



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

Название: Ключевой режим работы транзистора

Дисциплина: Электроника

Студент

ИУ6-42Б

(Группа)

\_\_\_\_\_  
(Подпись, дата)

И.С.Марчук

(И.О. Фамилия)

Преподаватель

Н.В. Аксенов

\_\_\_\_\_  
(Подпись, дата)

(И.О. Фамилия)

Москва, 2021

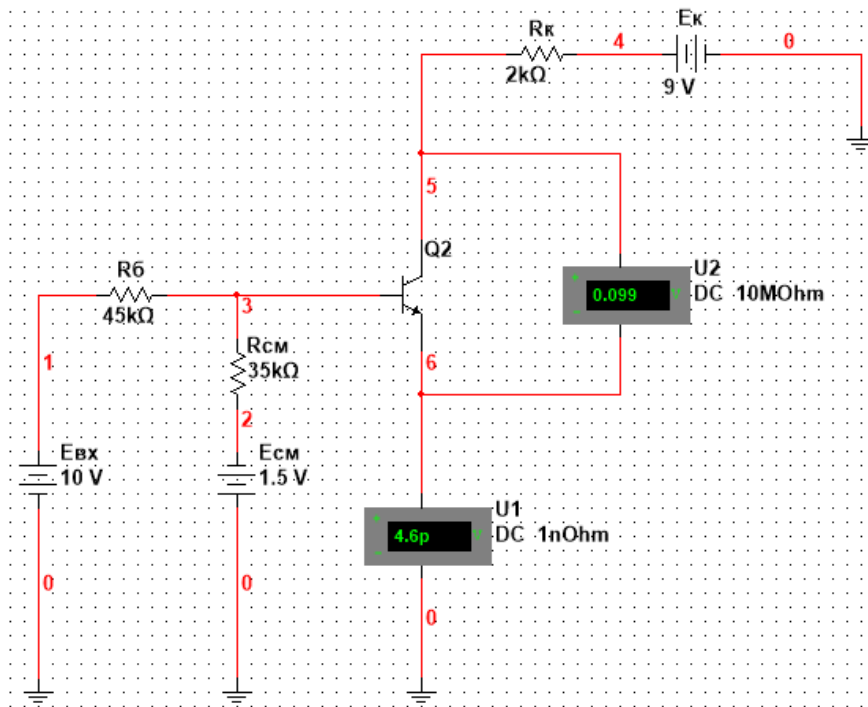
# Вариант 4

№	Rб Ом	B	Br	Is A	Cбк f	Cбэ f	τr c
4	45.000	130	0,9	1,00E-12	3,00E-11	1,00E-11	1,75E-05

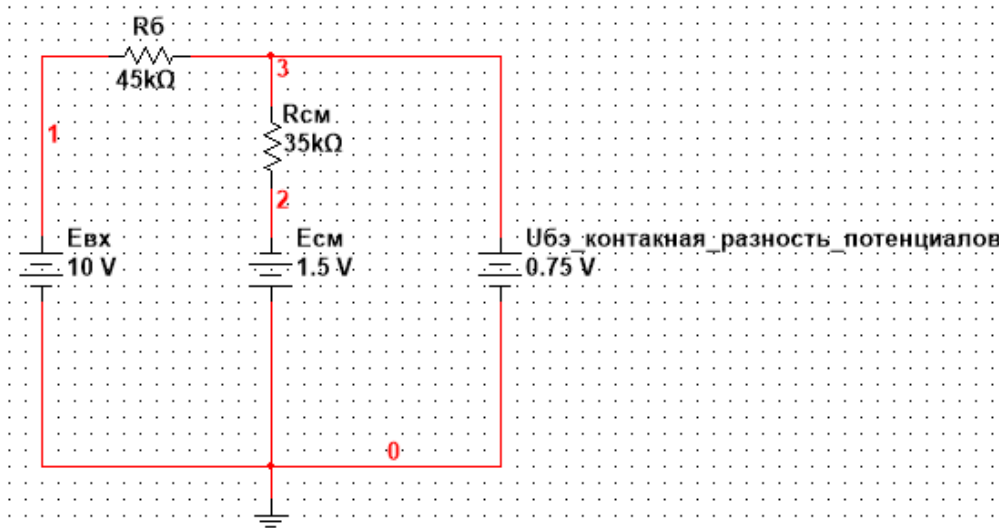
rб Ом	Fα Гц	Rк Ом	Eсм В	Rсм Ом	Uбэ	Eвх В	Eк В
50	3,00E+06	2.000	1,5	35.000	0,75	10	9

$$\text{Время переноса заряда } TF = \frac{1}{2\pi F_{\alpha}} = \frac{1}{2\pi \cdot 3 \cdot 10^6} = 5.31 \cdot 10^{-8}$$

Убеждаемся, что исходная схема находится в состоянии насыщения



Нахождение тока базы Jб по методу контурных токов



$$\begin{cases} J_{11} \cdot (R_6 + R_{см}) - J_{22} \cdot R_{см} = E_{вх} + E_{см} \\ -J_{11} \cdot R_{см} + J_{22} \cdot R_{см} = -E_{см} - U_{бэ} \end{cases}$$

