

## Лекция 5

### Импульсные устройства

#### Цель лекции:

рассмотреть классификацию и параметры импульсов; изучить основы импульсного режима работы; рассмотреть схему и переходные процессы в ключе на биполярном транзисторе.

#### План лекции:

1. Импульсные сигналы.
2. Характерные параметры импульса.
3. Транзисторный ключ.
4. Переходные процессы биполярного ключа.

**Импульсными** называются устройства, предназначенные для генерирования, формирования, преобразования и передачи импульсных сигналов.

В электронике часто используются импульсные сигналы (импульсы) отрицательной или положительной полярности.

**Электрический импульс** – кратковременный всплеск электрического напряжения или силы тока в определённом временном промежутке. Различают **видеоимпульсы** — единичные колебания какой-либо формы и **радиоимпульсы** — всплески высокочастотных колебаний, огибающая которых повторяет форму видеоимпульса.

В импульсной технике применяются импульсы различной формы: прямоугольного, пилообразного, экспоненциального вида (рис. 1, *а – в*), а также однополярные (положительной и отрицательной полярности) и двухполярные (рис. 1, *г*) импульсы.

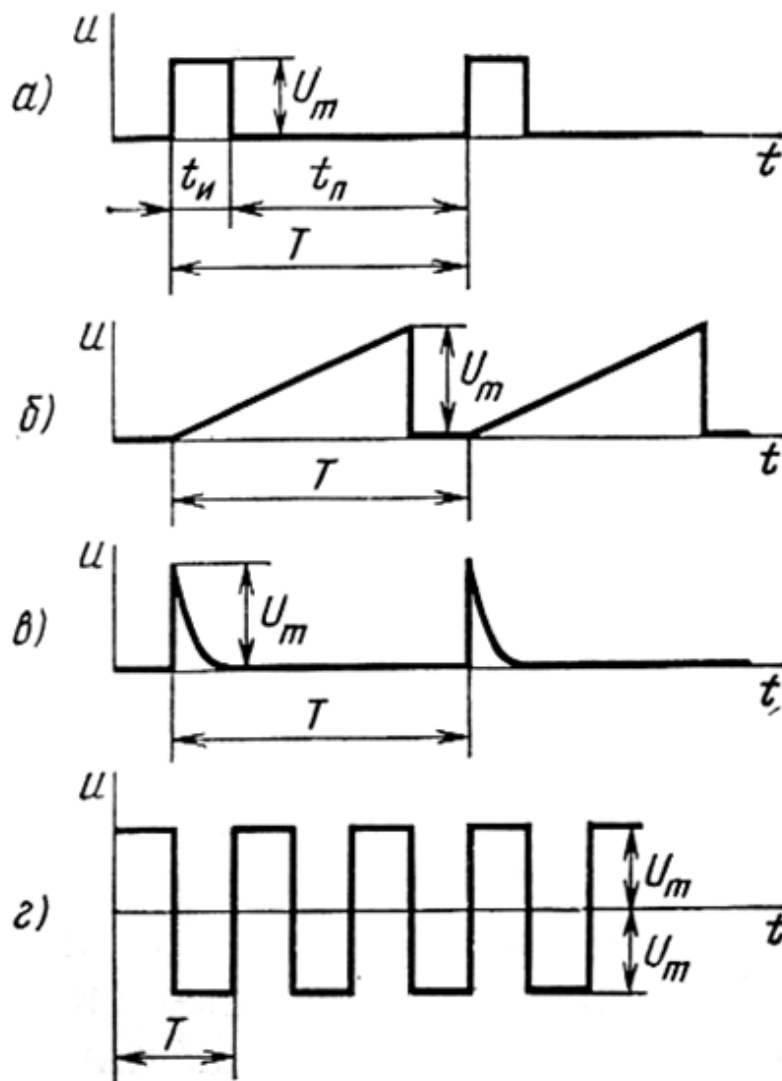


Рис. 1. Импульсные сигналы прямоугольной (а), пилообразной (б), экспоненциальной (в) формы, и двухполярные импульсы (г)

На рис. 2 показаны трапецеидальные видеоимпульсы. Они характеризуются следующими основными параметрами: амплитудой (высотой) импульса  $U_m$ , его длительностью  $t_{и}$ , длительностью паузы между импульсами  $t_{п}$ , временем нарастания фронта импульса  $t_{фр}^+$  (временем нарастания импульса от  $0,1$  до  $0,9U_m$ ); временем спада фронта импульса  $t_{фр}^-$ ; периодом  $T$ ; спадом вершины импульса  $\Delta U$ .

