

Задание

- Измерить статический коэффициент усиления по току транзистора, установленного в ключе.
- Исследовать статические состояния ТК при различных R_k . Определить величину сопротивления R_k , соответствующую границе насыщения.
- Исследовать характеристики ТК в динамическом режиме. Выявить зависимости основных параметров переходных процессов τ_{ϕ} , $\tau_{\text{рас}}$ и τ_c от амплитуды входного напряжения. Построить соответствующие графики. Для одного из значений входного напряжения рассчитать τ_{ϕ} , $\tau_{\text{рас}}$ и τ_c по приведенным формулам. Оценить расхождение расчетных величин и измеренных.
- Исследовать влияние форсирующего конденсатора на основные параметры переходных процессов.
- Определить, на какие параметры ТК оказывает влияние конденсатор нагрузочной цепи.
- Определить, при каких параметрах коммутируемых элементов схемы ТК макета возникает инверсное запираение.

Нахождение «граничной точки»

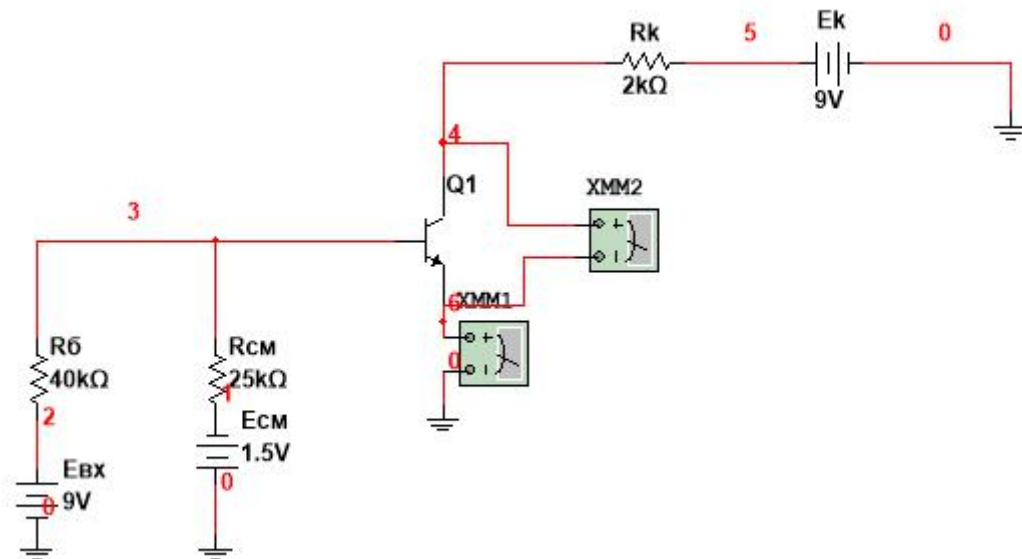


Рисунок 1 - Исходная схема

Чтобы найти «граничную точку», можно поднять ток коллектора, уменьшив значение сопротивления. Подберем такое значение сопротивления, чтобы соблюдалось соотношение:

$$\frac{E_k}{R_k} = B * I_b$$

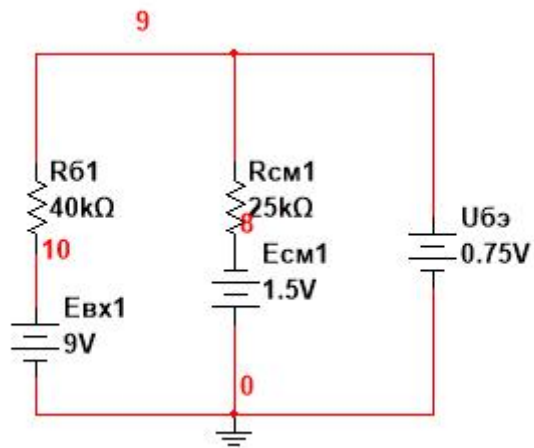


Рисунок 2 - Упрощенная схема

С помощью метода контурных токов вычислим ток базы I_B .

$$I_{B1} = \frac{10,5}{40000} - \frac{65000 \cdot (0,75 + 1,5)}{40000 \cdot 25000} = 0,00026 - 0,00007 = 0,000116 \text{ A}$$

$$B \cdot I = 120 \cdot 0,000116 = \frac{9}{R_k}$$

$R_k = 646 \text{ Ом}$ – подставим в исходную схему и проведем анализ dc sweep, чтобы увидеть граничную точку, при этом интервал для входного сигнала изменяется в интервале от 0 до 14 В.

