

Лекция 11

Тема: Импульсные устройства

Импульсный режим работы усилителя

Импульсному (ключевому) режиму работы транзистора соответствует два крайних состояния: транзистор либо заперт, или полностью открыт. В этом режиме транзисторы используют как бесконтактные переключающие устройства. Рассмотрим работу схемы, приведенной на рисунке 1.

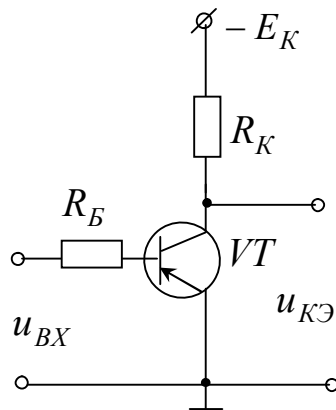


Рисунок 1 – Схема каскада в импульсном режиме работы транзистора

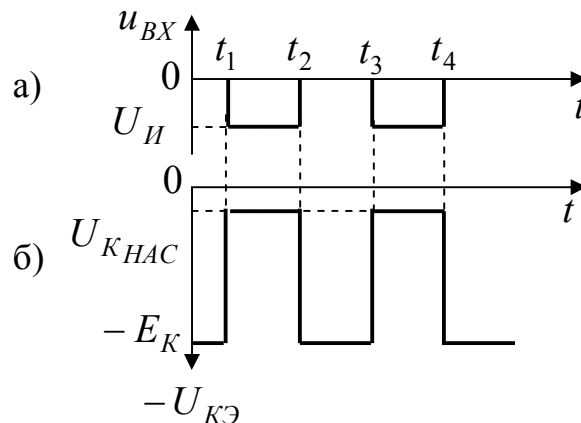


Рисунок 2 – Графики запускающего напряжения (а) и выходного напряжения (б)

В интервале времени $0 - t_1, t_2 - t_3$ и т. д., когда напряжение отсутствует (рисунок 2, а)), переход эмиттер-база заперт и ток коллектора равен нулю. Следовательно, напряжение на коллекторе равно напряжению источника питания ($-E_K$) (рисунок 2, б)) и транзистор заперт. Когда на вход схемы подают отрицательные запускающие импульсы (интервалы времени $t_1 - t_2, t_3 - t_4$) переход эмиттер – база открывается и в коллекторной цепи

проходит ток. Амплитуда импульсов $U_{И}$ (рисунок 2, а)) такой, чтобы коллекторный ток при заданных R_K и E_K достигал максимального значения, равного току насыщения $I_{K_{НАС}} \approx E_K / R_K$ (рисунок 3). При этом напряжение на коллекторе $U_{K_{НАС}}$ близко к нулю (рисунок 2, б)), т. е. транзистор полностью открыт.

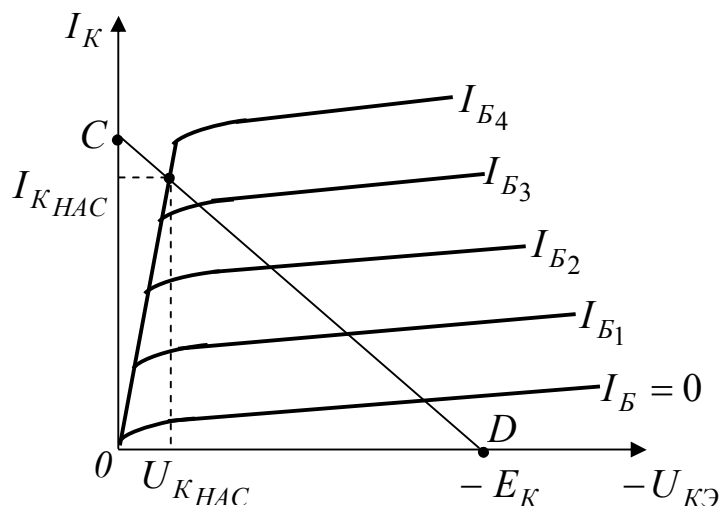


Рисунок 3 – Семейство вольтамперных характеристик и нагрузочная прямая CD каскада в импульсном режиме

ТРИГГЕРЫ

Триггер (от англ. trigger — спусковая схема), или бистабильная (т. е. двустабильная) полупроводниковая ячейка — устройство с двумя устойчивыми состояниями, скачком переходящее из одного состояния в другое под воздействием входных сигналов. Название процесса смены состояний триггера имеет ряд синонимов: переброс, переключение, опрокидывание.