На рис. 1, а показаны однополярные периодические импульсы. Основные параметры периодических импульсов:  $T$  – период повторения

импульсов (равен сумме длительности импульса и длительности паузы  $T = t_{\text{и}} + t_{\text{п}}$ );  $f = 1/T$  – частота повторения импульсов;  $Q = T/t_{\text{и}}$  – скважность импульса;  $K_3 = 1/Q = t_{\text{и}}/T$  – коэффициент заполнения.

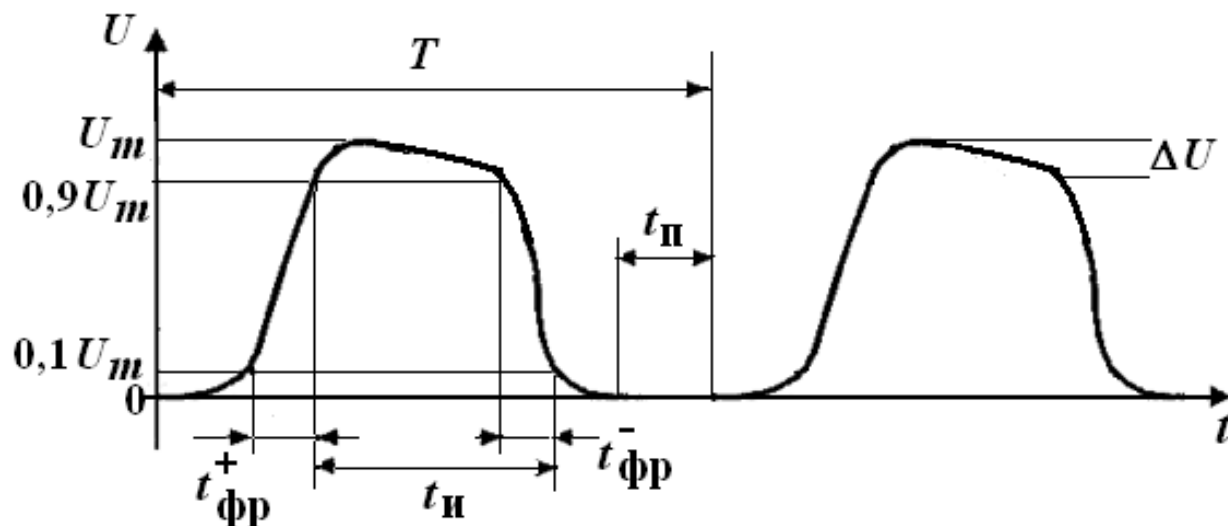


Рис. 2. Характерные параметры импульса

Импульсный сигнал (последовательность импульсов) обладает большими информационными возможностями. Для преобразования электрического или неэлектрического параметра в сигнал импульсной формы наибольшее применение получили *время-импульсный* и *число-импульсный* методы. Носителем информации в первом случае является *длительность импульса*, во втором – *число импульсов* в фиксированном интервале времени.

В схемах импульсной техники для обработки и преобразования информации широко применяют цифровые методы. Они базируются на использовании сигнала прямоугольной формы, имеющего два фиксированных уровня напряжения. Это позволяет представить сигнал в цифровой форме: уровню высокого напряжения приписывают символ "1", а уровню низкого напряжения – символ "0" при положительной логике.

## Транзисторный ключ

Транзисторный ключ (ТК) является основным элементом устройств цифровой электроники. Параметры и характеристики ТК во многом определяют свойства соответствующих схем.

Ключевой режим характеризуется двумя состояниями ключа: "включено" и "выключено". Качество транзисторного ключа определяется минимальным падением напряжения на нем в замкнутом состоянии, минимальным током в разомкнутом состоянии, а также скоростью перехода из одного состояния в другое.

Рассмотрим ТК (рис. 3. а). Воспользуемся графическим методом расчета транзисторных цепей. На рис. 3. б приведена выходная характеристика транзистора, на которой построена линия нагрузки в соответствии с уравнением  $U_K = E_K - I_K R_K$ .