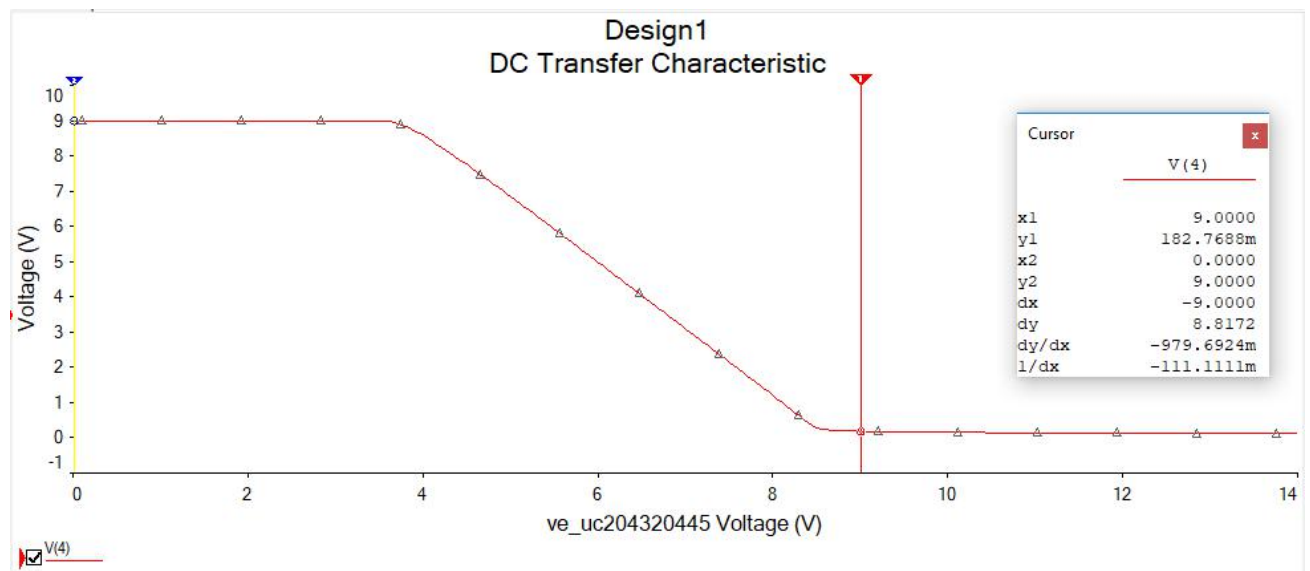


Рисунок 3 - Передаточная характеристика на DC

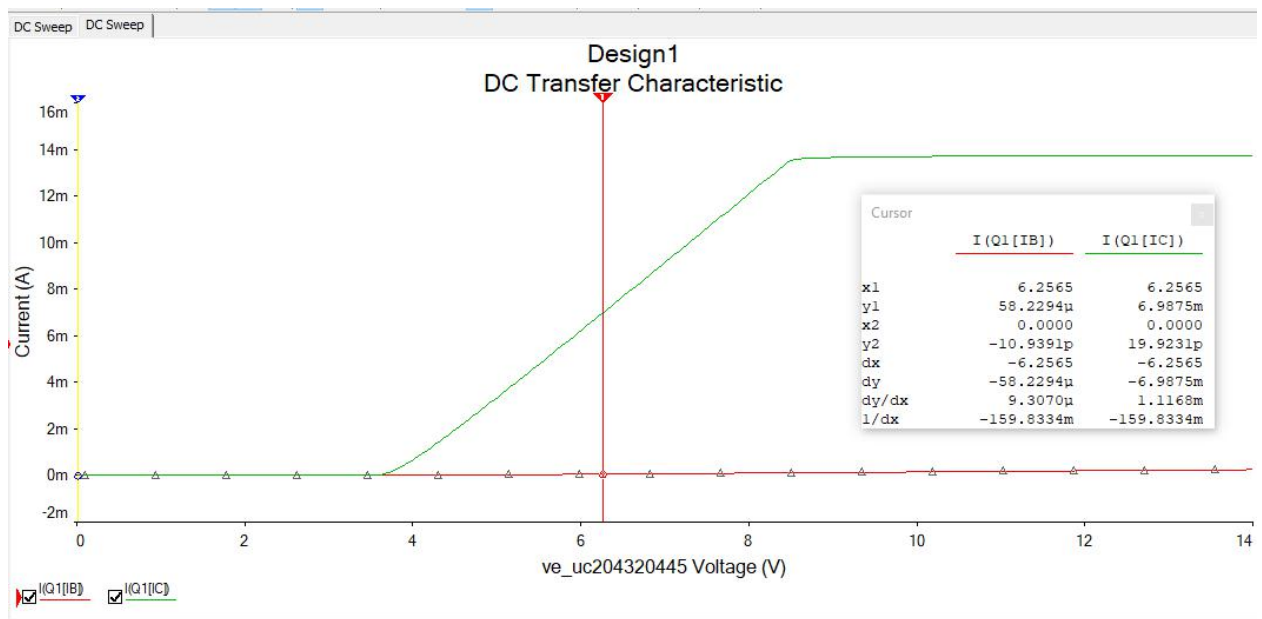


Рисунок 4 - График зависимости тока базы и тока эмиттера от входного напряжения

Из рисунка 4 можно найти $I_B = 58.2 \text{ мкА}$, $I_K = 6,9 \text{ мА}$

$$B = \frac{6900 \text{ мкА}}{58.2 \text{ мкА}} = 118.5$$

Исследование статического коэффициента усиления по току B при различных Rк

Найдем значения тока базы, тока коллектора, напряжение $U_{КЭ}$ и коэффициент усиления по току при разных значениях коллекторного сопротивления.