Основой большинства цифровых микросхем является симметричный триггер (рисунок 1, а)), содержащий два транзисторных ключа, охваченных перекрестными положительными обратными связями.

Собственно триггер (триггерная ячейка) образован транзисторами T_1 , T_2 и резисторами R_1 , R_2 (в микросхемах резисторы выполнены в виде динамических сопротивлений). Транзисторы T_3 и T_4 — вспомогательные ключи, служащие для управления триггерной ячейкой. Они почти все время закрыты и на характеристики триггерной ячейки практически не влияют. Триггер имеет два устойчивых состояния: 1 — транзистор T_1 открыт и насыщен, а транзистор T_2 закрыт; 2 — транзистор T_1 закрыт, а транзистор T_2 открыт и насыщен.

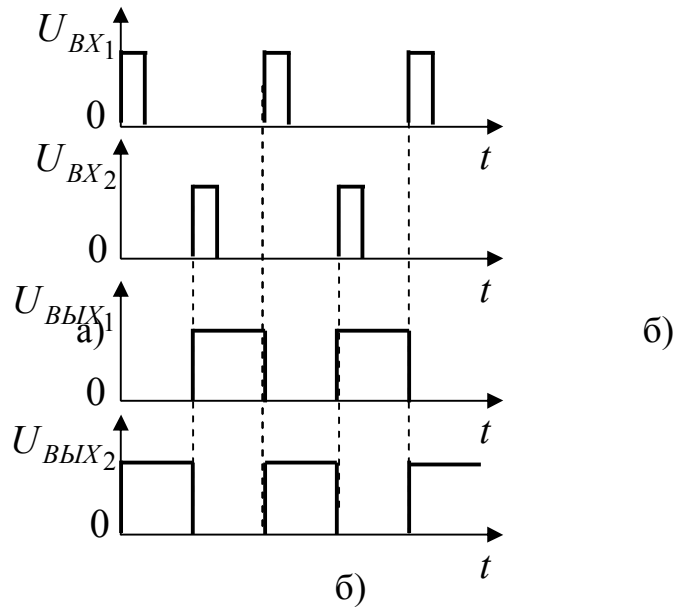
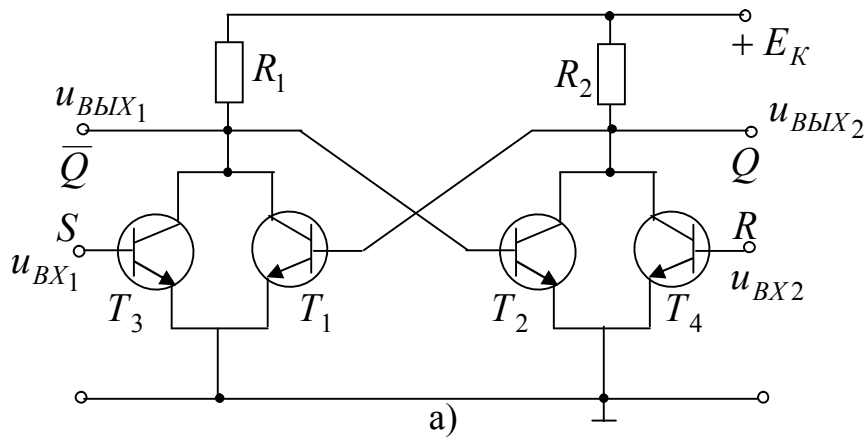