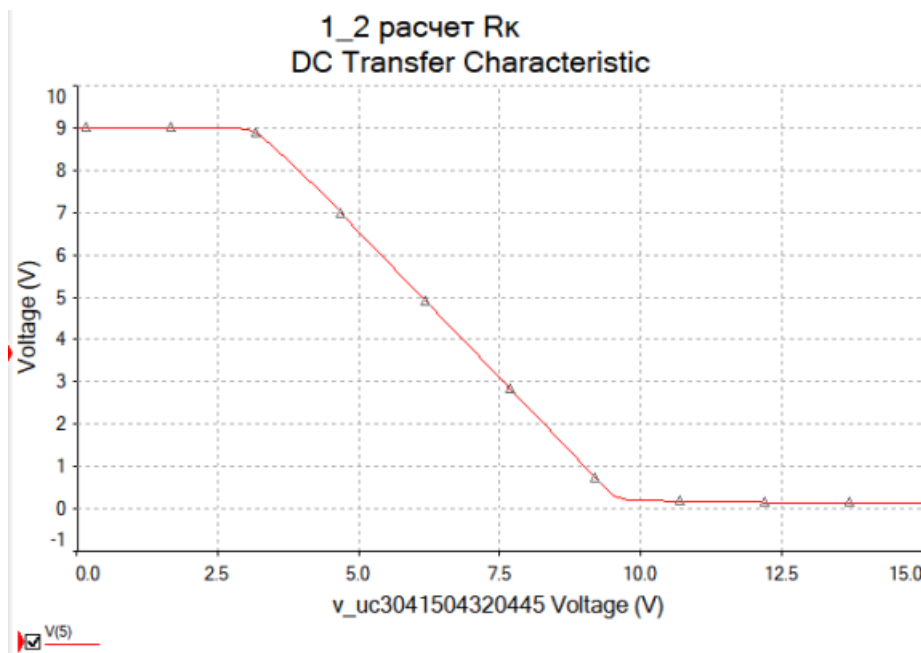
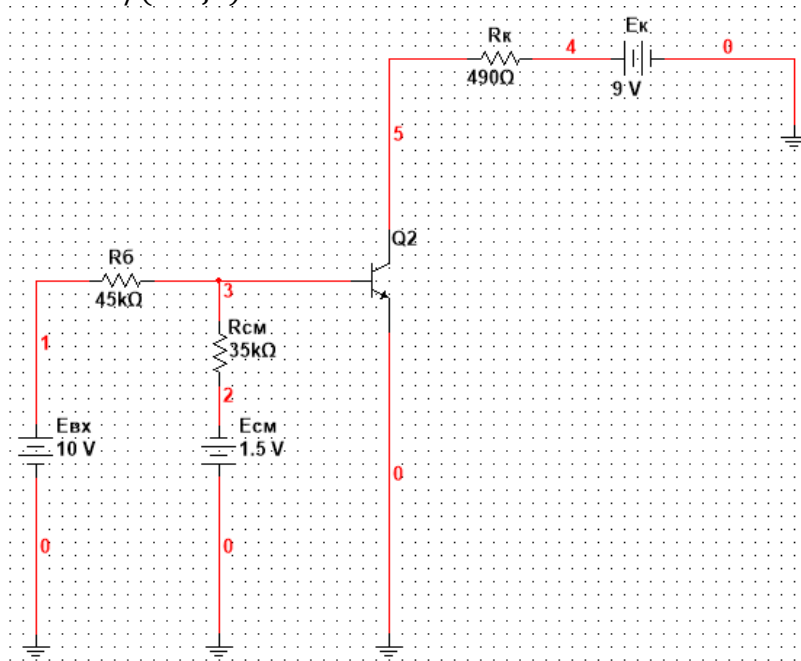
$$\begin{aligned} R_{11} &= R_6 + R_{см} & E_{11} &= E_{вх} + E_{см} \\ R_{22} &= -R_{см} & E_{22} &= -E_{см} - U_{бэ} \\ R_{12} &= R_{21} = -R_{см} & & \text{т. к. токи встречные} \end{aligned}$$

$$\begin{cases} J_{11} * R_{11} + J_{22} * R_{12} = E_{11} \\ J_{11} * R_{21} + J_{22} * R_{22} = E_{22} \\ J_{11} * (R_6 + R_{cm}) - J_6 * R_{cm} = E_{bx} + E_{cm} \\ -J_{11} * R_{cm} + J_6 * R_{cm} = -E_{cm} - U_{b\theta} \end{cases}$$

$$J_6 = (E_{bx} + E_{cm})/R_6 - (R_6 + R_{cm}) * (E_{cm} + U_{b\theta})/R_{cm}/R_6 = 1.413 \cdot 10^{-4} \text{ A}$$