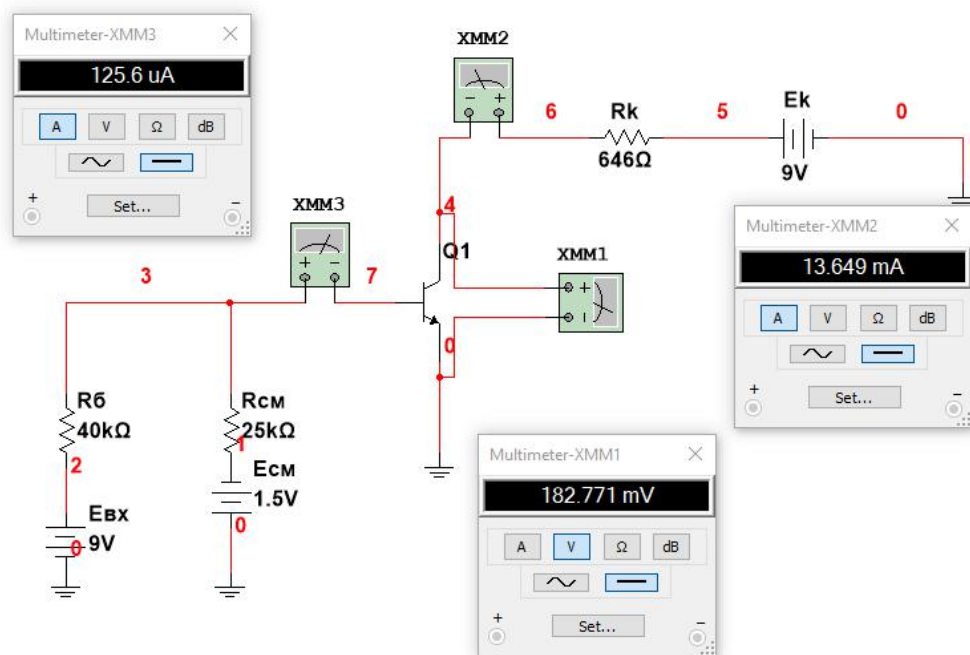


Рисунок 5 - Рассматриваемая схема с измерительными приборами

Таблица 1

R_k, Ω	$U_{кэ}, мВ$	$I_b, \mu A$	I_k, mA	B
10	8849,0	125,4	15,0	119,6
200	5989,0	125,4	15,0	119,6
646	182,7	125,6	13,6	108,2
1000	133,0	126,3	8,9	70,4
2000	102,2	127,4	4,4	34,5
5000	74,6	128,8	1,8	13,9

Из таблицы 1 следует, что при увеличении сопротивления в коллекторной цепи уменьшается коллекторный ток, вследствие чего уменьшается и коэффициент усиления по току.

Исследование динамических характеристик

Практическое измерение

Рассмотрим изменение $\tau_{ф}$, $\tau_{рас}$ и τ_c при различном входном периодическом напряжении. Частоту генератора примем равной 1КГц, сигнал прямоугольный.

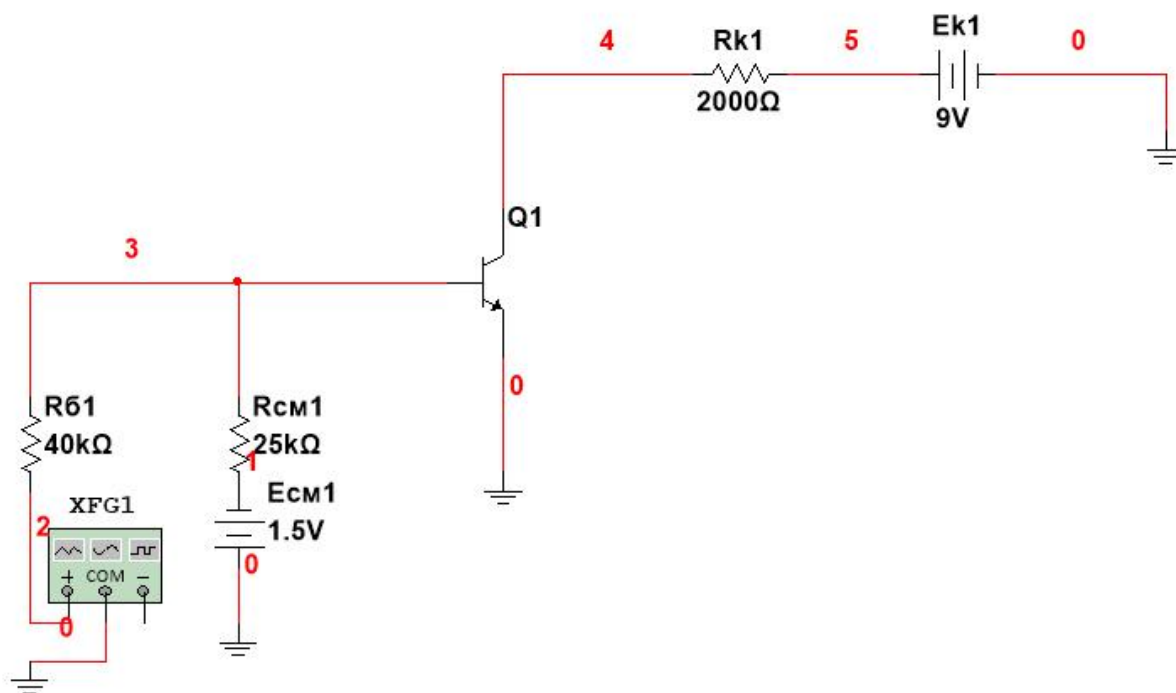


Рисунок 6 - Рассматриваемая схема

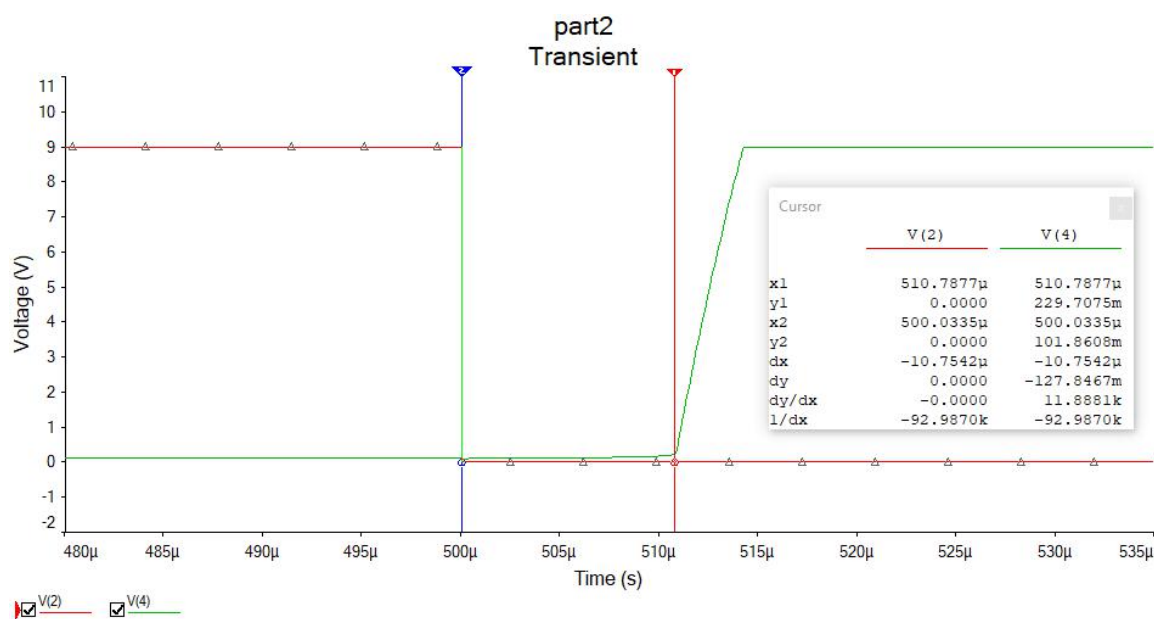


Рисунок 7 - Измерение времени рассеивания электронов ($R_k = 2000 \text{ Ом}$)

