



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Московский государственный технический университет  
имени Н.Э. Баумана  
(национальный исследовательский университет)»  
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

---

ФАКУЛЬТЕТ ИНФОРМАТИКА И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

КАФЕДРА КОМПЬЮТЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ (ИУ6)

НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ 09.03.01 Информатика и вычислительная техника

**О Т Ч Е Т**

по лабораторной работе № 3

**Вариант 12**

**Название:** Ключевой режим работы транзистора

**Дисциплина:** Электроника

Студент

ИУ6-43Б

(Группа)

\_\_\_\_\_  
(Подпись, дата)

В.К. Залыгин

(И.О. Фамилия)

Преподаватель

\_\_\_\_\_  
(Подпись, дата)

Н.В. Аксенов

(И.О. Фамилия)

Москва, 2024

## Вариант

Таблица 1 – Значения по варианту

№	Rб Ом	B	Br	Is A	Cбк f	Cбэ f	τr с	rб Ом	Fα Гц	Rк Ом	Есм В	Rсм Ом	Uбэ	Евх В	Ек В
12	35.000	90	1,1	1,00 E-12	7,50E -11	4,00E-12	2,00E -05	30	2,00E6	2.500	1,6	25.000	0,75	10	10

## Выполнение

Время переноса заряда  $TF = \frac{1}{2\pi F_\alpha} = \frac{1}{2\pi \cdot 2 \cdot 10^6} = 7.96 \cdot 10^{-8}$ .

Исходная схема находится в состоянии насыщения, это показано на рисунке 1.

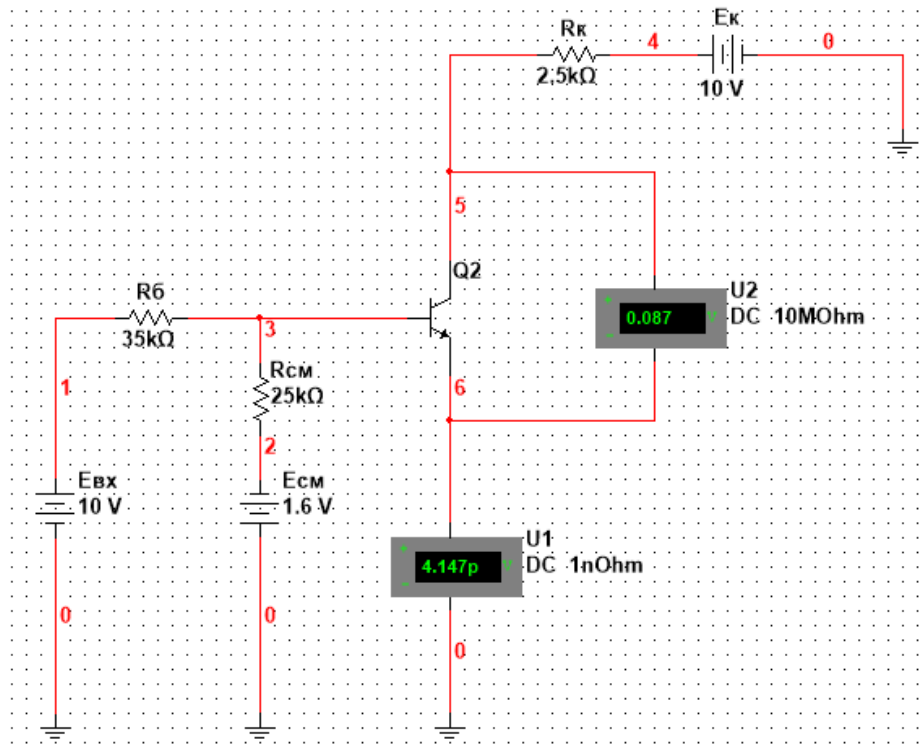


Рисунок 1 – исходная схема в состоянии насыщения

Нахождение тока базы  $J_6$  по методу контурных токов:

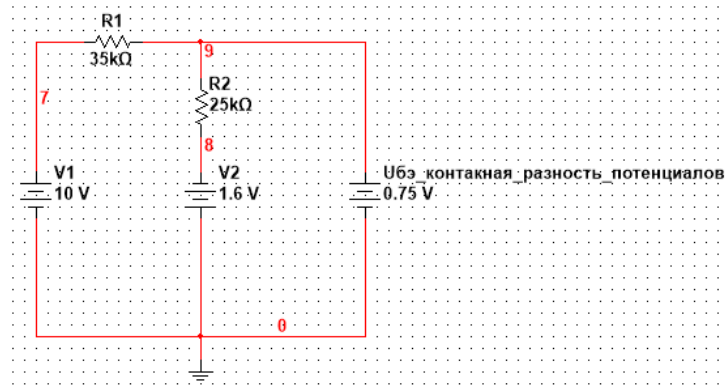


Рисунок 2 – Схема для нахождения тока

$$\begin{cases} J_{11} * (R_6 + R_{см}) - J_{22} * R_{см} = E_{вх} + E_{см} \\ -J_{11} * R_{см} + J_{22} * R_{см} = -E_{см} - U_{бэ} \end{cases} \quad \begin{matrix} R_{11} = R_6 + R_{см} & E_{11} = E_{вх} + E_{см} \\ R_{22} = -R_{см} & E_{22} = -E_{см} - U_{бэ} \\ R_{12} = R_{21} = -R_{см} & \text{т.к. токи встречные} \end{matrix}$$

$$\begin{cases} J_{11} * R_{11} + J_{22} * R_{12} = E_{11} \\ J_{11} * R_{21} + J_{22} * R_{22} = E_{22} \end{cases}$$

$$\begin{cases} J_{11} * (R_6 + R_{см}) - J_6 * R_{см} = E_{вх} + E_{см} \\ -J_{11} * R_{см} + J_6 * R_{см} = -E_{см} - U_{бэ} \end{cases}$$

Тогда ток базы будет:

$$J_6 = (E_{вх} + E_{см})/R_6 - (R_6 + R_{см}) * (E_{см} + U_{бэ})/R_{см}/R_6 = 1.703 \cdot 10^{-4} \text{ A}$$

Граница режима насыщения:

