

Московский Государственный Технический Университет
имени Н.Э.Баумана

КЛЮЧЕВОЙ РЕЖИМ РАБОТЫ ТРАНЗИСТОРА

Методические указания к выполнению лабораторных работ
по курсу «Электроника и схемотехника»

Лабораторная работа №3. «КЛЮЧЕВОЙ РЕЖИМ РАБОТЫ ТРАНЗИСТОРА»

Цель работы - исследовать статические режимы и переходные процессы в схеме простого транзисторного ключа. Продолжительность работы - 4 часа.

Теоретическая часть

Транзисторные ключи являются основой логических элементов ЭВМ. Для отображения двоичных символов используются статические состояния транзисторного ключа, в которых транзистор работает в режимах отсечки или насыщения. Во время переходных процессов при переключении из одного статического состояния в другое транзистор работает в нормальном и инверсном активных режимах.

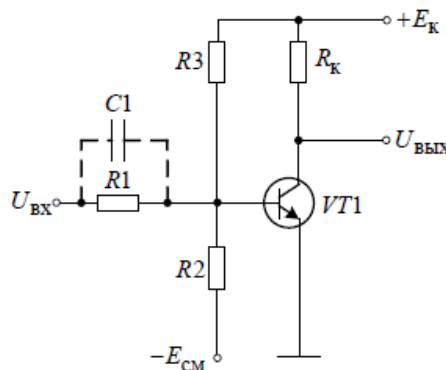


Рис. 1. Схема электрическая принципиальная транзисторного ключа

Основными параметрами статических состояний транзисторного ключа являются напряжение насыщения $U_{КЭН}$ и обратный ток $I_{КО}$.

Режим отсечки транзисторного ключа (рис. 1) характеризуется низким уровнем напряжения

$$U_{ВЫХ} = E_K - I_{КО} R_K \approx E_K.$$

В режиме насыщения через ТК протекает ток

$$I_{КН} = \frac{E_K - U_{КЭН}}{R_K} \approx \frac{E_K}{R_K}.$$

Основными параметрами переходных процессов при включении транзисторного ключа являются:

- t_3 - время задержки;
- t_ϕ - длительность фронта.

Время задержки определяется по формуле:

$$t_3 \approx \tau_{BX} \ln\left(1 + \frac{U_{60}}{E_{60}}\right),$$

$$\text{где: } \tau_{BX} = R_6 C_{BX};$$

U_{60} - начальное напряжение на C_{BX} .

Длительность фронта определяется по формуле:

$$t_\phi \approx \tau_B \ln \frac{S}{S-1},$$

где: S – коэффициент насыщения.

Коэффициент насыщения определяется как

$$S = \frac{I_{61}}{I_{6H}} = \frac{I_{61} \beta_{CT} R_K}{E_K},$$

где: I_{6H} – ток базы насыщения; β_{CT} – статический коэффициент передачи по току.

Для удобства измерения фронта его часто определяют как время нарастания тока от уровня $0.1 I_{KH}$ до уровня $0.9 I_{KH}$.

Тогда длительность фронта будет определяться по формуле:

$$t_\phi = \tau_B \ln \frac{S-0.1}{S-0.9}.$$

В приведенных выше формулах, постоянная времени τ_B определяется как:

$$\tau_B = \frac{1}{2\pi f_B},$$

где f_B – верхняя граничная частота применяемого транзистора, включенного по схеме с ОЭ.

Ток базы, соответствующий границе насыщения определяется по формуле:

$$I_{6H} = \frac{I_{KH}}{\beta_{CT}}.$$

Основными параметрами переходных процессов при выключении транзисторного ключа являются:

- t_p - время рассасывания накопленного в базе заряда;
- t_c - длительность среза.

Время рассасывания заряда в базе можно определить по формуле:

$$t_p = \tau_u \ln \frac{S I_{6H} + I_{62}}{I_{6H} + I_{62}},$$

где: $\tau_u = 2 \div 3$ мкс - время жизни неосновных носителей в базе в режиме насыщения.