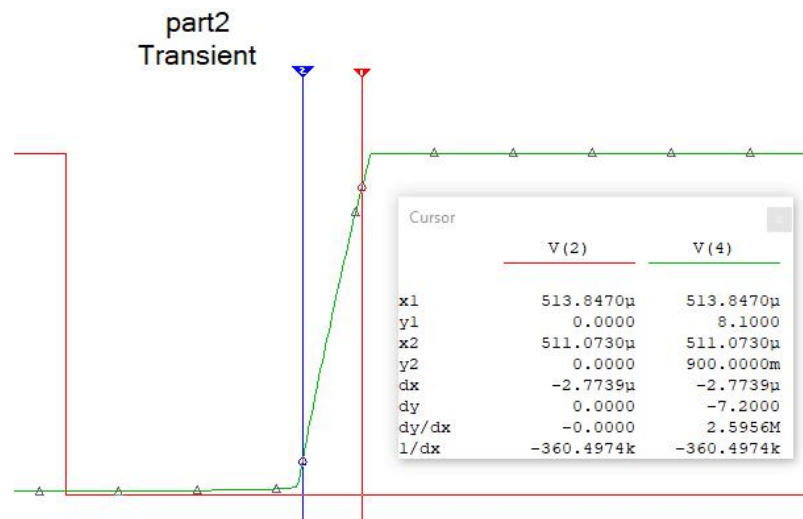


Рисунок 8 - Измерение времени ($R_k = 2000 \text{ Ом}$)

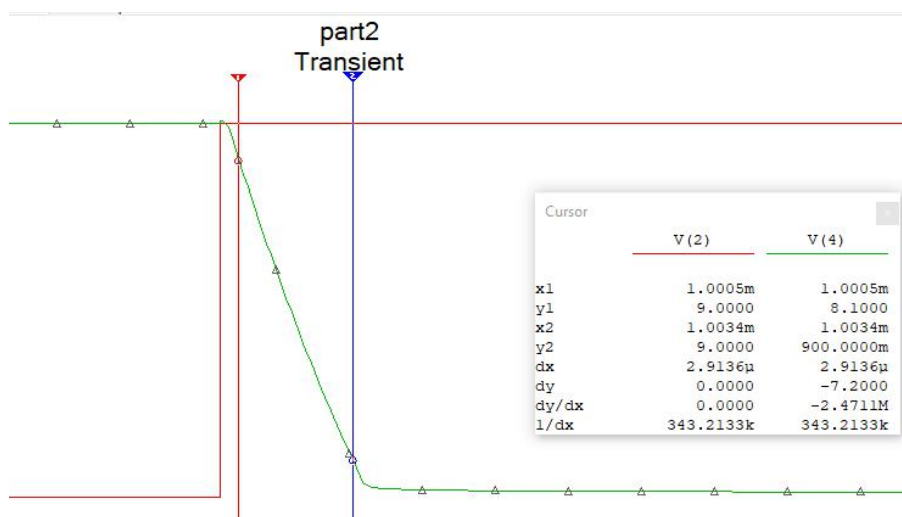


Рисунок 9 - Измерение времени ($R_k = 2000 \text{ Ом}$)

Из рисунков 7,8,9 можно найти τ_{ϕ} , $\tau_{\text{рас}}$ и τ_c для $E_{\text{г}} = 9 \text{ В}$. Аналогично найдем эти величины для разных значений амплитуды входного сигнала.

Таблица 2

Ег, В	τ_{ϕ} , мкс	$\tau_{\text{рас}}$, мкс	τ_c , мкс
6	5.2	4.5	2.0
9	2.9	10.7	2.7
12	2.4	15.0	3.5

Из таблицы 2 видно, что при увеличении амплитуды входного сигнала время рассеивания электронов увеличивается и длительность среза увеличиваются, а длительность фронта – уменьшается.

Аналитические расчеты

Рассчитаем τ_{ϕ} , $\tau_{рас}$ и τ_c аналитически для $E_{г} = 9В$.

$$J_{б1} = \frac{E_{вх} + E_{см}}{R_б} - (R_б + R_{см}) * \frac{E_{см} + U_{бэ}}{R_{см} * R_б} = \frac{(9+1.5)}{40000} - (40000 + 25000) * \frac{\frac{1}{5} + 0.75}{25000 * 40000} = 0,0002 \text{ А}$$

$$J_{б2} = \frac{U_{бэ}}{R_{см}} + \frac{E_{см}}{R_{см}} = \frac{0.75}{25000} + \frac{1.5}{25000} = 0.00009 \text{ А}$$

$$\tau_H = (3...20)\tau_B = 3\tau_B = 2.8 * 10^{-5} \text{ с}$$

$$f_B = \frac{f\alpha}{B+1} = \frac{2000000}{121} = 16529 \text{ Гц}$$

$$J_{бH} = \frac{E_K}{B * R_K} = \frac{9}{120 * 2000} = 0.0000375 \text{ А}$$

$$\tau_B = \frac{1}{2 * \pi * f_B} = \frac{1}{2 * 3.1415 * 16529} = 9.6 * 10^{-6} \text{ с}$$