$$R_k = E_k / (B * J_6) = 652 \text{ Ом}$$

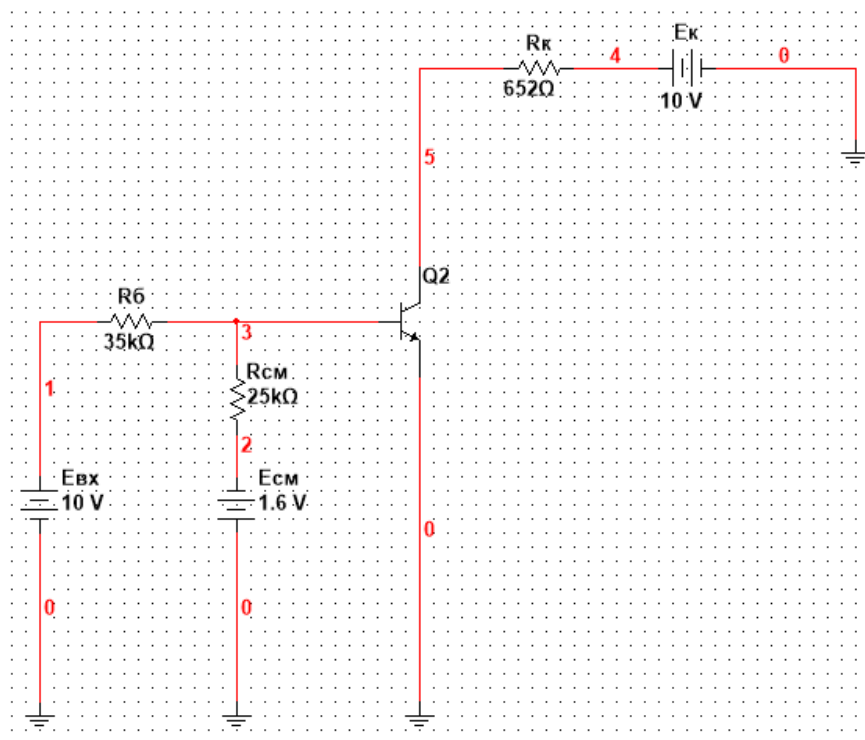


Рисунок 3 – схема с выставленным  $R_k$

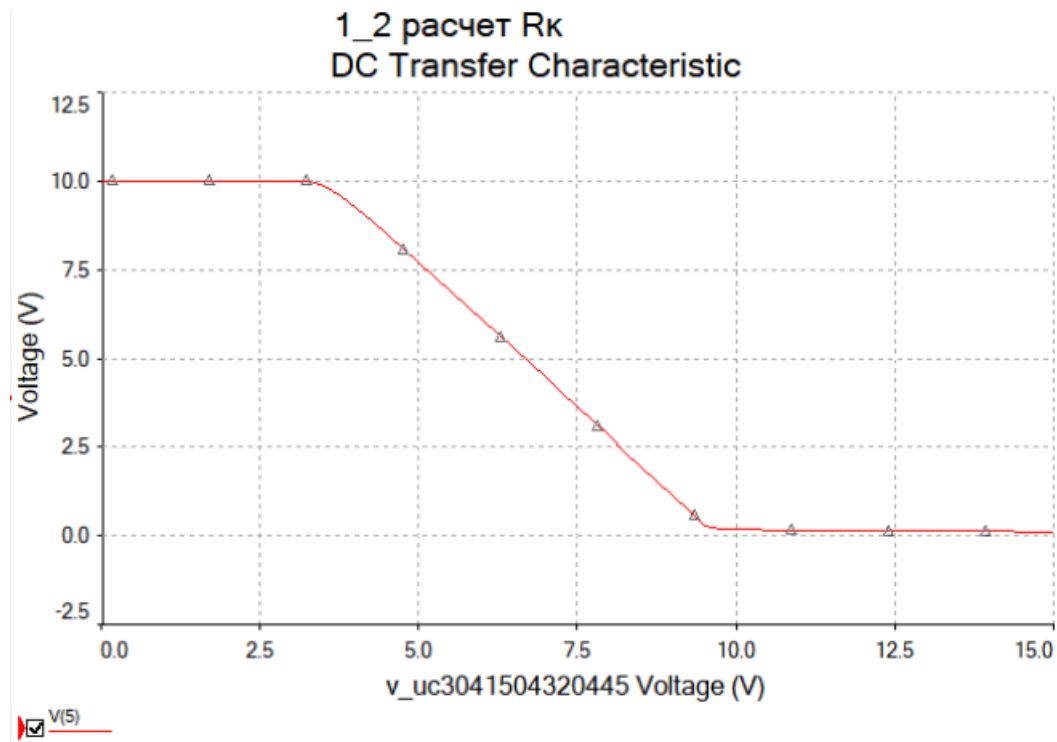


Рисунок 4 – Статический коэффициент усиления по току транзистора

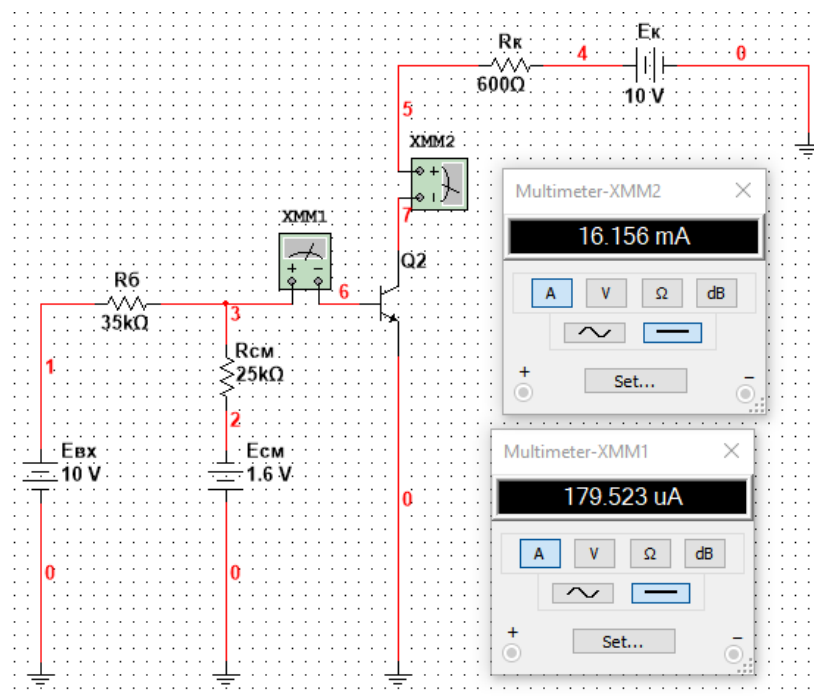


Рисунок 5 – Значения амперметров

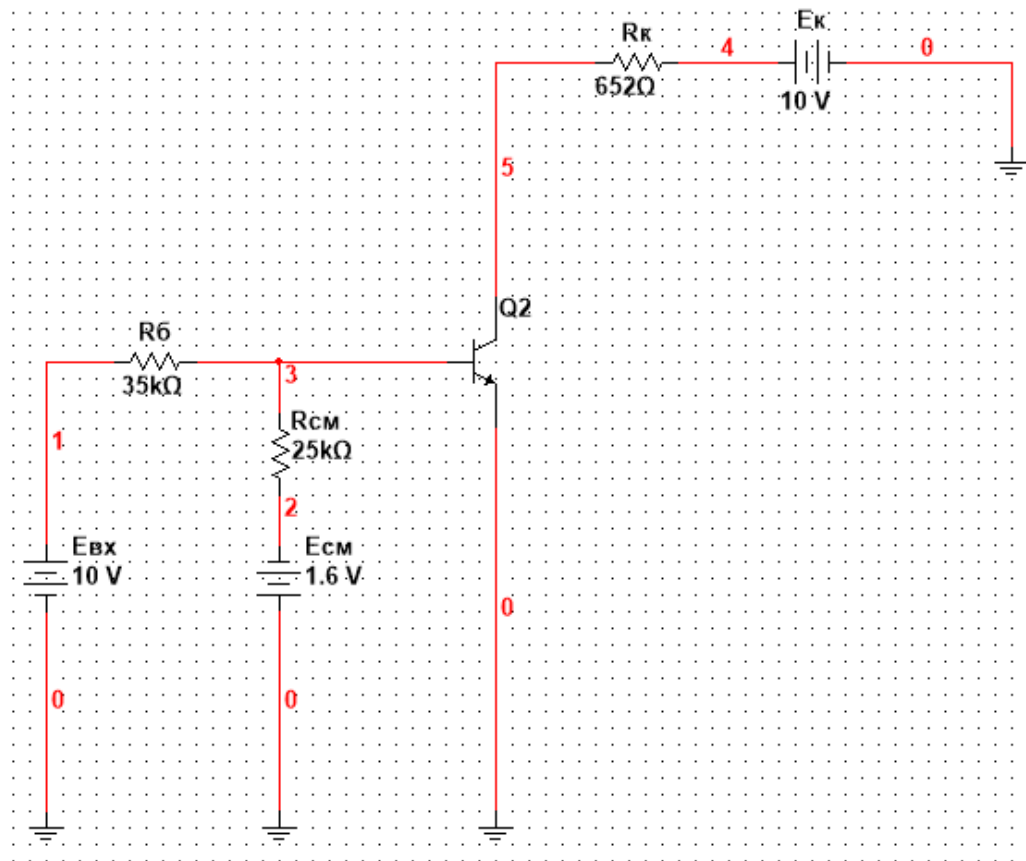


Рисунок 6 – схема для DC Sweep

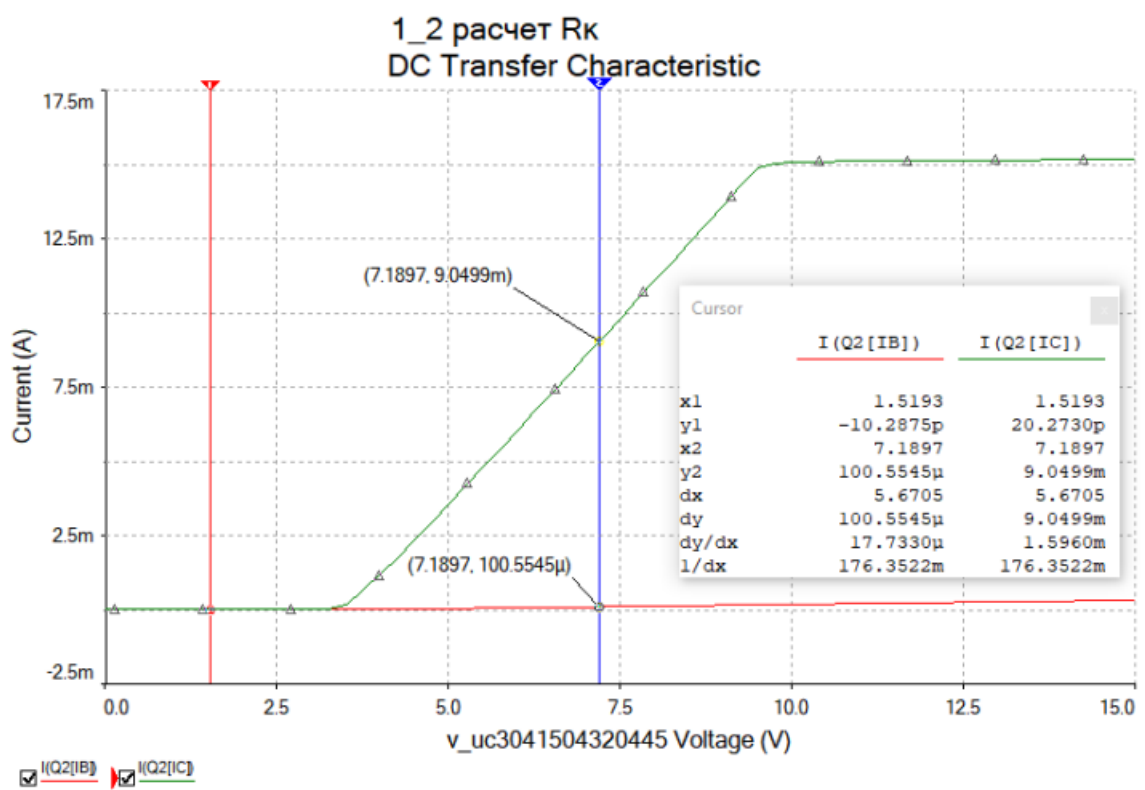


Рисунок 7 – DC Sweep

Таблица 2 – значения токов для различных анализов

По амперметрам	$B = J_K/J_6$	$J_K = 1,615E-02 \text{ A}$	$J_B = 1,79E-04$	<b>8,9994E+01</b>
DC Sweep	$B = J_K/J_6$	$J_K = 9,0499E-03 \text{ A}$	$J_B = 1,0055E-04$	<b>9,0000E+01</b>

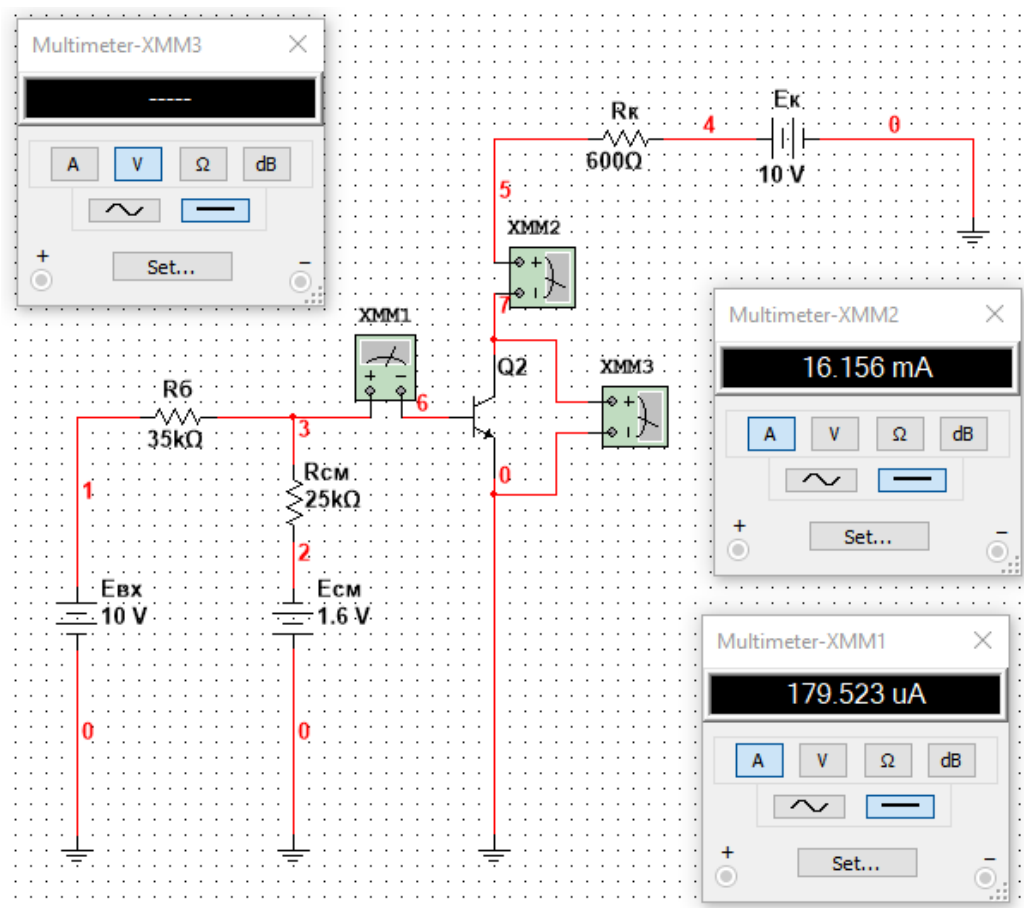


Рисунок 8 - Исследование статического коэффициента усиления по току  $B$  при различных  $R_K$

Таблица 3 – Результаты исследования

$R_K \text{ Ом}$	$U_{KЭ} \text{ В}$	$J_6 \text{ мкА}$	$J_K \text{ mA}$	$B$
5	9,919	179,523	16,165	90,044
50	9,192	179,523	16,165	90,044
100	8,383	179,523	16,165	90,044
300	5,15	179,523	16,166	90,050
450	2,725	179,523	16,166	90,050
600	0,306	179,523	16,156	89,994