Рисунок 1 – Симметричный триггер: а) – схема; б) – временные диаграммы

Пусть триггер находится в первом устойчивом состоянии, когда оба вспомогательных транзистора T_3 и T_4 закрыты. Принцип действия триггера поясняется с помощью соответствующих упрощенных временных диаграмм напряжения, показанных на рисунке 1, б). Проанализируем работу триггера по этим диаграммам. Напряжение $U_{BЫX2}$ на коллекторе закрытого транзистора T_2 близко к напряжению питания. Ток базы транзистора T_1 , протекающий через резистор R_2 и создающий на нем падение напряжения, удерживает этот транзистор открытым. В результате напряжение на его коллекторе будет близким к нулю. Поскольку коллектор транзистора T_1 соединен непосредственно с базой транзистора T_2 , то последний будет закрыт. Следовательно, триггер находится в первом устойчивом состоянии. Аналогичная картина наблюдается в триггере, когда он находится во втором устойчивом состоянии.

Переключение триггера производится входными (отпирающими) импульсами положительной полярности (рисунок 1, б)), подаваемыми на базу того

вспомогательного транзистора, который включен параллельно соответствующему закрытому основному транзистору. Для переключения триггера, находящегося в первом устойчивом состоянии, входной импульс подают на базу транзистора T_4 . При этом транзистор T_2 откроется, и напряжение $U_{ВЫХ2}$ на его коллекторе, а значит и на базе транзистора T_1 упадет до нуля, вызывая запирающее действие последнего. В результате действия положительной ОС транзистор T_2 перейдет из активного режима в режим насыщения. Триггер переключится во второе устойчивое состояние. Чтобы вновь опрокинуть триггер, нужно открыть входным импульсом вспомогательный транзистор T_3 . Такой запуск триггера называют *раздельным*, и он характерен попеременной подачей управляющих импульсов на входы триггера (рисунок 1, б)).

Одновременная подача отпирающих импульсов на оба входа в данной схеме триггера недопустима. Действительно, если входные импульсы поступают одновременно, то вспомогательные транзисторы откроются и своими выходными сигналами создадут на базах транзисторов T_1 и T_2 нулевые потенциалы, вследствие чего последние закроются. По окончании действия импульсов оба транзистора откроются, и схема временно окажется в неустойчивом положении, из которого под воздействием внутренних флуктуаций триггер может равновероятно перейти в любое из устойчивых состояний.

Триггер переводят из одного устойчивого состояния в другое путем подачи на его входы (или выходы) запускающих импульсов. Существует два способа запуска: *раздельный* и *общий*. Раздельный запуск осуществляется подачей импульсов одной полярности поочередно на базы транзисторов (входы триггера). Импульс, поданный на один из входов, устанавливает триггер в одно из устойчивых состояний. Импульс, подаваемый на другой вход, устанавливает триггер в противоположное устойчивое состояние. Триггер с раздельным запуском называют *RS-триггером*. *RS-триггер* имеет два входа и два выхода. Входы, на которые подают запускающие импульсы, называют установочными и обозначают R и S . Буква S означает раздельный вход установки в состояние 1, буква R – раздельный вход установки в состояние 0. Выходы обозначают Q и \bar{Q} .

Основное назначение триггера — запоминание (хранение) цифровой информации. Приняв одно состояние триггера за «1», а другое — за «0», можно считать, что триггер помнит (хранит) один разряд числа, записанного в двоичном коде. Такое хранение цифровой информации теоретически может продолжаться сколь угодно долго, пока на триггер не поступят сигналы управления, или с него не будет снято напряжение питания.

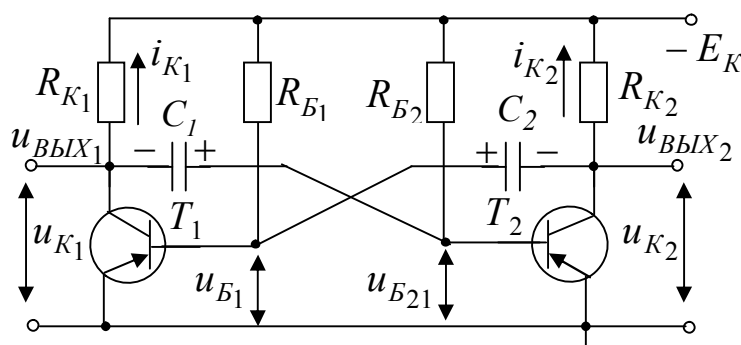
Мультивибратор

Мультивибратор представляет собой генератор несинусоидальных колебаний близких к прямоугольным. Такие колебания можно рассматривать как сумму большого числа простых гармонических колебаний.