$$S = \frac{J_{б1}}{J_{бH}} = \frac{0.0002}{0.0000375} = 5.33$$

$$\tau_{\phi} = \tau_B * \ln\left(\frac{S - 0.1}{S - 0.9}\right) = 9.6 * 10^{-6} * \ln\left(\frac{5.33 - 0.1}{5.33 - 0.9}\right) = 1.6 * 10^{-6} \text{ с}$$

$$\tau_{рас} = \tau_H * \ln\left(\frac{S * J_{бH} + J_{б2}}{J_{бH} + J_{б2}}\right) = 2.8 * 10^{-5} * \ln\left(\frac{5.33 * 0.0000375 + 0.00009}{0.0000375 + 0.00009}\right) = 22 * 10^{-6} \text{ с}$$

$$\tau_c = \tau_B * \ln\left(\frac{\frac{J_{б1}}{S} + J_{б2}}{J_{б2}}\right) = 9.6 * 10^{-6} * \ln\left(\frac{\frac{0.0002}{5.33} + 0.00009}{0.00009}\right) = 3.34 * 10^{-6} \text{ с}$$

Сравнительная таблица

	$E_{г}, \text{ В}$	$\tau_{\phi}, \text{ мкс}$	$\tau_{рас}, \text{ мкс}$	$\tau_c, \text{ мкс}$
Замеренные значения	9	2.9	10.7	2.7
Вычисленные значения	9	1.6	22	3.3
Δ	-	1.3	11.3	0.6

Влияние форсирующего конденсатора на параметры переходных процессов

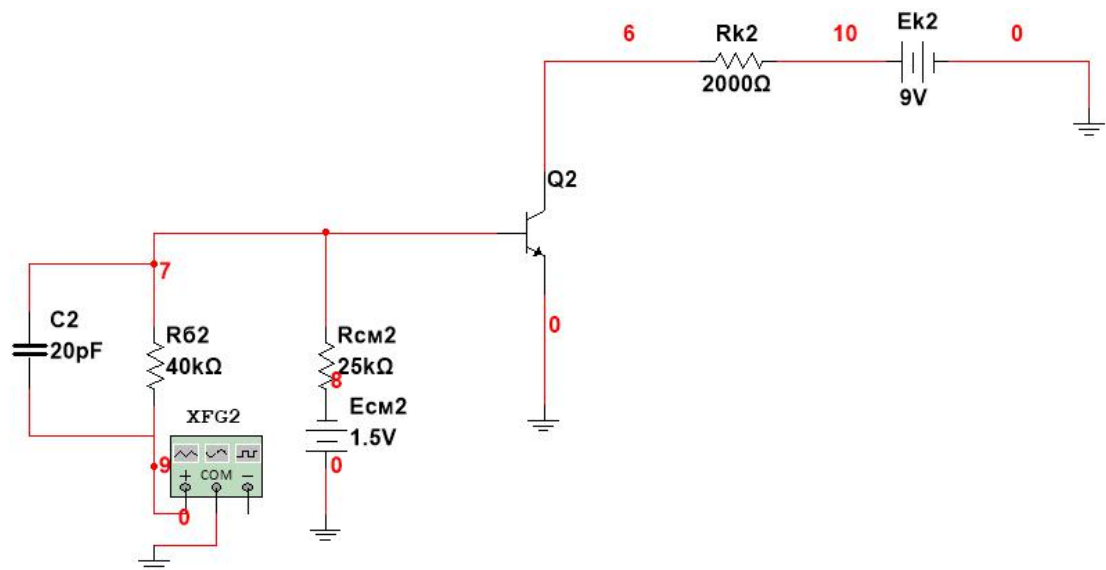


Рисунок 10 - Рассматриваемая схема (с форсирующим конденсатором)

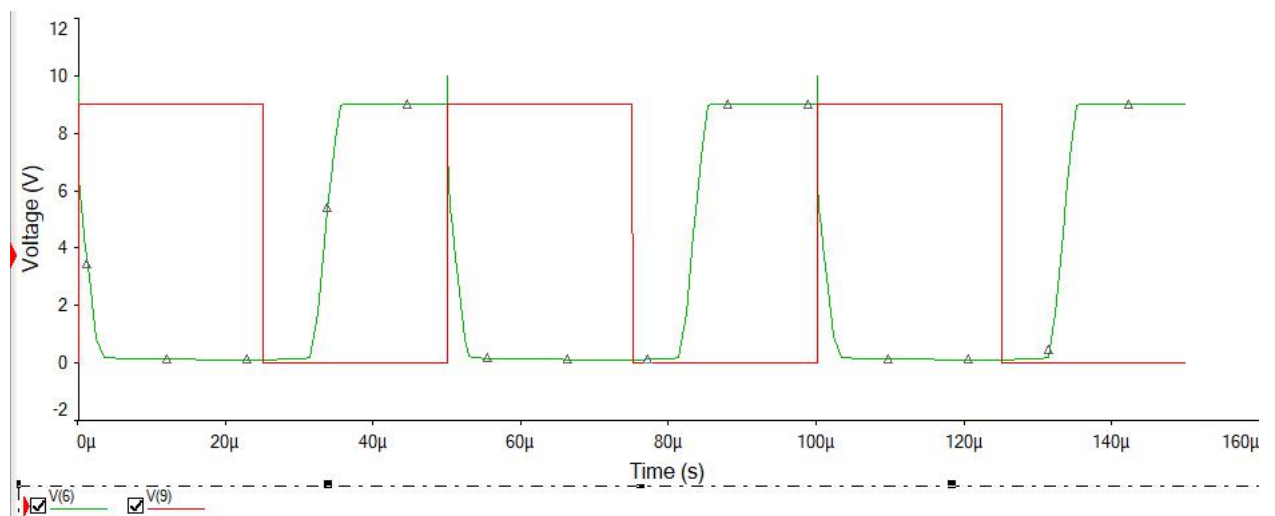


Рисунок 11 - Зависимость I_{ck} от времени при наличии форсирующей емкости $C = 20\text{pF}$