700	0,163	179,856	14,052	78,129
800	0,144	180,078	12,319	68,409
1000	0,126	180,411	9,874	54,731
2000	0,094	181,521	4,953	27,286

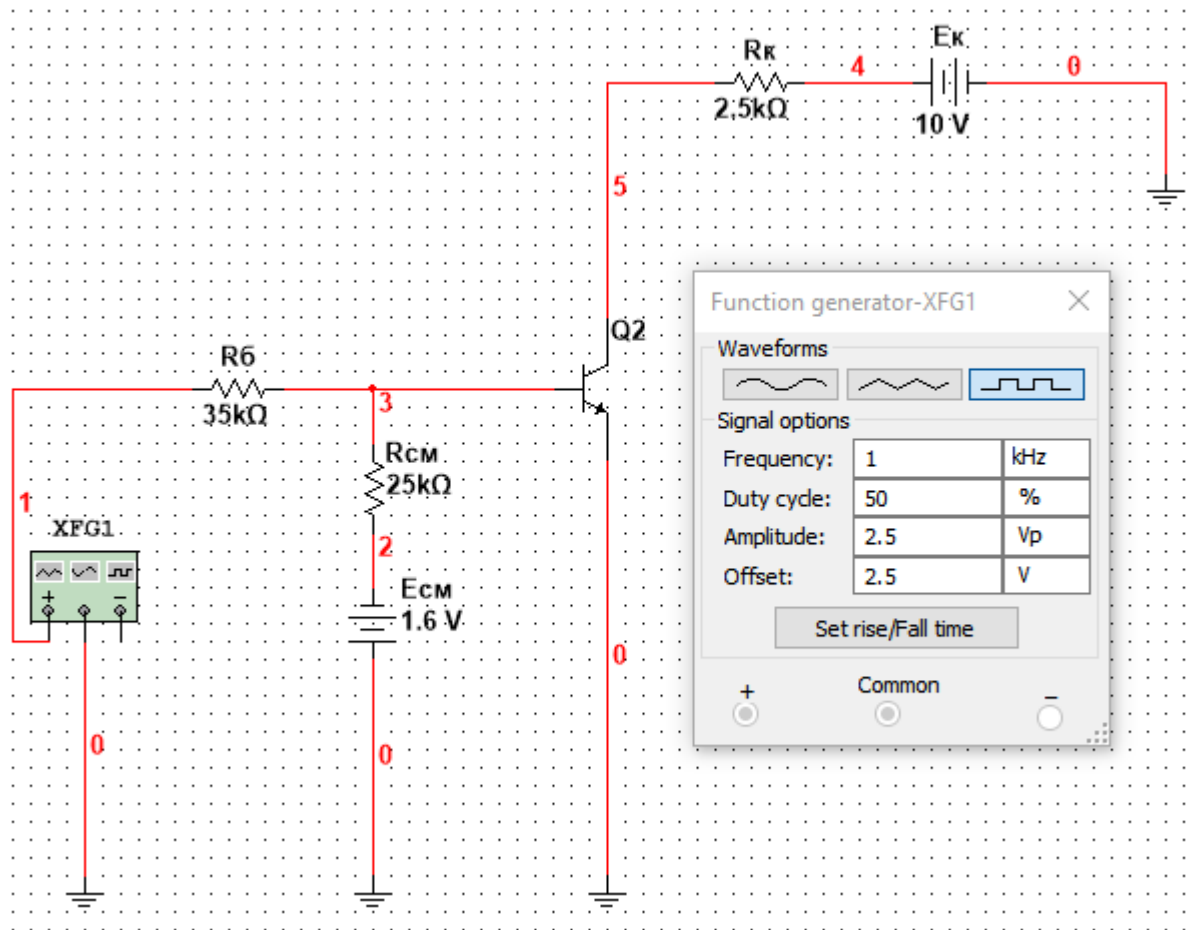


Рисунок 9 - Исследование динамических характеристик

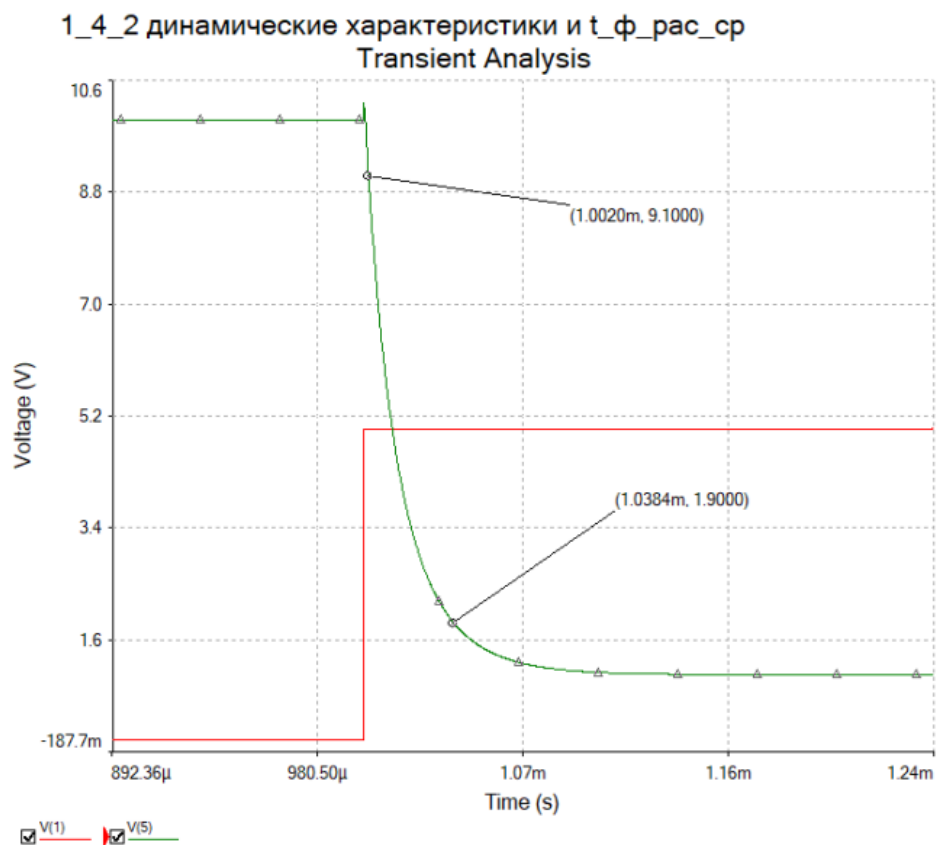


Рисунок 10 – график для 5В

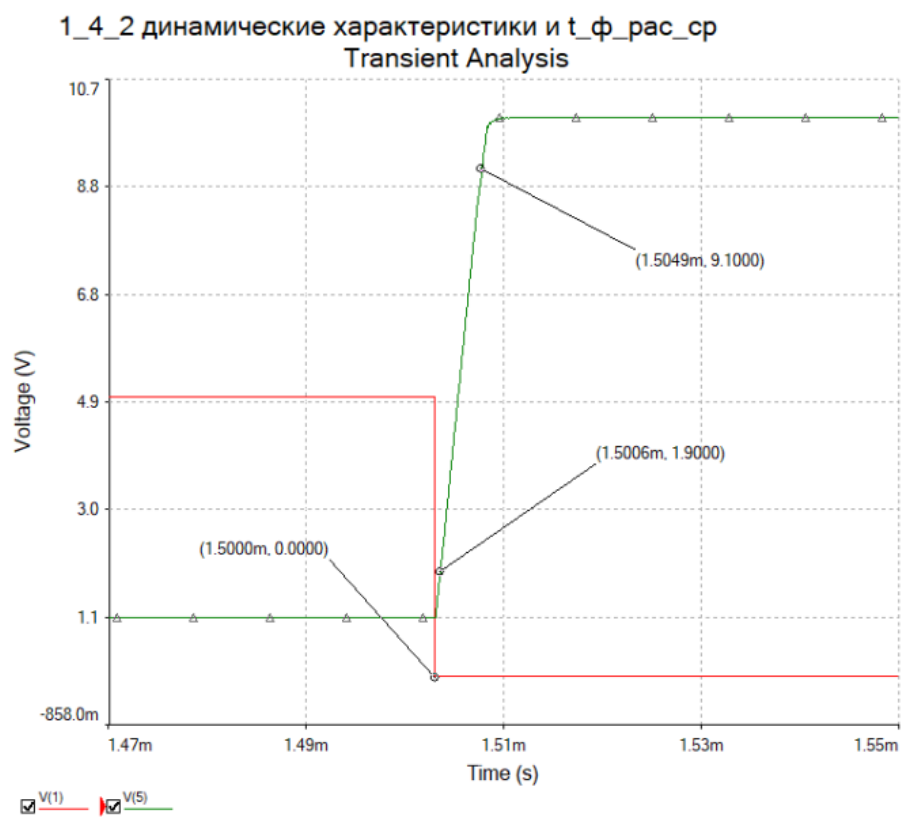


Рисунок 11 – график для 5В



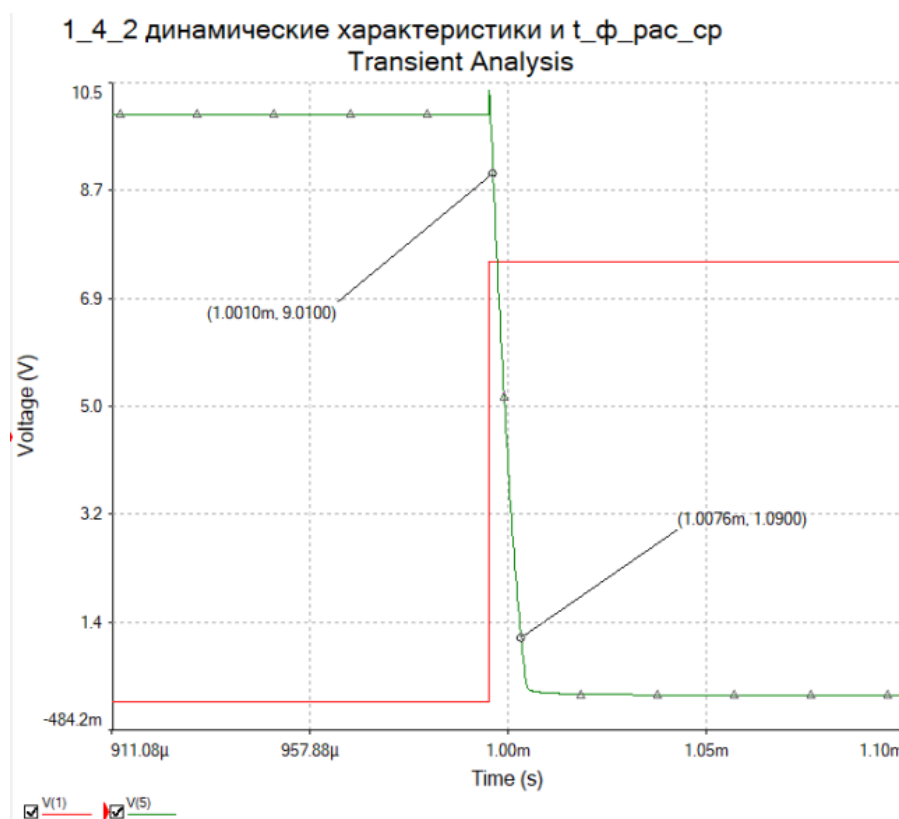


Рисунок 12 – График для 7.5В

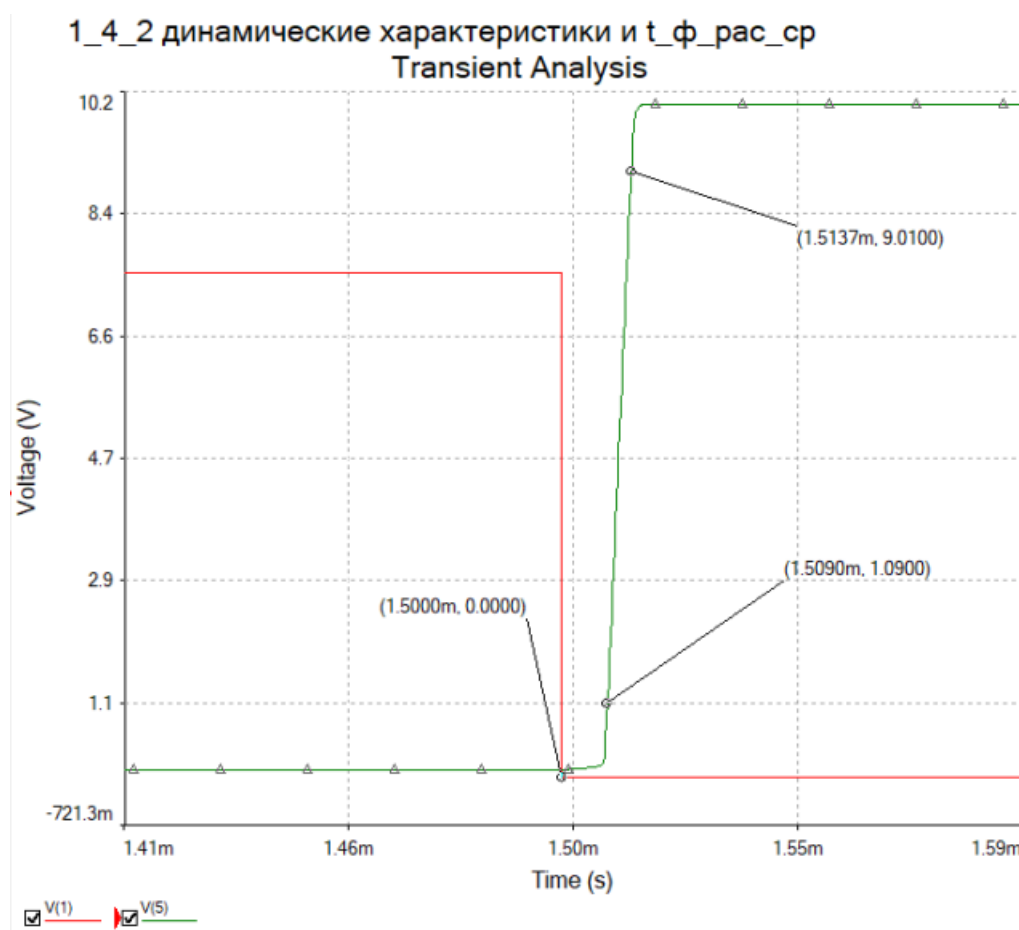


Рисунок 13 – График для 7.5В

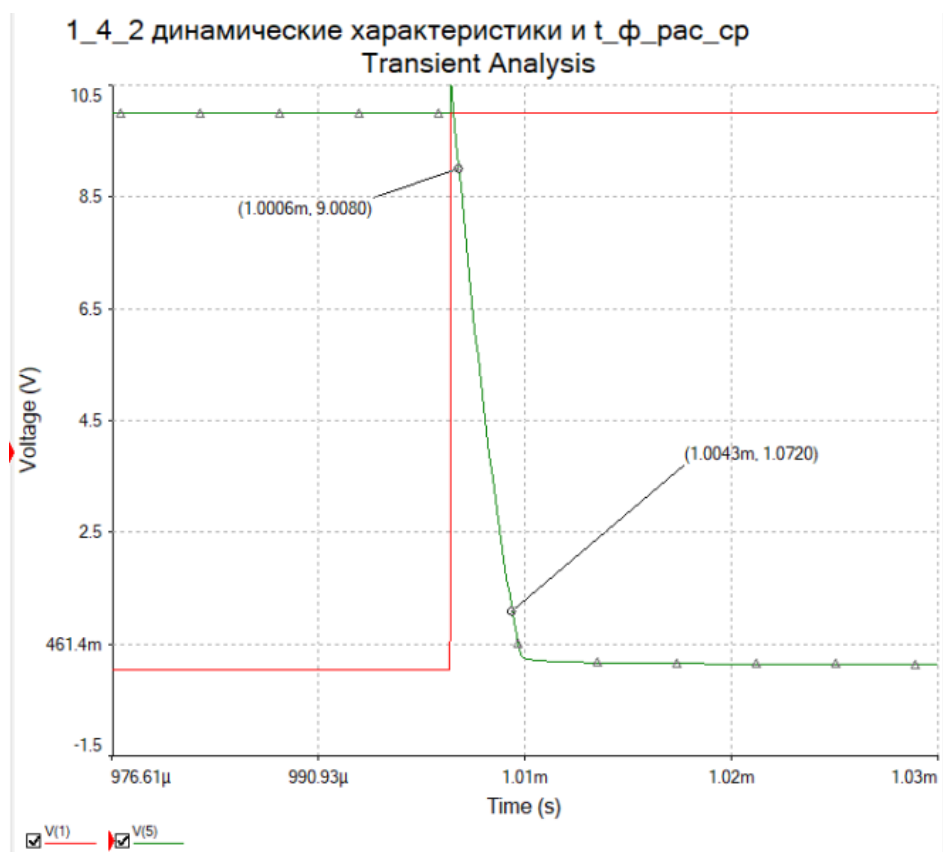


Рисунок 13 – График для 10В

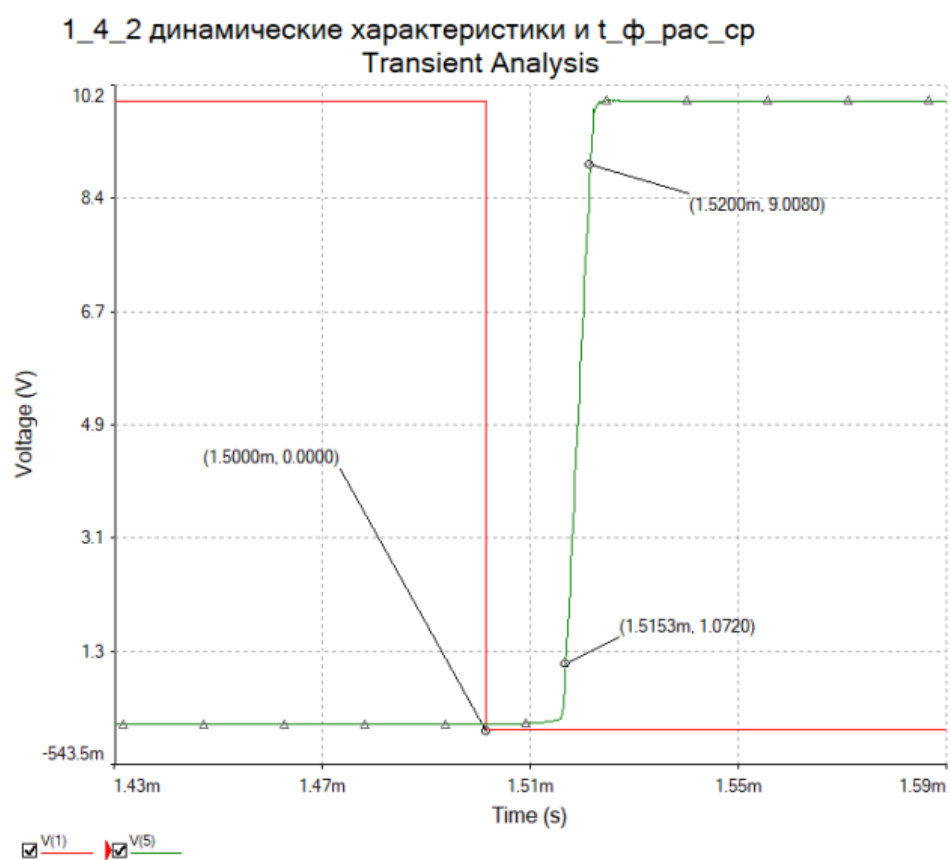


Рисунок 14 – График для 10В

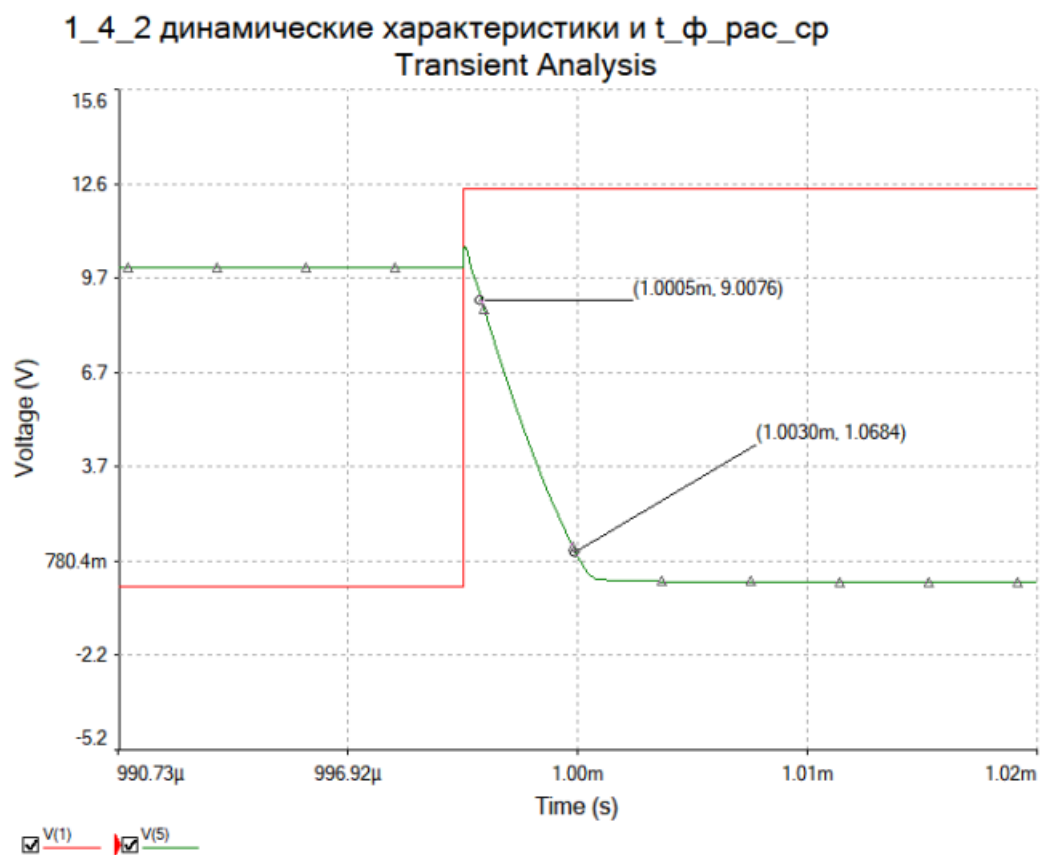