На схеме рис. 3. а управляющие импульсы поступают от генератора  $U_{вх}$  через сопротивление  $R_б$ , которое может быть, в частности, внутренним сопротивлением генератора. Активная нагрузка включена в коллекторную цепь. На семействе коллекторных характеристик (рис. 3, б) минимальному току ключа соответствует точка А, а минимальному напряжению на ключе – точка В. В точке А транзистор заперт (закрыт), так как на его базе действует отрицательное смещение. Это первое состояние «выключено»; его называют режимом отсечки. В режиме отсечки ток базы  $I_б = 0$ , коллекторный ток  $I_{к0}$  равен начальному коллекторному току, а коллекторное напряжение  $U_K \approx E_K$ . Режим отсечки реализуется при  $U_{вх} = 0$  или при отрицательных потенциалах базы. В этом состоянии сопротивление ключа достигает максимального значения:  $R_{max} = \frac{R_T \cdot R_K}{R_T + R_K}$ , где  $R_T$  - сопротивление транзистора в закрытом состоянии. Второе состояние «включено» (транзистор открыт) определяется точкой В на ВАХ и называется режимом насыщения. Из режима отсечки (А) в режим насыщения (В) транзистор переводится положительным входным напряжением  $U_{вх}$ . При этом напряжение  $U_{вых}$  принимает минимальное

значение  $\Delta U_{кэ} = U_{к.э.нас}$ , ток коллектора равен  $I_K = I_{к.нас} \approx E_K / R_K$ . Ток базы в режиме насыщения определяется из условия:  $I_{\bar{\delta}} > I_{\bar{\delta}.нас} = I_{к.нас} / h_{21}$ . Для получения ключевого режима необходимо резко изменять ток баз. При переходе ключа под воздействием входного напряжения из одного стационарного состояния (точка *A*) в другое стационарное состояния (точка *B*) рабочая точка перемещается через всю активную область и ключ работает как обычный линейный усилитель. Этот режим называется переходным, или динамическим. При этом длительность переходного режима обычно значительно меньше, чем время нахождения ключа в стационарном состоянии.

Входное напряжение, необходимое для перевода транзистора в открытое состояние, определяется из условия:  $U_{вх} > I_{\bar{\delta}.нас} \cdot R_{\bar{\delta}} + U_{к.э.нас}$ .

Время переключения ключей на биполярных транзисторах определяется барьерными емкостями *p-n*-переходов и процессами накопления и рассасывания неосновных носителей заряда в базе.

Передаточная характеристика ТК иллюстрирует изменение состояний транзистора (рис. 4.).