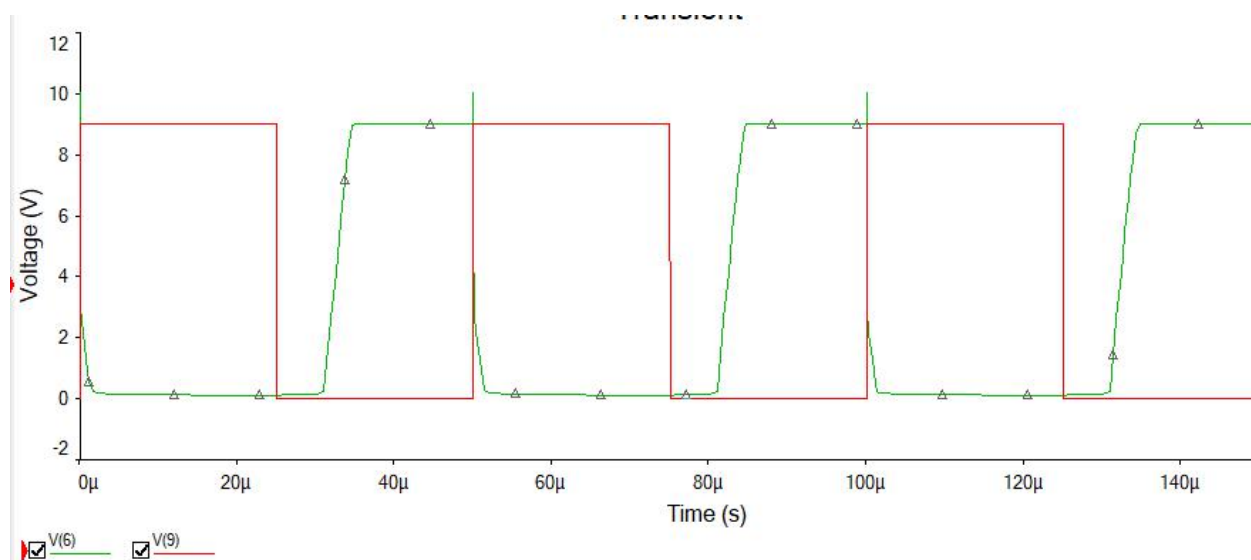


Рисунок 12 – Зависимость $U_{кэ}$ от времени при наличии форсирующей емкости $C = 40\text{pF}$

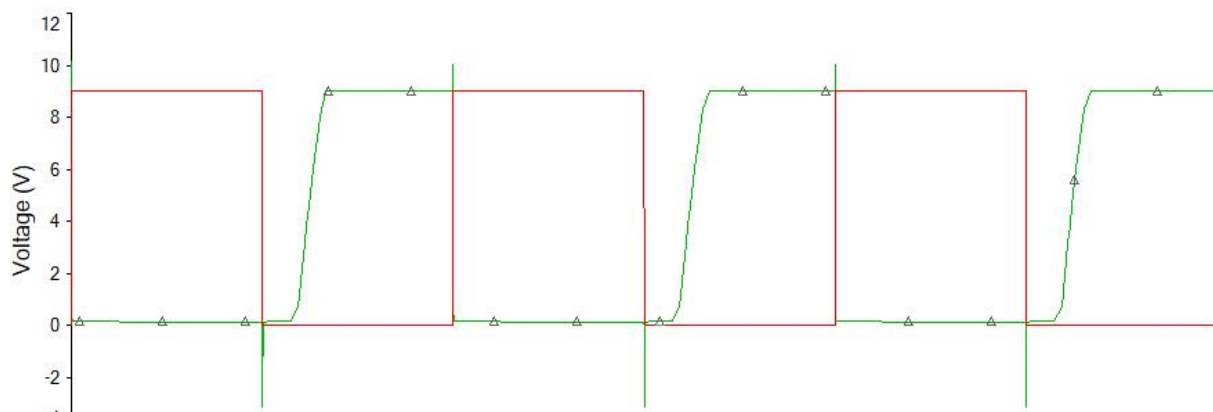


Рисунок 13 – Зависимость $U_{кэ}$ от времени при наличии форсирующей емкости $C = 80\text{pF}$

Таблица 3

C , pF	τ_{ϕ} , мкс	$\tau_{\text{рас}}$, мкс	τ_c , мкс
20	2.2	6.3	3.0
40	0.9	5.9	2.8
80	0.01	4.2	2.8

Как видно из таблицы 3, при увеличении форсирующей емкости уменьшается время длительность фронта и время рассасывания электронов.

Влияние ёмкостной нагрузки на параметры переходных процессов

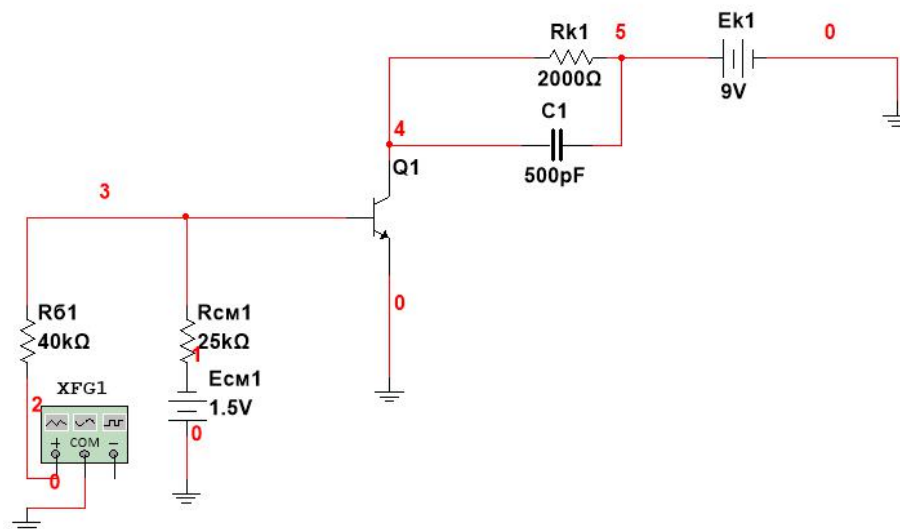


Рисунок 14 - Рассматриваемая схема (с нагрузочным конденсатором)