Время рассасывания характеризуется интервалом времени от момента подачи запирающего входного напряжения $+E_{62}$ до момента, когда заряд в базе уменьшается до граничного значения $Q_{гр} = I_{6H} \tau_u$, при котором транзистор переходит из насыщенного состояния в активный режим. Если коллекторный

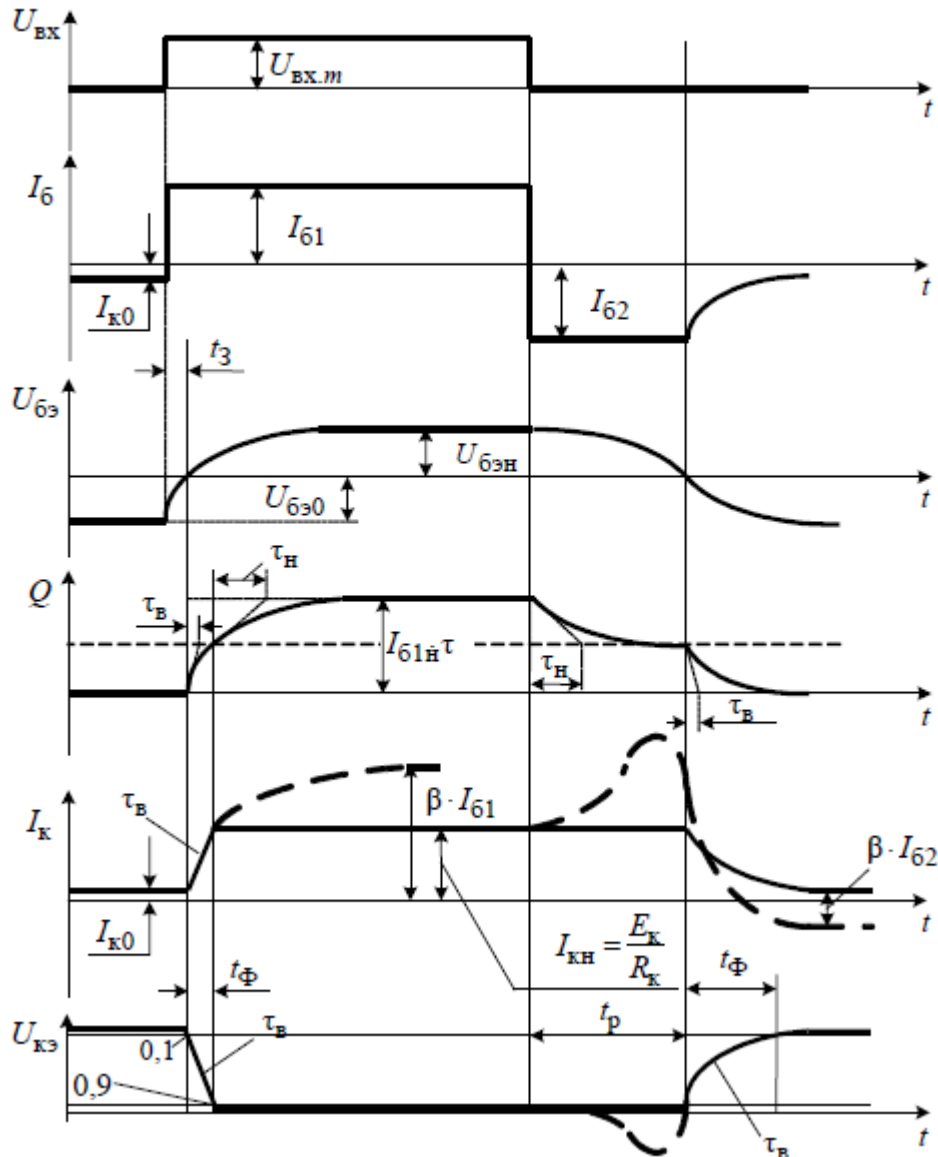


Рис. 2. Временные диаграммы работы транзисторного ключа

переход запирается раньше эмиттерного ($\tau_K < \tau_э$), то транзистор переходит в нормальный активный режим, если наоборот ($\tau_э < \tau_K$), то в инверсный активный режим. В последнем случае на графике $I_K(t)$ и $U_K(t)$ появляется характерный выброс (рис. 2, штриховые линии).