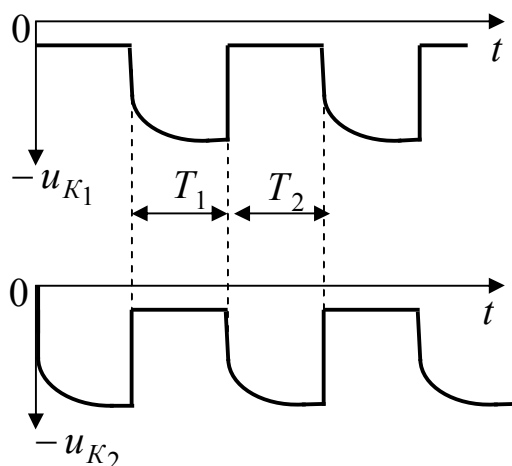
Мультивибраторы используются в импульсной технике, в ЭВМ и устройствах автоматики в качестве пусковых или переключающихся устройств.

Схемы мультивибраторов строятся на усилителях с положительной обратной связью и включают времязадающие RC -цепи.

Различают три режима работы мультивибраторов: автоколебательный, синхронизации и ждущий.



а)



б)

Рисунок 1— Схема симметричного мультивибратора а) и Графики напряжений на коллекторе симметричного мультивибратора б)

Рассмотрим схему мультивибратора с коллекторно-базовыми связями (рисунок 1, а)). Она представляет собой двухкаскадный усилитель на биполярных транзисторах T_1 и T_2 $p-n-p$ -типа включенных по схеме с общим эмиттером. База одного транзистора соединена с коллектором другого через конденсаторы C_1 и C_2 , которые обеспечивают положительную обратную связь. Резисторы R_{B1} и R_{B2} осуществляют подачу напряжения смещения на базы соответственно транзисторов T_1 и T_2 , и входят в состав

времязадающих RC -цепей. Как известно, для существования стационарных колебаний в генераторе необходимо выполнение условий баланса фаз и амплитуд. В данной схеме баланс фаз обеспечивается тем, что в каждом из двух усилителей напряжение на выходе сдвинуто по отношению к входному на 180° , и в итоге полный сдвиг фаз по всей цепи обратной связи составляет 360° . Баланс амплитуд обеспечивается необходимыми коэффициентами усиления по напряжению каждого из усилителей. Обратная связь включается при работе каскадов в активном режиме в момент переключения и отключается, когда в схеме начинают протекать медленные процессы заряда и перезаряда конденсаторов.

Если в схеме мультивибратора значения элементов $R_{K1} = R_{K2}$; $R_{B1} = R_{B2}$; $C_1 = C_2$, а транзисторы T_1 и T_2 имеют идентичные параметры, то такой мультивибратор называют симметричным.

Процесс самовозбуждения мультивибратора, т. е. возникновения в нем колебаний можно пояснить следующим образом. Если несколько уменьшится ток i_{K1} , то это приведет к уменьшению потенциала на коллекторе транзистора T_1 . А так как напряжение на конденсаторе C_1 не может изменяться мгновенно, то отрицательный скачок напряжения на коллекторе транзистора T_1 передается на участок база-эмиттер транзистора T_2 . Это вызовет увеличение тока коллектора i_{K2} и, следовательно, повышение потенциала коллектора транзистора T_2 . Повышение потенциала коллектора транзистора T_2 через конденсатор C_2 передается на базу транзистора T_1 и ток i_{K1} еще больше уменьшится и т. д. Данный процесс нарастает лавинообразно, тем более что скачки напряжения на базах транзистора увеличиваются за счет усилительного действия транзисторов. В итоге транзистор T_1 окажется запертым, а потенциал его коллектора практически равным $(-E_K)$. Транзистор T_2 будет полностью открыт и насыщен, а потенциал на его коллекторе – близким нулю.