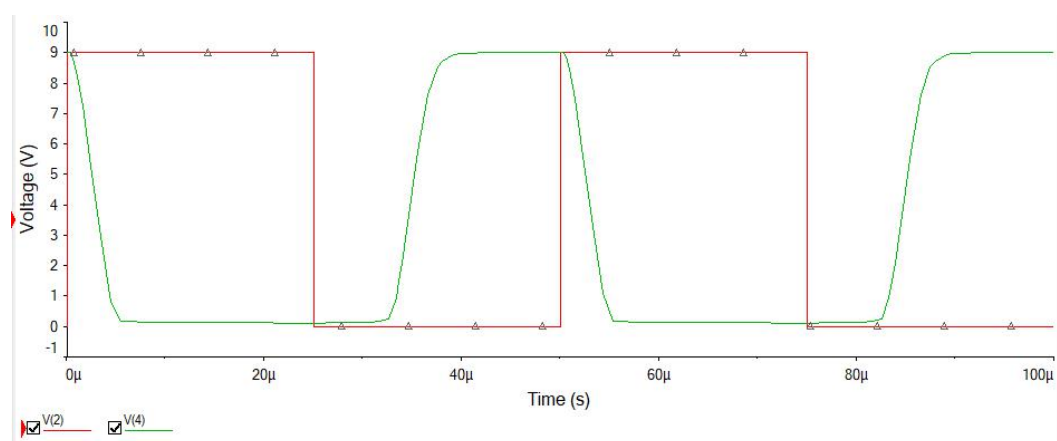


Рисунок 15 – Зависимость $U_{кэ}$ от времени при наличии нагрузочной емкости $C = 500\text{pF}$

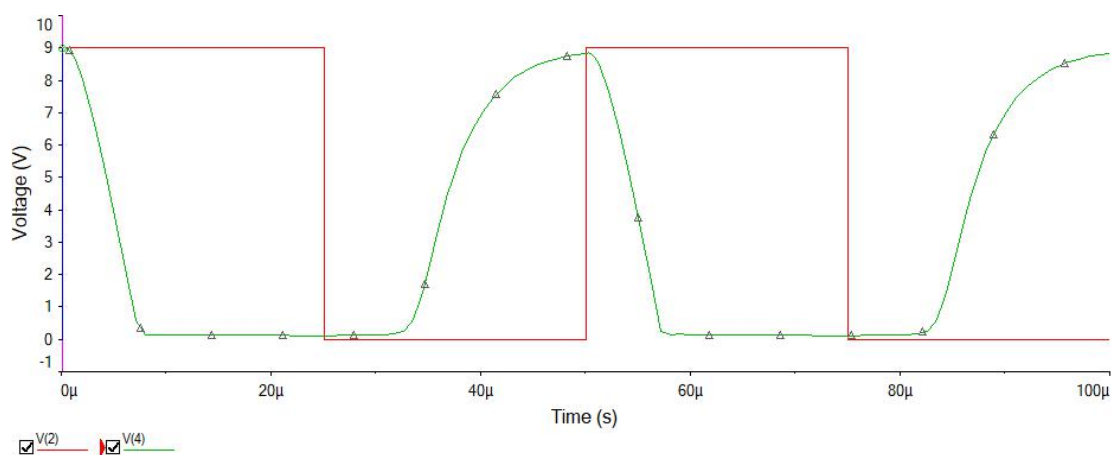


Рисунок 16 - Зависимость $U_{кэ}$ от времени при наличии нагрузочной емкости $C = 2\text{nF}$

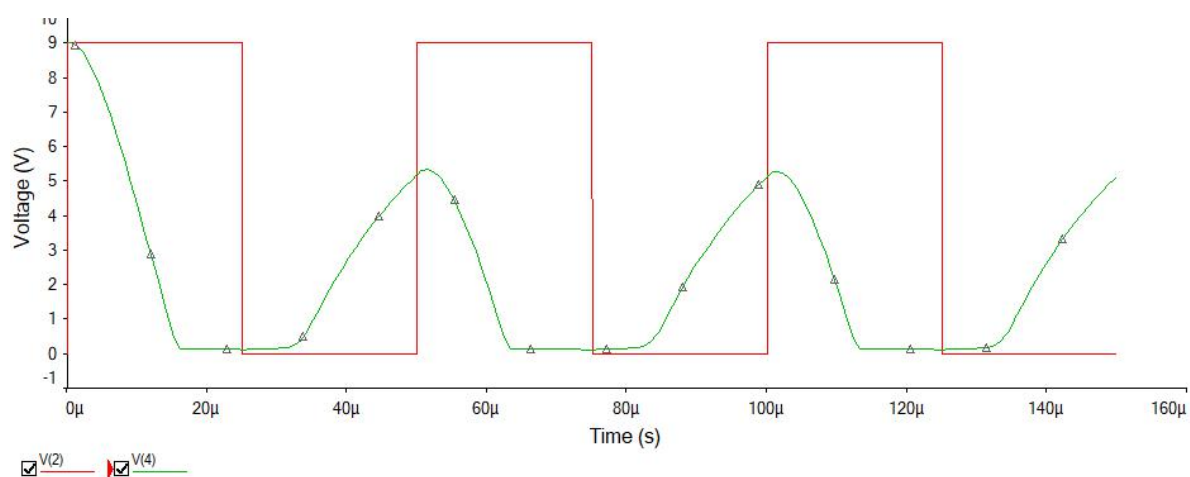


Рисунок 17 - Зависимость $U_{кэ}$ от времени при наличии нагрузочной емкости $C = 10\text{nF}$

Таблица 4

C, nF	$\tau_{\phi}, \text{мкс}$	$\tau_{\text{рас}}, \text{мкс}$	$\tau_c, \text{мкс}$
0.5	3.4	7.5	3.7
2	5.0	7.1	9.4
10	10.3	7.3	16.4

Как видно из таблицы 4, при увеличении нагрузочной емкости увеличивается время рассасывания электронов и длительность фронта.