Заканчивается переходный процесс при выключении транзистора срезом выходного напряжения (задним фронтом). Длительность среза t_c можно оценить, считая, что процесс формирования заднего фронта заканчивается при $Q \approx 0$. Тогда формула будет иметь следующий вид:

$$t_c = \tau_B \ln \frac{I_{B2} + I_{BH}}{I_{BH}}.$$

Однако в реальных схемах большая часть среза выходного напряжения происходит, когда транзистор находится в режиме отсечки. Поэтому

длительность среза определяется постоянной времени $\tau_k = R_k C_k$ или $\tau_k = R_k (C_k + C_n)$, с учетом емкости нагрузки C_n . Конденсатор C_1 в схеме ТК (рис. 1. пунктир) является форсирующим. Он позволяет увеличить токи базы $I_{б1}$ и $I_{б2}$ на короткий промежуток времени, в то время как в статическом режиме токи базы практически не меняются и это приводит к повышению быстродействия транзисторного ключа. Еще одним способом увеличения быстродействия транзисторного ключа является введение нелинейной обратной связи. Диод с малым временем восстановления (диод Шоттки), включенный между коллектором и базой, предотвращает глубокое насыщение транзисторного ключа, фиксируя потенциал коллектора относительно потенциала базы. Такие транзисторные ключи называют ненасыщенными.

ЗАДАНИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ

Собрать на рабочем поле среды Multisim схему для испытания работы транзисторного ключа (рис. 3), ознакомиться с порядком расчёта параметров схемы.