Рисунок 15 – График для 12.5В

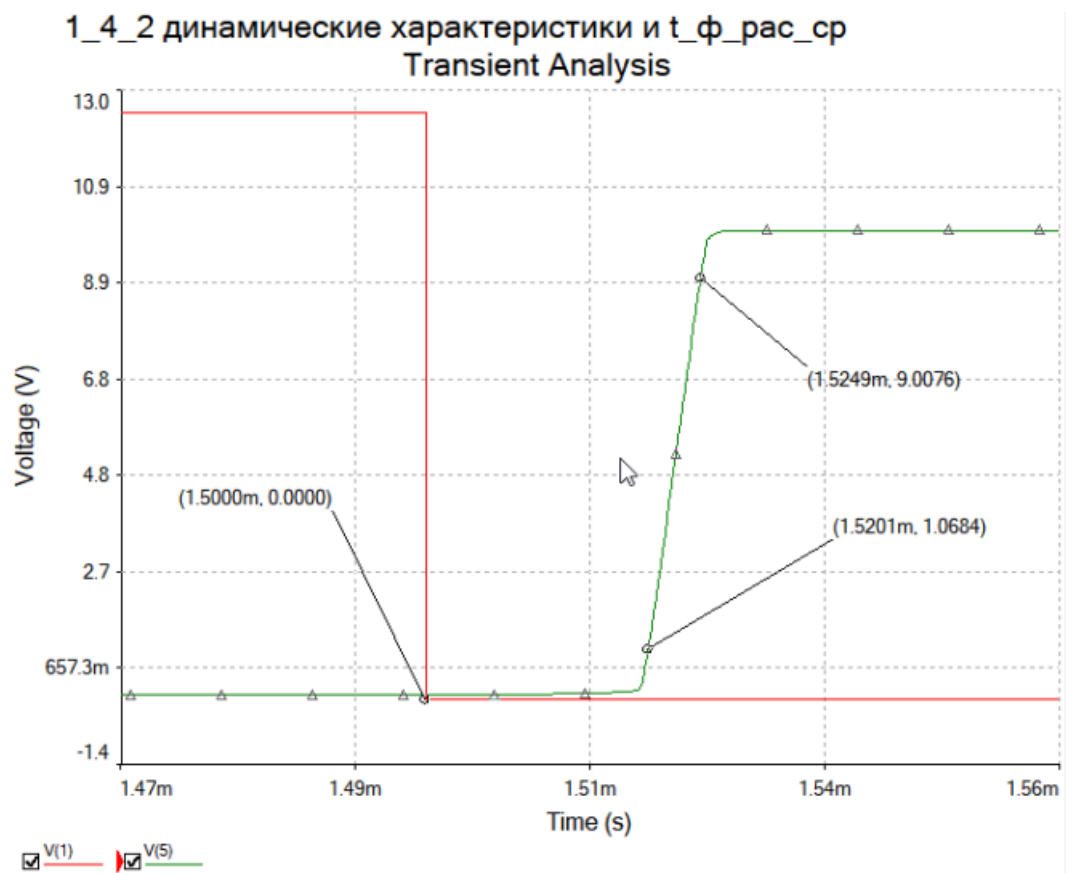


Рисунок 16 – График для 12.5В

1\_4\_2 динамические характеристики и  $t_{ф\_рас\_ср}$   
Transient Analysis

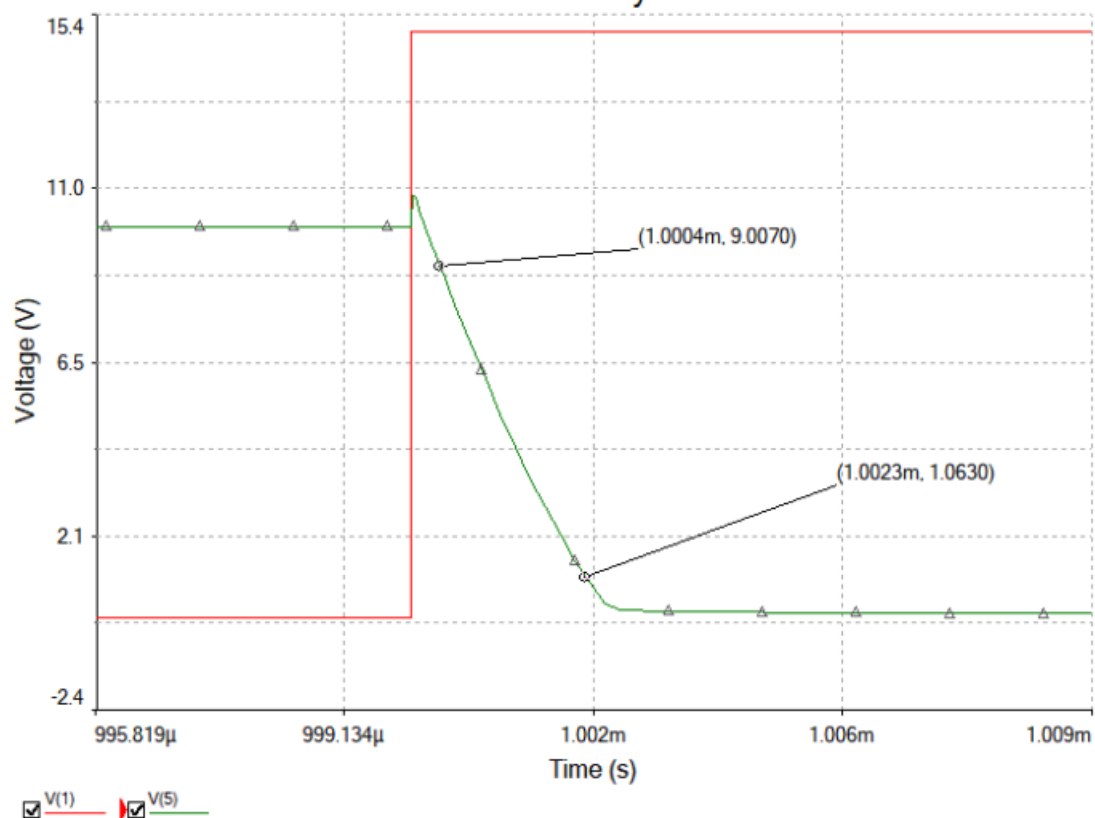


Рисунок 16 – График для 15В

1\_4\_2 динамические характеристики и  $t_{ф\_рас\_ср}$   
Transient Analysis

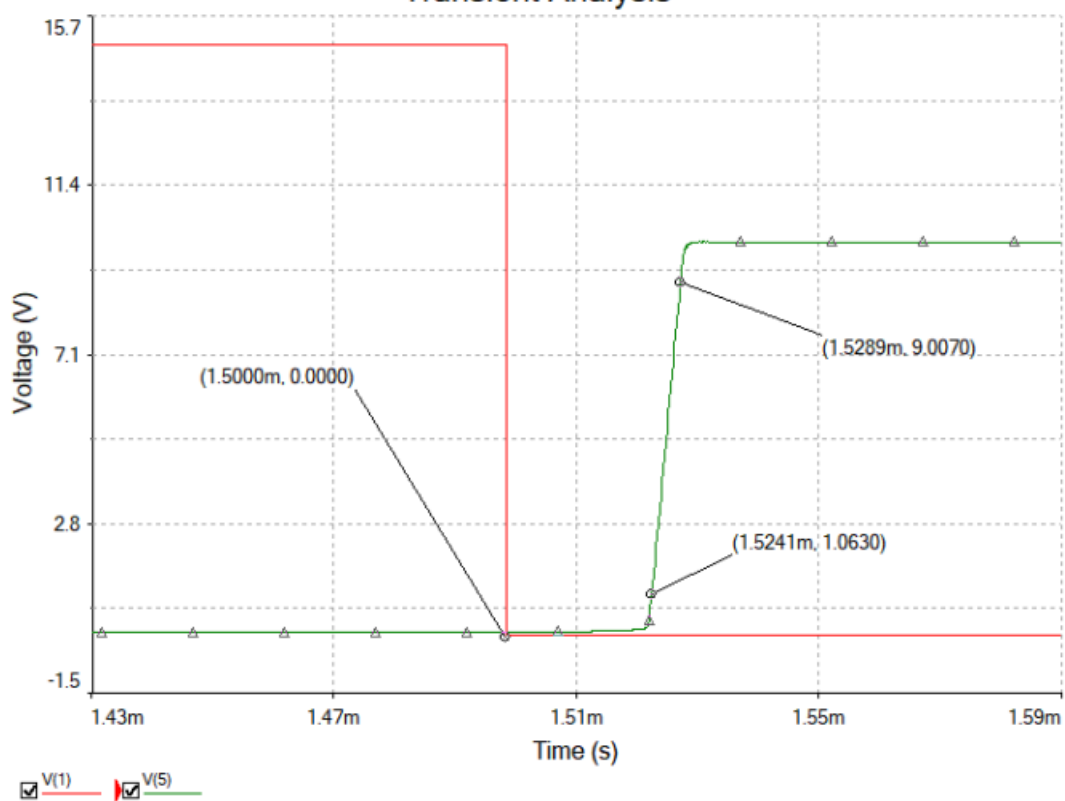


Рисунок 17 – График для 15В

Таблица 4 – Результаты исследования переходных процессов

Ег В	τф мкс	τрас мкс	τср мкс
5	36,4	0,6	4,3
7,5	6,6	9	4,7
10	3,7	15,3	4,7
12,5	2,5	20,1	4,8
15	1,9	24,1	4,8

Аналитический расчёт для 10 В:

$$J_{б1} = 1.703 \cdot 10^{-4} \text{ А}$$

$$J_{бн} = E_k / (B \cdot R_k) = 4.444 \cdot 10^{-5} \text{ А}$$

$$S = J_{б1} / J_{бн} = 3.831$$

$$f_B = f_\alpha / (B + 1) = 2.198 \cdot 10^4 \text{ Гц}$$

$$\tau_B = 1 / (2 \cdot \pi \cdot f_B) = 7.24155 \cdot 10^{-6} \text{ с}$$

$$J_{б2} = U_{бэ} / R_{см} + E_{см} / R_{см} = 9,4 \cdot 10^{-5} \text{ А}$$

$$\tau_H = (3 \dots 20) \tau_B = 2,325 \cdot 10^{-5} \text{ с}$$

Таблица 5 – значения аналитического расчета для 10В

		Б %
$\tau_\phi = \tau_\theta \cdot \ln((S-0,1)/(S-0,9))$	1,747E-06	52,77
$\tau_{рас} = \tau_H \cdot \ln((S \cdot J_{бн} + J_{б2}) / (J_{бн} + J_{б2}))$	1,502E-05	1,77
$\tau_c = \tau_\theta \cdot \ln((J_{б1}/S + J_{б2}) / J_{б2})$	2,803E-06	40,35

Далее необходимо исследовать влияние форсирующего конденсатора на параметры переходных процессов.