Инверсное запираение ключа

Чтобы достичь инверсного запираения ключа, снизим сопротивление в цепи базы в 1000 раз, установим частоту генератора 5КГц и увеличим сопротивление коллекторной цепи в 1,85 раза, чтобы уменьшить ток коллектора и увеличить ток базы.

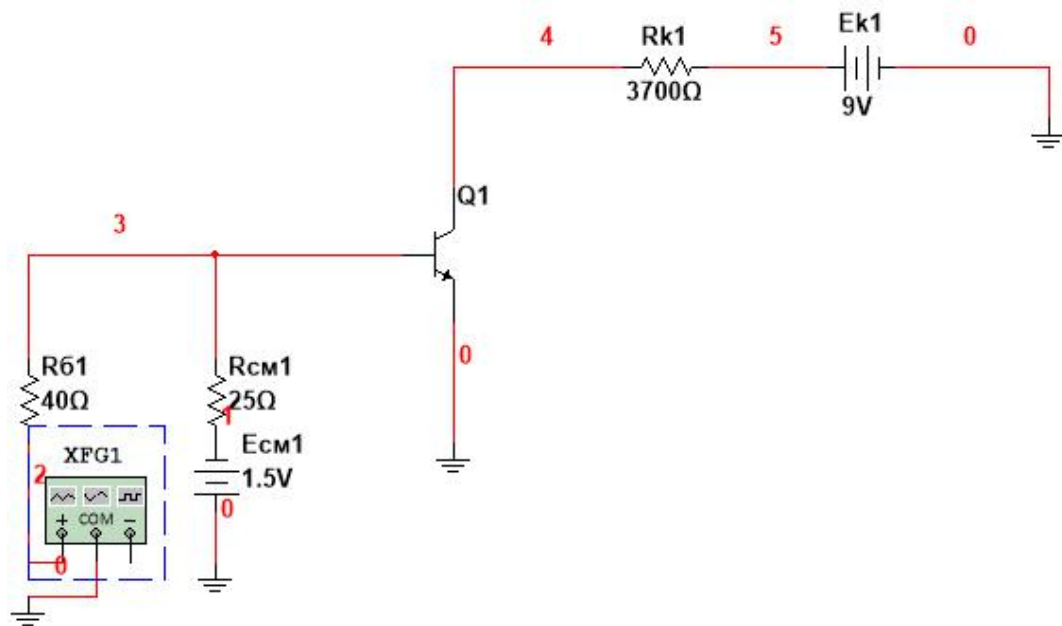


Рисунок 18 - Рассматриваемая схема

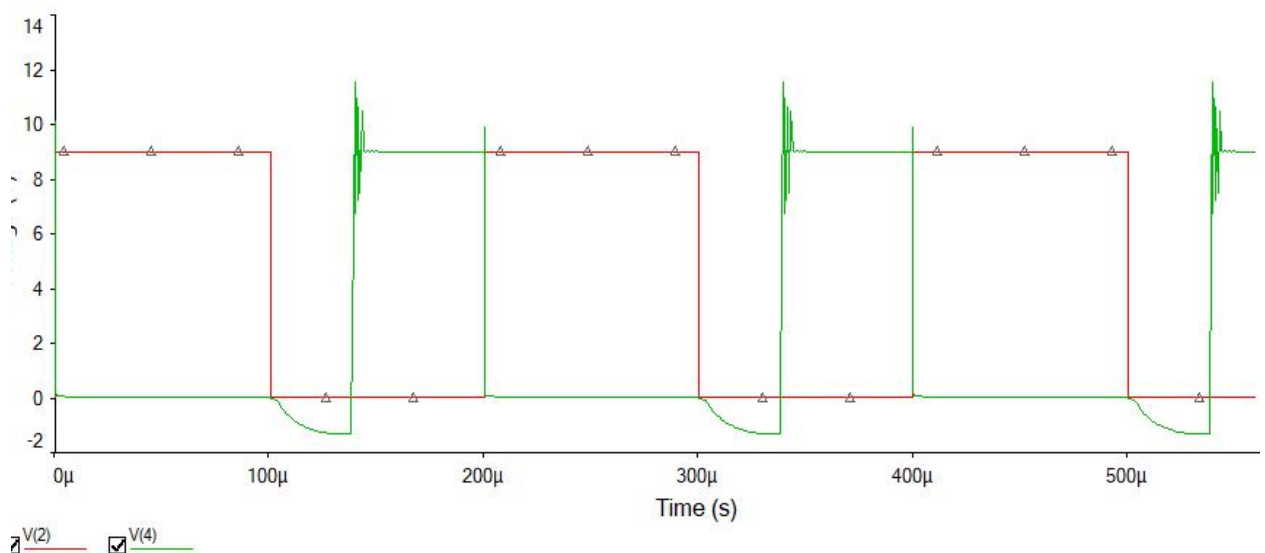


Рисунок 19 - Зависимость $I_{кз}$ от времени в режиме инверсного запираения ключа

Выводы

В данной лабораторной работе были исследованы статические режимы и переходные процессы в схеме простого транзисторного ключа. Изучены зависимости τ_{ϕ} , $\tau_{\text{рас}}$ и $\tau_{\text{с}}$ от входного напряжения и наличия нагрузочного или форсирующего конденсатора, а также рассмотрен режим инверсного запираания ключа.