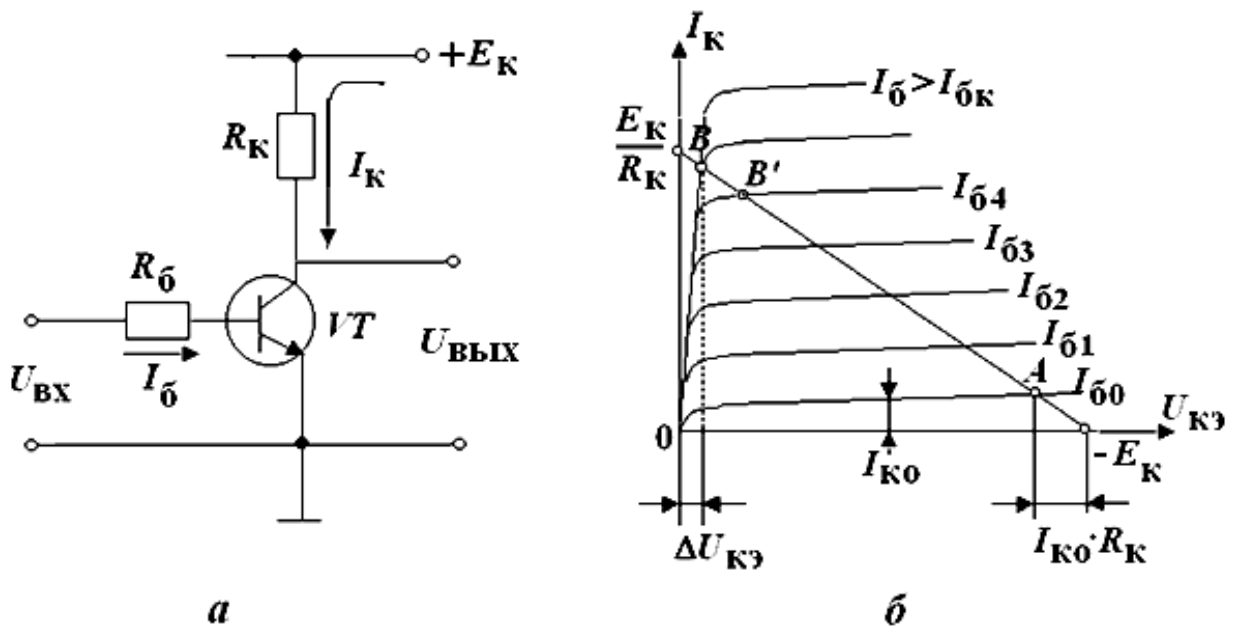


Рис. 3. Схема транзисторного ключа (а), графическое определение режимов открытого и закрытого состояния транзистора (б)

Рабочими являются участки переходной характеристики, соответствующие отсечке и насыщению. Чем круче участок  $ab$ , тем лучше качество ключа. Для идеального ключа передаточная характеристика пройдет через точки  $acv$ .

В зависимости от положения рабочей точки  $B$  транзистора различают насыщенные (точка  $B$ ) или ненасыщенные ключи (точка  $B'$ ) рис. 3. Если вместо  $R_k$  поставить трансформатор или дроссель, то переход от точки  $A$  к точке  $B$  может совершаться по другим траекториям. Скорость перехода определяется скоростными качествами транзистора и характером нагрузки.

Рост входного напряжения ТК, построенного по схеме ОЭ, приводит к уменьшению выходного. Следовательно, простейшая ключевая схема на транзисторе с нагрузкой в цепи коллектора, с которого снимается выходное напряжение, является инвертором, реализующим функцию **НЕ** как в положительной, так и в отрицательной логике.

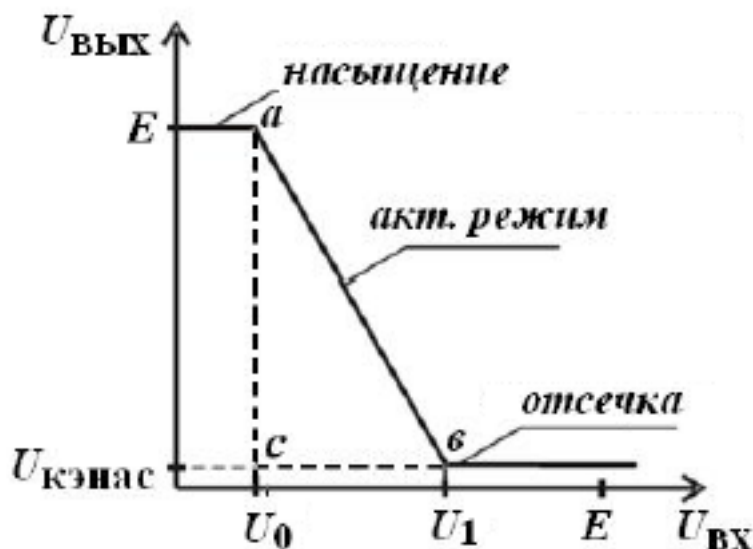


Рис. 4. Передаточная характеристики ТК: реальная (а); идеальная (б)

**Переходные процессы биполярного ключа.** Процесс переключения биполярного транзистора определяется двумя факторами: процессами накопления и рассасывания неосновных носителей в базе, формирующих ток

коллектора  $i_k$ , и наличием емкостей эмиттерного и коллекторного переходов  $C_e$  и  $C_k$ , которые перезаряжаются при переключениях. Если входное напряжение  $U_{вх}$  равно нулю, то транзистор закрыт и ток коллектора  $i_k$  равен незначительному току  $I_{k0}$  (рис. 5).