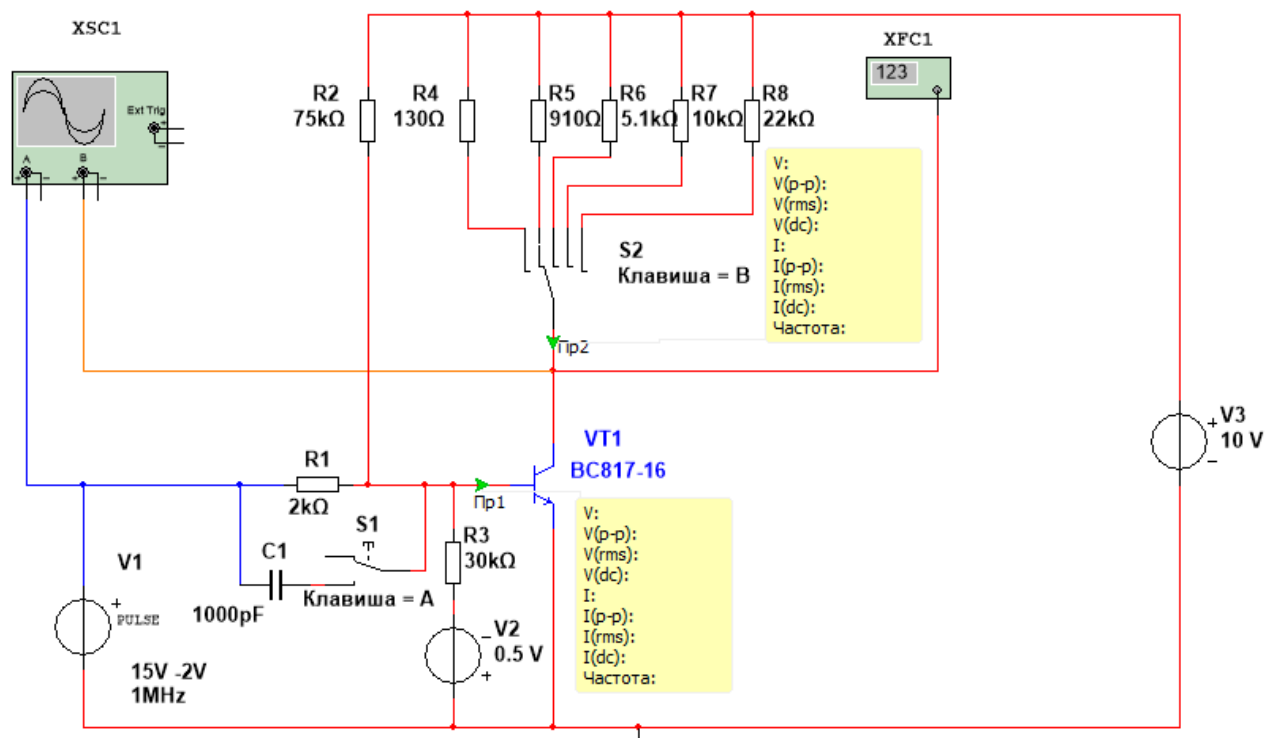


Рис. 3. Схема для исследования работы транзисторного ключа

Транзисторный ключ собран на транзисторе VT1 типа BC817-16 с параметрами: $U_{кmax} = 45 \text{ В}$; $I_{кmax} = 0,5 \text{ А}$; $C_k = 3\text{pF}$; $h_{21эмин} = 100$; $h_{21эmax} = 250$; $f_{гр} = 100 \text{ МГц}$.

Задание 1. Исследовать динамические характеристики транзисторного ключа.

Изменяя величину сопротивления R_k ($R4 \div R8$), с помощью осциллографа снять временные диаграммы работы транзисторного ключа, а с помощью частотомера XFC1, определить значения t_ϕ и t_c , заполнить таблицу 1.

Таблица 1

R_k	130 Ом	910 Ом	5,1 кОм	10 кОм	22 кОм
t_ϕ					
t_c					

Определить величину сопротивления R_k , соответствующую границе режима насыщения. Для этой величины R_k вычислить по формулам, приведенным выше, значения t_z , t_ϕ , t_p , t_c . Значения токов базы $I_{б1}$ и $I_{б2}$ получить с помощью пробника Пр.1, при частоте генератора $V1 - 1 \text{ Гц}$. Сравнить вычисленные значения t_ϕ и t_c , с полученными экспериментально.

Задание 2. Исследовать влияние форсирующего конденсатора на параметры переходных процессов.

С помощью клавиши S1 подключить форсирующий конденсатор C1.

Изменяя величину сопротивления R_k ($R4 \div R8$), с помощью осциллографа снять временные диаграммы работы транзисторного ключа, а с помощью частотомера XFC1, определить значения t_ϕ и t_c , заполнить таблицу 2.

Таблица 2

R_k	130 Ом	910 Ом	5,1 кОм	10 кОм	22 кОм
$t_{\phi c1}$					
$t_{c c1}$					

Провести анализ влияния форсирующего конденсатора на параметры переходных процессов при включении и выключении транзисторного ключа.

Варианты заданий при моделировании в Multisim :

Вариант	$E_k(V_3)$ В	C_1 пФ
1,6,11,16,21,26	8	1000
2,7,12,17,22,27	9	1100
3,8,13,18,23,28	10	1200
4,9,14,19,24,29	11	1300
5,10,15,20,25,30	12	1400

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Наименование и цель работы.
2. Перечень приборов, использованных в экспериментах, с их краткими характеристиками.
3. Изображения электрических схем и показаний приборов при исследовании работы транзисторного ключа на биполярном транзисторе.
4. Таблицы результатов измерений и данные расчётов параметров транзисторного ключа.
5. Выводы по работе.

Контрольные ВОПРОСЫ

1. Каково назначение ключевой схемы?
2. Какими основными параметрами характеризуется ключ?
3. Как зависят параметры переходных процессов от глубины насыщения?
4. Что такое инверсное запирающее ТК?
5. В чем смысл введения форсирующего конденсатора?
6. Как влияет амплитуда входного сигнала на параметры транзисторного ключа?
7. Поясните процессы в транзисторном ключе по временной диаграмме.