В исходном состоянии (до опрокидывания схемы) конденсаторы C_1 и C_2 были заряжены с полярностью, показанной на рисунке 1 б), до напряжения $-E_K + R_K i_K$. Во время опрокидывания схемы напряжение на конденсаторах не успевает измениться. После опрокидывания схемы конденсатор C_1 относительно быстро заряжается до напряжения E_K по цепи: $(+E_K)$, переход эмиттер-база открытого транзистора T_2 , C_1 , R_{K1} , $(-E_K)$. Конденсатор C_2 после запираания транзистора T_1 перезаряжается по цепи: $(+E_K)$, 0 , T_2 , C_2 , R_{B1} , $(-E_K)$. Фактически через резистор R_{B1} в первый момент времени проходит ток под действием $2E_K$ и, следовательно, к участку база-эмиттер транзистора T_1 приложено напряжение $(+E_K)$,

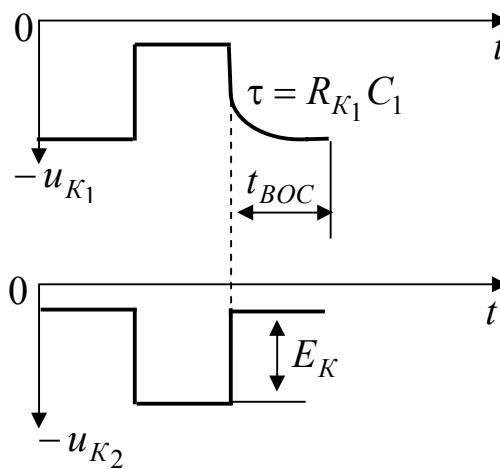
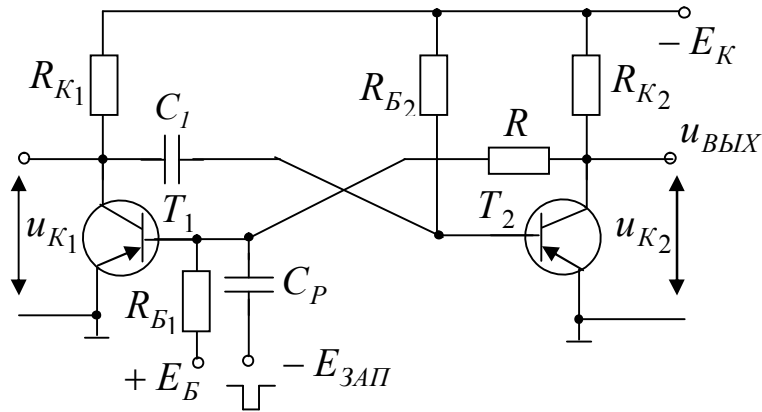
надежно запирающее транзистор T_1 . При медленной перезарядке конденсатора C_2 ток уменьшается, напряжение на резисторе R_{B_1} падает и, когда $u_{C_2} \approx 0$, напряжение на участке база-эмиттер транзистора T_1 близко к нулю. Транзистор T_1 открывается, потенциал его коллектора начинает расти, что приводит к росту потенциала базы транзистора T_2 и уменьшению потенциала на его коллекторе, а, следовательно, и потенциала базы транзистора T_1 . Таким образом, возникает лавинообразный процесс и схема снова опрокидывается. При этом транзистора T_1 открыт и насыщен, транзистора T_2 заперт. После опрокидывания конденсатор C_2 быстро заряжается через резистор R_{K_2} до напряжения E_K , конденсатор C_1 начинает медленно перезарядаться аналогично перезарядке конденсатора C_2 . Переходной процесс при зарядке и разрядке конденсаторов называют релаксационным. Поэтому можно встретить другое название мультивибраторов – генераторы релаксационных колебаний. По окончании релаксационного процесса оба транзистора оказываются открытыми, и вновь начинается скачкообразное изменение токов коллекторов, т. е. в схеме протекает новый лавинообразный процесс.

Процессам, происходящим в схеме мультивибратора рисунка 1, а), соответствуют графики напряжений, приведенные на рисунке 1, б).