При подаче входного напряжения ступенчатой формы появляется базовый ток  $I_b$  такой же формы. Если величина  $I_b$  достаточна для ввода транзистора в насыщение, то возрастающий ток коллектора будет стремиться к уровню  $\beta I_b$ , где  $\beta$  – коэффициент усиления тока транзистора. Нелинейный характер нарастания  $i_k$  определяется наличием емкостей переходов база-эмиттер ( $C_e$ ) и база-коллектор ( $C_k$ ). Максимальное значение  $i_k$  ограничено сопротивлением  $R_k$  и не может превысить величины  $I_{кнас} \approx E_k / R_k$ .

Значение коллекторного тока определяется количеством неосновных носителей в базе, поэтому, когда ток  $i_k$  достигнет величины  $I_{кнас}$ , его рост прекратится, но рост числа носителей заряда в базе будет продолжаться до величины соответствующей току  $I_b$ . Таким образом, в базе транзистора накапливается *избыточный* заряд неосновных носителей, не участвующих в создании коллекторного тока.

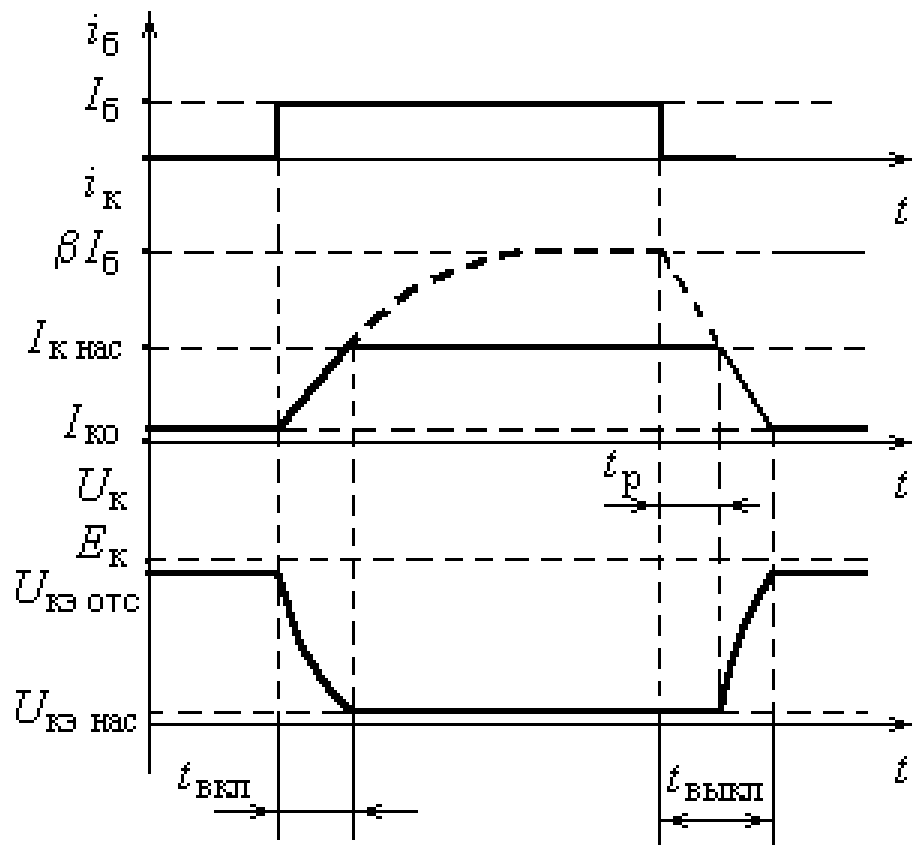


Рис. 5. Переходные процессы в ключе на БТ

Как видно из диаграммы, процесс открывания транзистора занимает некоторый интервал времени  $t_{\text{вкл}}$ . Уменьшение этого времени на практике достигается повышением в 1,5...3 раза базового тока, по отношению к току, достаточному для введения транзистора в насыщение. Однако, увеличение базового тока в этом случае приводит к увеличению избыточного заряда неосновных носителей в базе, которые после снятия входного сигнала (отключения тока  $I_B$ ) продолжают поддерживать некоторое время  $t_p$  коллекторный ток неизменным. Отрезок времени  $t_p$  называют *временем рассасывания* неосновных носителей из базы. Только после удаления избыточного заряда из базы начинается процесс уменьшения коллекторного тока до уровня  $I_{K0}$ . В быстродействующих ключевых схемах принимают меры для уменьшения  $t_p$ , и  $t_{\text{выкл}}$ .