с коллектора $VT2$ и поступающим на базу $VT1$ через конденсатор $C1$. Такое состояние называется квазиустойчивым, т. е. непродолжительным, и определяется временем перезаряда конденсатора $C1$ через $R1$ и открытый транзистор $VT1$. Цепь $C1R1$ называется времязадающей, так как определяет длительность импульса $t_n \approx 0,7R1C1$. Изменением параметров времязадающей цепочки (емкости или сопротивления) можно регулировать длительность импульса ждущего мультивибратора.

Из рисунков 12.23, б и 12.24, б видно, что фронты импульсов на коллекторе образуются не сразу, а через некоторое время

$$t_{\phi} \approx (3-5)C_1 R_{k1}. \quad (12.13)$$

Очередной пусковой импульс может поступать на базу транзистора $VT2$ через время $t = t_n + t_{\phi}$.

Режим синхронизации. Частота импульсов мультивибраторов, работающих в автоколебательном режиме, может колебаться в сравнительно широких пределах $\pm 10\%$. Поэтому часто работу мультивибратора синхронизируют посторонним источником — синхронизатором более устойчивых колебаний, например кварцевым генератором. Колебания от синхрогенератора можно подавать через разделительный конденсатор на любой электрод (базу или коллектор) схемы рис. 12.23, а. При этом должно выполняться условие $F_m \leq F_c$, где F_m — частота мультивибратора; F_c — частота синхрогенератора.

Работу релаксационных генераторов, работающих в автоколебательном режиме, часто оценивают скажностью импульсов $Q = T/t_n$, где T — период следования импульсов автогенератора; t_n — длительность импульсов автогенератора. Чем больше значение скажности, тем экономичнее генератор. Для мультивибратора наибольшее значение скажности может быть $Q \leq 10$. Там, где нужно иметь скажность $Q > 10$, используют блокинг-генераторы.

Блокинг-генератор — электронное устройство, состоящее из транзисторного ключа с трансформатором в цепи положительной обратной связи и служащее для получения импульсов высокой скажности ($Q > 10$); применяется в устройствах импульсной техники.

В блокинг-генераторе ток транзисторного ключа протекает лишь в течение небольшой части периода колебаний, что позволяет получать мощные импульсы при малой средней мощности. К числу других достоинств блокинг-генератора относятся возможность снимать одновременно с обмоток трансформатора рабочие импульсы различной полярности и амплитуды, высокая надежность, обусловленная малым числом деталей и элементов. Основным конструктивно-технологическим недостатком блокинг-генератора является наличие импульсного трансформатора, не поддающегося микроминиатюризации.

На рис. 12.25, а приведена схема блокинг-генератора, работающего в автоколебательном режиме. Рассмотрим принцип действия схемы, начиная с момента, когда конденсатор C зарядился до своего максимального напряжения U_m , которое закрывает транзистор. Через сопротивление резистора R_6 происходит перезаряд конденсатора C . Скорость перезаряда относительно длительности рабочего импульса мала и определяется постоянной времени R_6C . По достижении на емкости потенциала, равного $+E_6$, на базе будет нулевой потенциал относительно эмиттера. Время перезаряда представляет собой паузу между рабочими импульсами. Как только напряжение на базе станет равно нулю, через транзистор потечет малый ток. Возрастание коллекторного тока вызывает появление ЭДС самоиндукции в коллекторной обмотке. Нарастает магнитный поток в сердечнике, и в базовой обмотке появляется ЭДС взаимной индукции. Полярность ЭДС в базовой обмотке такова, что к базе транзистора прикладывается «минус», а к эмиттеру «плюс». Развивается лавинный процесс. В ходе этого процесса формируется фронт рабочего импульса. Этот процесс называется прямым блокинг-процессом. Отсюда и произошло название генератора. Закачивается лавинный процесс полным открыванием транзистора и переходом его в насыщенное состояние, которое характеризуется прекращением нарастания тока коллектора. Прекращение нарастания тока коллектора обуславливает окончание лавинного процесса. Идет формирование вершины плоской части рабочего импульса (рис. 12.25, б). На этом этапе происходит рассасывание неоснов-

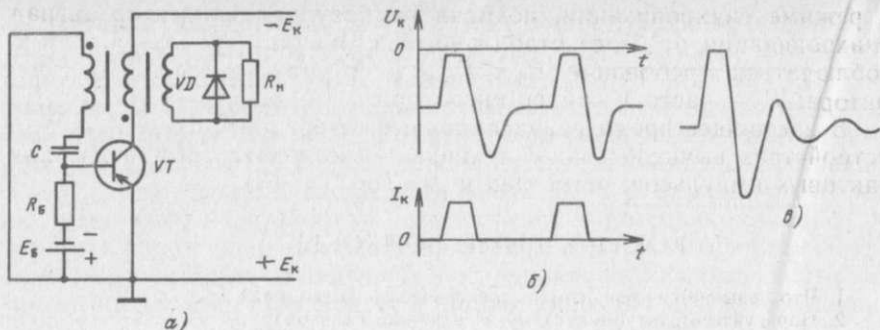


Рис. 12.25. Схема (а) и потенциальные диаграммы (б) блокинг-генератора, работающего в автоколебательном режиме; образование выбросов в рабочем импульсе (в)

ных носителей, накопленных в базе. Время рассасывания неосновных носителей определяет длительность плоской части рабочего импульса. Неосновных носителей по мере рассасывания в базе становится меньше, и транзистор выходит из насыщения, обретая усилительные свойства. Уменьшение тока базы вызывает уменьшение тока коллектора. Снижение тока коллектора вызывает появление на базе транзистора ЭДС положительной полярности, что приводит к еще большему снижению тока базы и тока коллектора. Снова развивается лавинный процесс, который называется обратным блокинг-процессом. За это время напряжение на конденсаторе C и магнитная энергия сердечника не успевают измениться. После закрытия транзистора отрицательное напряжение продолжает расти. Получается характерный для блокинг-процесса выброс напряжения, который объясняется рассеянием энергии, накопленной в сердечнике трансформатора за время формирования вершины рабочего импульса. Этот выброс, складываясь с напряжением на коллекторе, может достиг значения напряжения $U_k \leq 2E_k$, большего максимально допустимого для данного транзистора. После выброса могут наступить затухающие колебания, которые своими положительными полупериодами могут производить ложные срабатывания блокинг-генератора (рис. 12.25, в), превращая его в обычный LC -генератор. Для исключения ложных срабатываний в нагрузочную обмотку ставят диод, срезающий отрицательный полупериод. В блокинг-генераторах такой диод называют демпфирующим диодом.

Блокинг-генератор, как и мультивибратор, может работать в режиме внешнего возбуждения. Для этого необходимо изменить полярность напряжения на базе от батареи $E_б$, а пусковые отпирающие импульсы подавать через разделительный конденсатор на базу. Блокинг-генератор, работающий с самовозбуждением, имеет нестабильность частоты такого же порядка, что и мультивибратор ($\pm 10\%$). Для повышения стабильности частоты блокинг-генератор используют

в режиме синхронизации, подавая на базу или коллектор сигнал синхронизации от более стабильного источника. При этом должно соблюдаться требование $F_{6-r} \leq F_c$, где F_{6-r} частота блокинг-генератора; F_c — частота синхрогенератора.