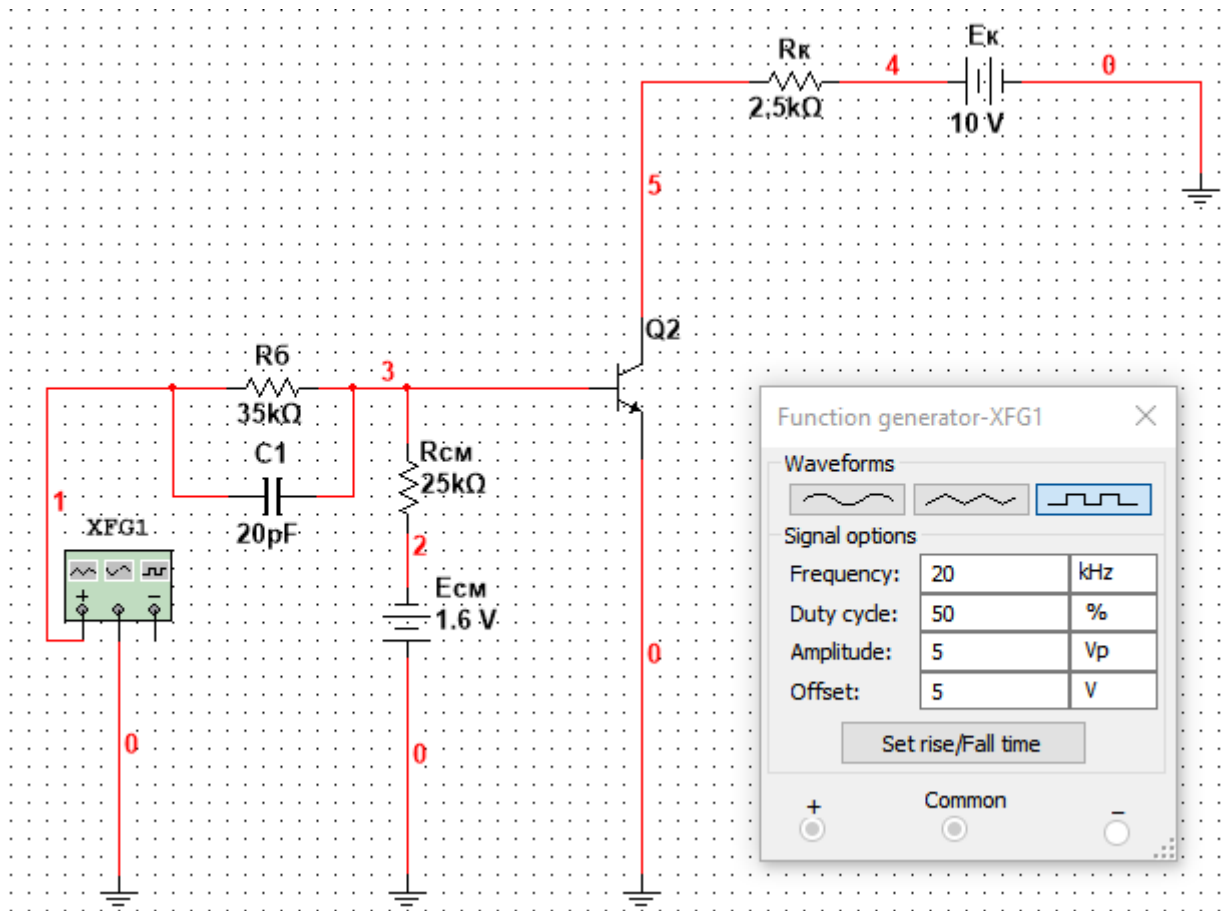


Рисунок 18 – схема для исследования

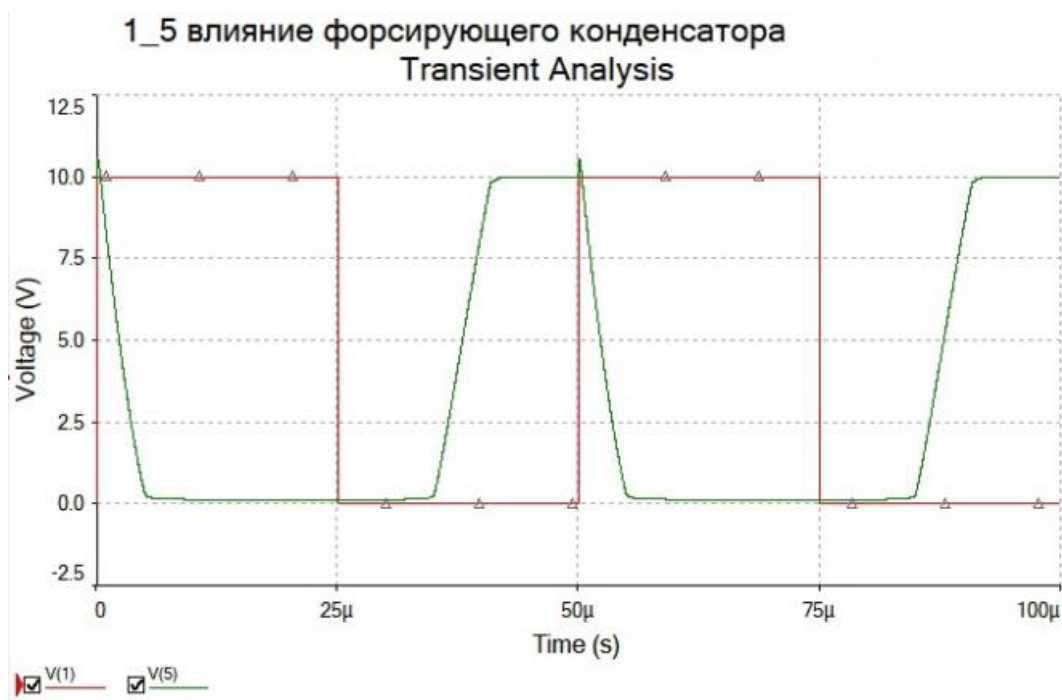


Рисунок 19 – Нет форсирующего конденсатора

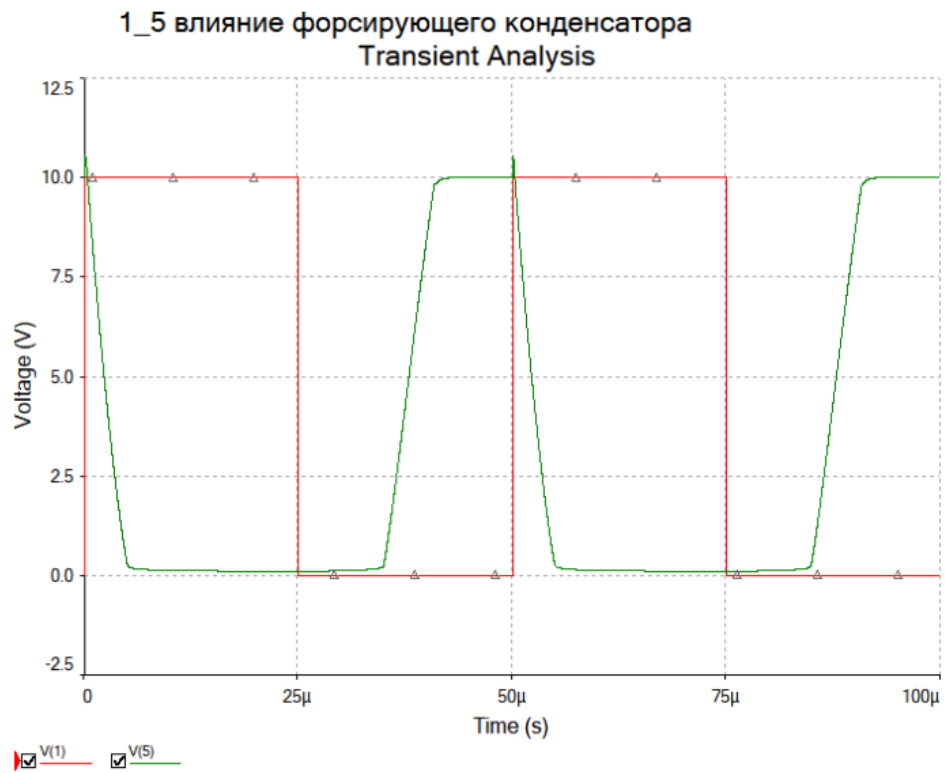


Рисунок 20 – при емкости конденсатора 0.75пФ

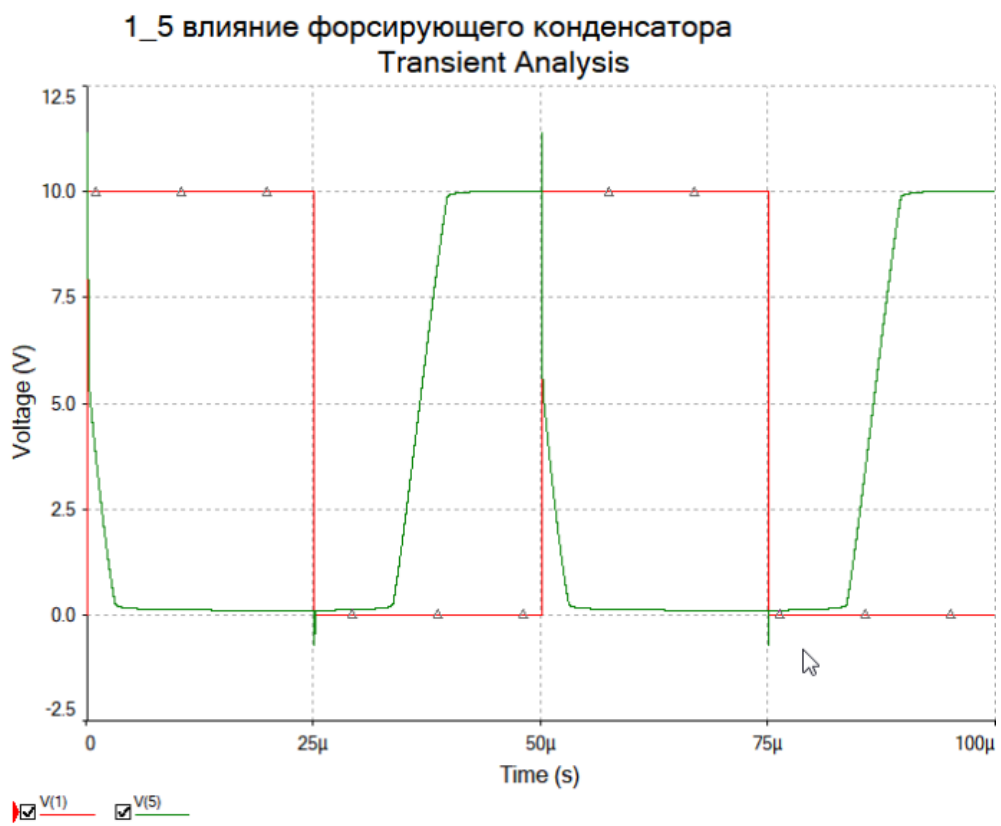


Рисунок 21 – при емкости конденсатора 40пФ

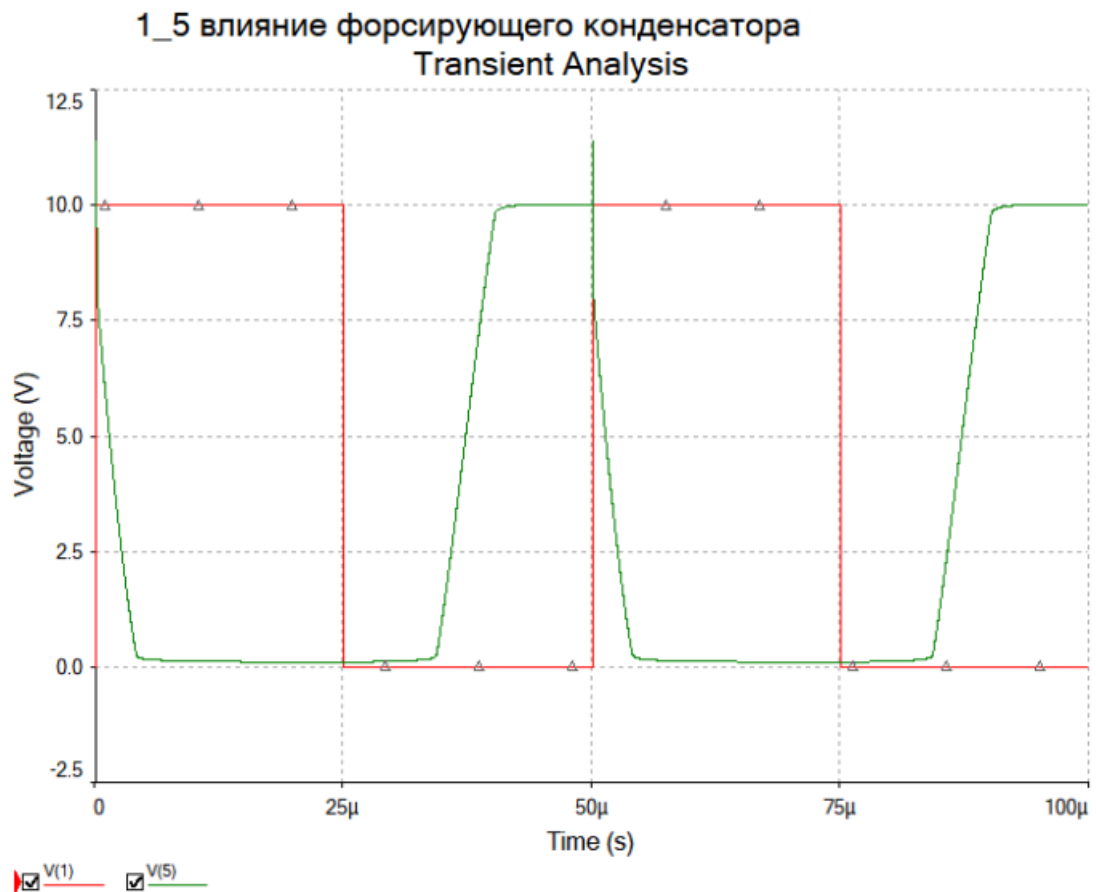


Рисунок 22 – При емкости конденсатора 20пФ

Форсирующий конденсатор, включённый параллельно резистору базы, на высокой частоте входного сигнала имеет меньшее сопротивление, поэтому ступенчатый