Ждущий мультивибратор с коллекторно–базовыми связями (одновибратор)

Ждущий мультивибратор, который называют одновибратором, предназначен для формирования одиночных импульсов заданной длительности, которые вырабатываются в определенные моменты времени. Они имеют одно состояние устойчивого равновесия. Это достигается тем, что усилительный элемент одного из плеч мультивибратора запирается напряжением смещения от дополнительного источника. В этом случае схема без внешнего запускающего импульса не может опрокинуться. Запускающий импульс должен иметь определенную полярность, амплитуду и длительность. До подачи запускающего импульса схема как бы «ждет» запуска, отсюда и название прибора. После подачи запускающего импульса схема переходит в следующее состояние – квазиустойчивое равновесие, в котором она находится некоторое время, равное длительности запускающего импульса, и возвращается в устойчивое состояние.

Рассмотрим схему ждущего мультивибратора с коллекторно–базовыми связями (рисунок 2, а)) Эта схема отличается от рассмотренной ранее схемы мультивибратора с коллекторно–базовыми связями в автоколебательном режиме в следующем.



В схему введен источник смещения E_B , который запирает транзистор T_1 . Транзистор T_1 может быть открыт подачей на его базу отрицательного запирающего импульса от источника $E_{3АП}$, включенного в цепь базы транзистора T_1 через разделительный конденсатор C_P . Параметры схемы R_{B1} , R_{B2} и R выбирают таким образом, чтобы в исходном состоянии транзистор T_1 был закрыт за счет источника смещения ($+E_B$), а транзистор T_2 – открыт и насыщен. Конденсатор C_1 может заряжаться по цепи 0, полностью открытый транзистор T_2 , конденсатор C_1 , резистор R_{K1} , ($-E_K$).

Для генерации импульса схему выводят из устойчивого состояния, для чего на базу закрытого транзистора T_1 подают запирающий импульс. Оба транзистора оказываются открытыми, поэтому в цепи развивается лавинообразный процесс изменения токов i_{K1} и i_{K2} .

В результате этого схема опрокидывается: транзистор T_1 открывается и переходит в режим насыщения, а транзистор T_2 закрывается и переходит в режим отсечки, удерживаясь в этом состоянии, так как его база оказалась подключенной через конденсатор C_1 и открытый транзистор T_2 к нулевому зажиму источника E_K . Теперь конденсатор оказывается подключенным к

источнику E_K по другой цепи: 0, открытый транзистор T_1 , конденсатор C_1 , резистор R_{B_2} , $(-E_K)$ – и начинает перезаряжаться с постоянной времени $\tau = R_{B_2} C_1$. По мере его разрядки в процесс перезарядки, как только напряжение на нем упадет до нуля, потенциал базы транзистора T_2 станет равным нулю и транзистор T_2 откроется.

Теперь оба транзистора открыты и в схеме вновь развивается лавинообразный процесс, в результате которого схема опрокидывается: транзистор T_1 закрывается, а транзистор T_2 открывается. Но при этом напряжение на конденсаторе C_1 станет равным нулю, а не значению E_K , как это было в исходном состоянии. Поэтому после переброса схемы конденсатор C_1 станет заряжаться по цепи 0, открытый транзистор T_2 , конденсатор C_1 , резистор R_{K_1} , $(-E_K)$ с постоянной времени $\tau_1 = R_{K_1} C_1$. Процесс зарядки конденсатора C_1 требует некоторого времени, примерно равного $4\tau_1 = 4R_{K_1} C_1$. После зарядки конденсатора до исходного напряжения E_K , схема перейдет в исходное устойчивое состояние.

На выходе мультивибратора (транзистора T_2) формируется почти прямоугольный импульс, длительность которого t_H определяется длительностью закрытого состояния транзистора T_2 . Поэтому следующий запускающий импульс должен быть подан не ранее того времени, когда закончится зарядка конденсатора C_1 . Это время от момента, когда напряжение на конденсаторе C_1 возрастет от нуля до исходного значения E_K , называют временем восстановления t_{BOS} .

Процессам, происходящим в схеме мультивибратора рисунка 2, а), соответствуют графики напряжений, приведенные на рисунке 2, б).