сигнал, проходя через него, мгновенно ненадолго увеличивает ток базы. Из-за этого перезарядка ёмкостей переходов проходит намного быстрее и длительность переходных процессов уменьшается. При спаде входного напряжения, благодаря заряду конденсатора, запираение также происходит мгновенно. Также это вызывает пики на графике (т.к. кратковременно увеличивается ток).



Исследование влияния ёмкостной нагрузки на параметры переходных процессов.

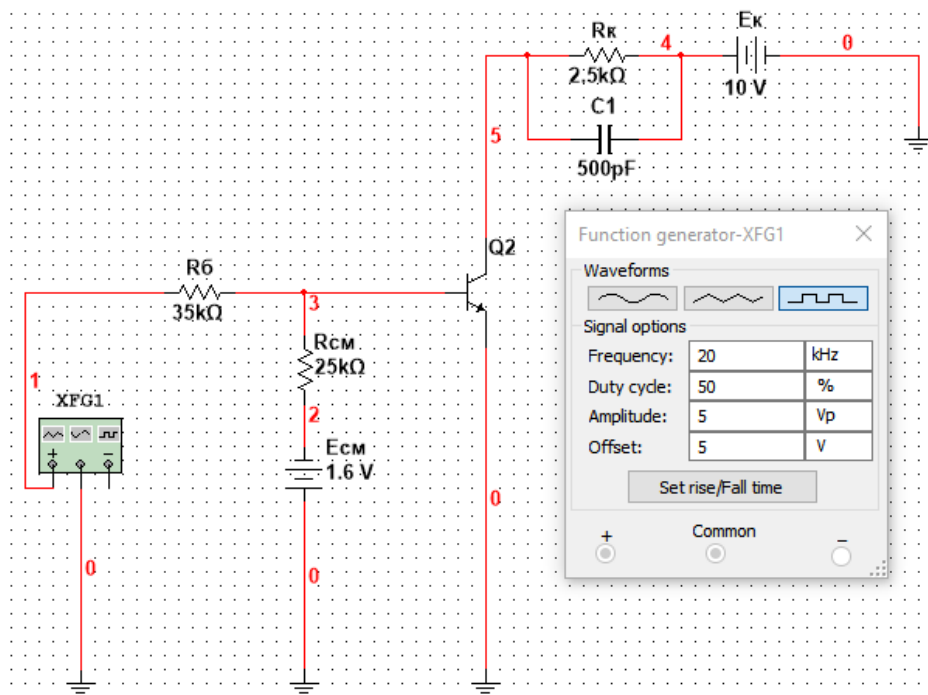


Рисунок 23 – Схема для исследования  
1\_5 влияние конденсатора нагрузки  
Transient Analysis

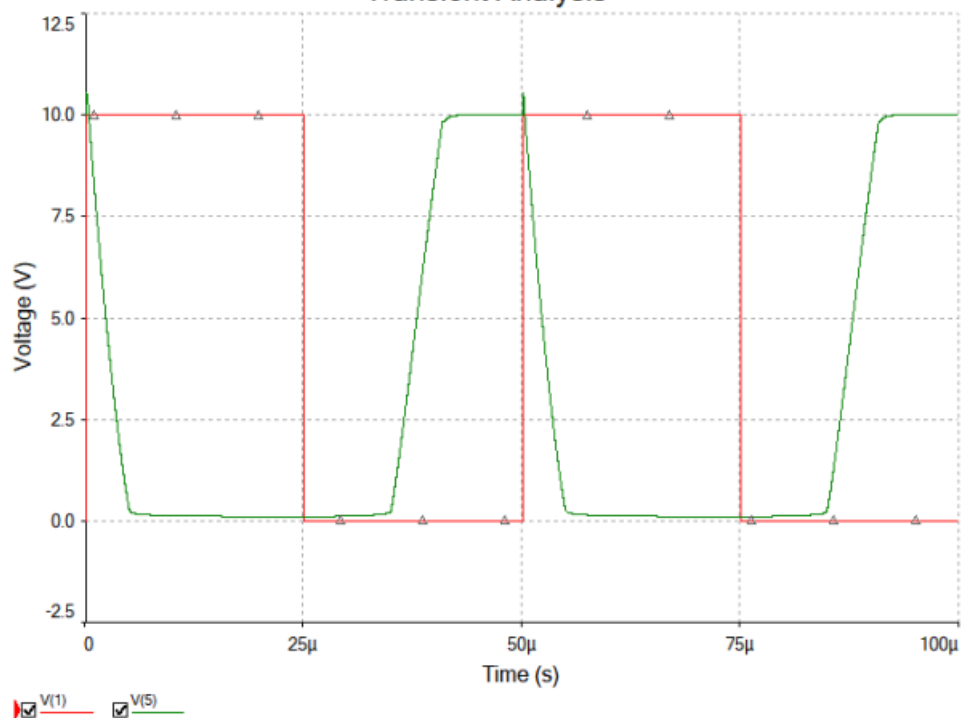


Рисунок 24 – График при отсутствии конденсатора на нагрузке

500 пФ

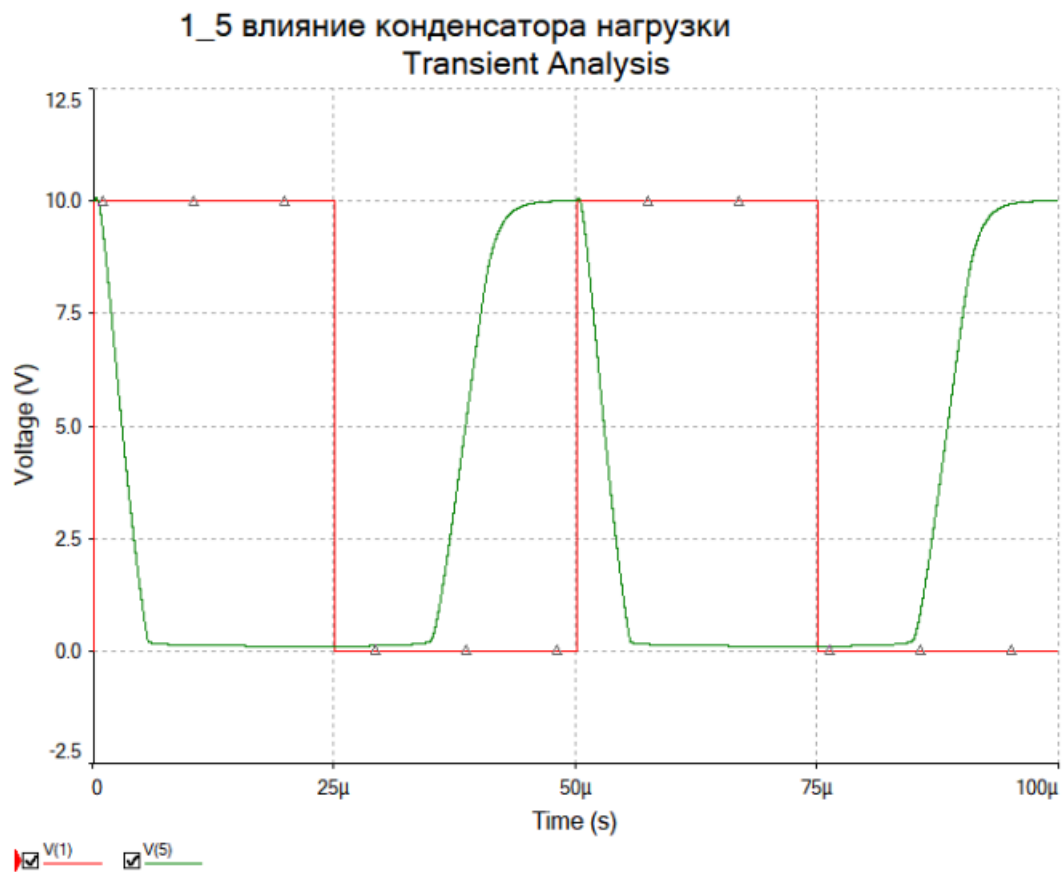


Рисунок 25 – График при конденсаторе 500пФ

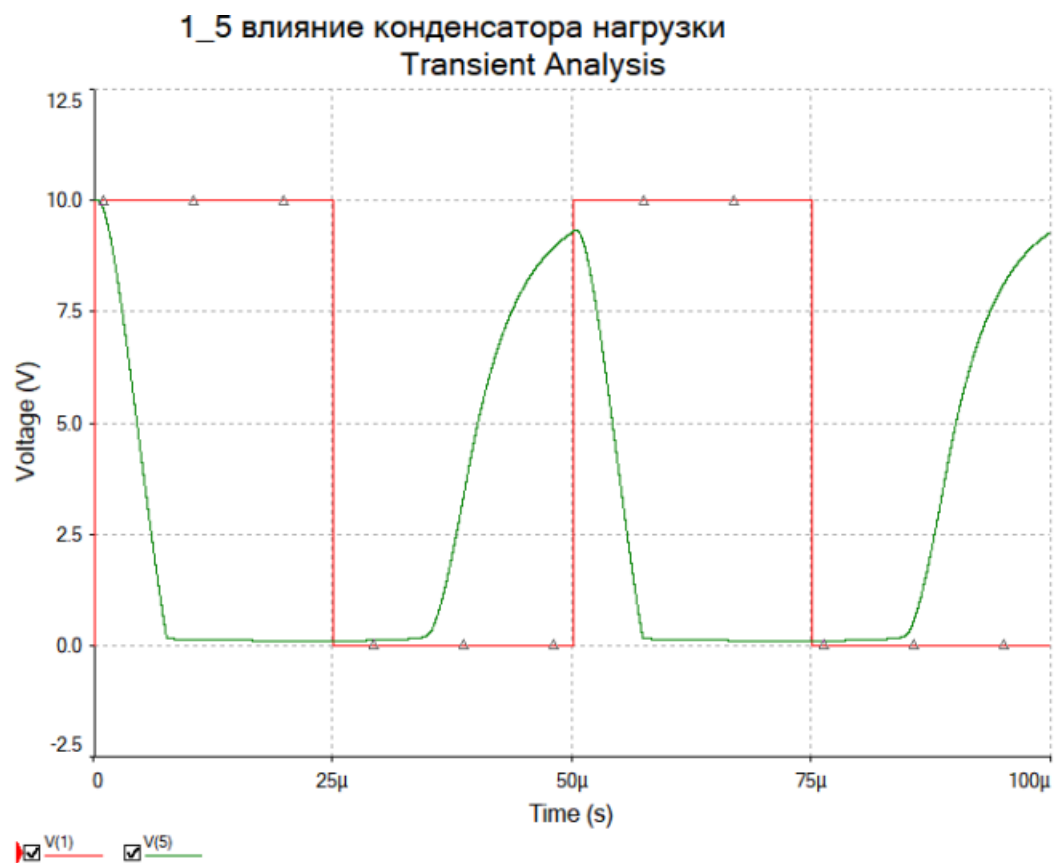


Рисунок 26 – График при конденсаторе 2нФ

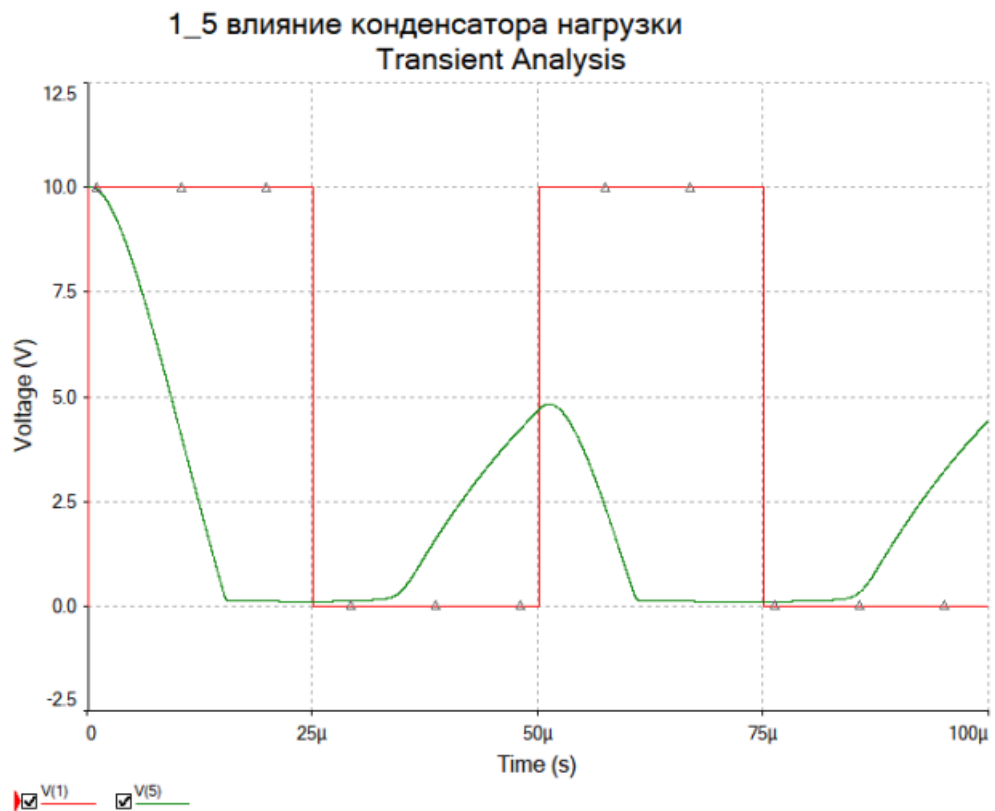


Рисунок 27 - График при конденсаторе 10нФ

Ёмкостная нагрузка не влияет или делает меньше время рассасывания и увеличивает остальные параметры при увеличении ёмкости в цепи нагрузки. Транзистор не успевает до конца запереться, но ещё способен перейти в состояние насыщения в соответствии с формулой  $\tau_c = (R_k + R_{\Gamma}) * (C_k + C_n)$ . Длительность среза зависит от ёмкости нагрузки.

Необходимо провести исследование инверсного запирания ключа.

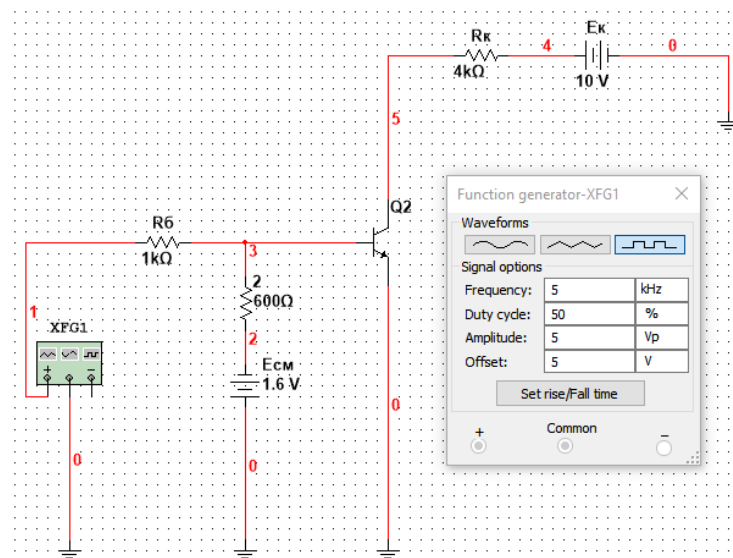


Рисунок 28 – Схема для исследования

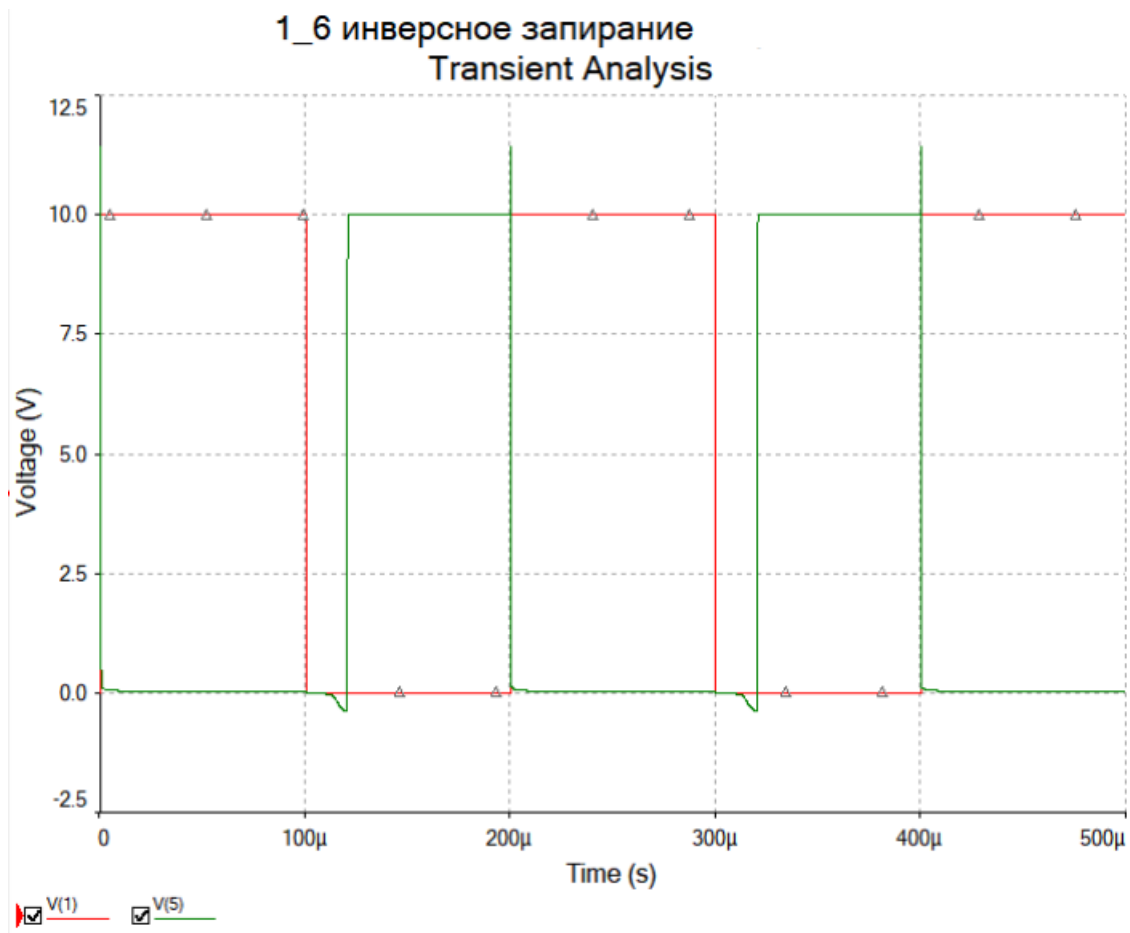


Рисунок 29 – График при инверсном запираении

При инверсном запираении эмиттерный переход закрывается раньше коллекторного. В этом случае рассасывание заряда должно произойти сначала у эмиттерного перехода. Ток коллектора увеличивается, а ток эмиттера уменьшается, ток базы не меняется. Для создания инверсного запираения необходимо увеличить ток базы, чтобы удалить заряды, связанные с эмиттерным переходом. Тогда транзистор при переходе из области насыщения в область отсечки пройдёт через инверсную активную область, а не через нормальную активную область. Для увеличения выброса нужно воспрепятствовать созданию большого коллекторного тока.

### Вывод

В ходе лабораторной работы были изучены различные режимы работы транзистора.