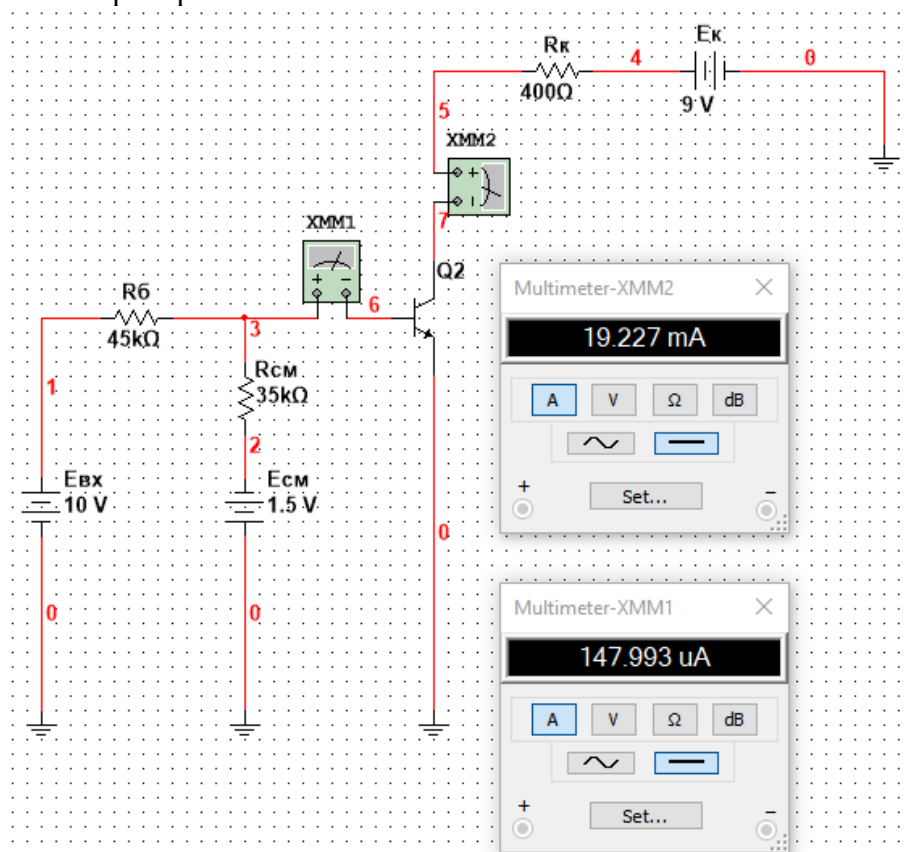
Граница режима насыщения

$$R_k = E_k / (B * J_6) = 490 \text{ Ом}$$

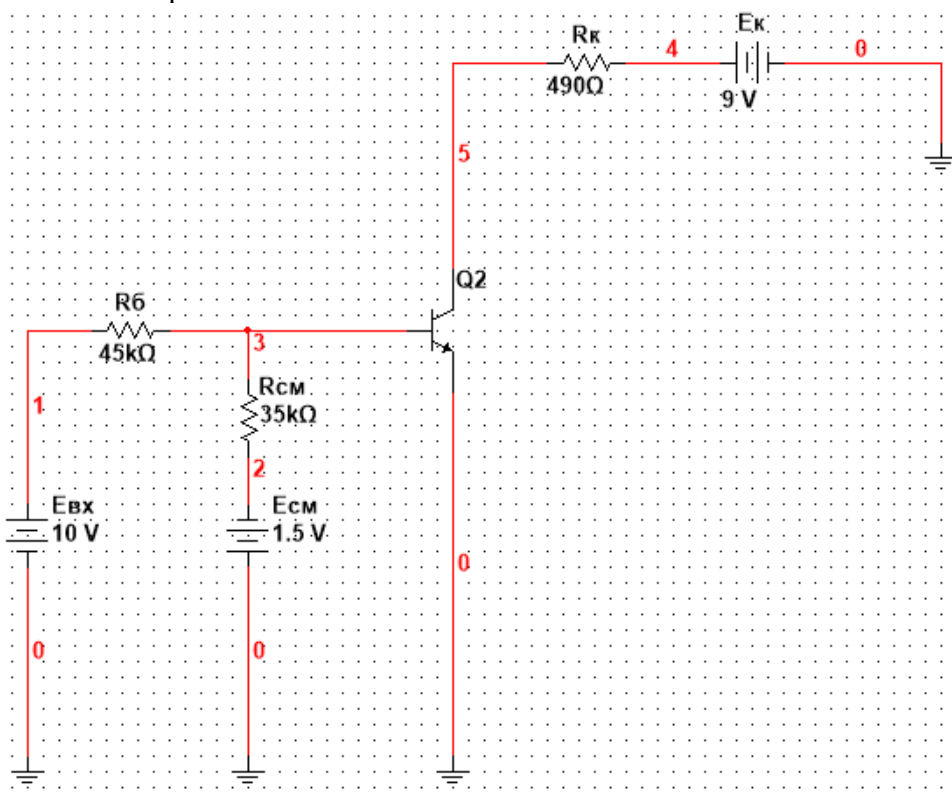


## Статический коэффициент усиления по току транзистора

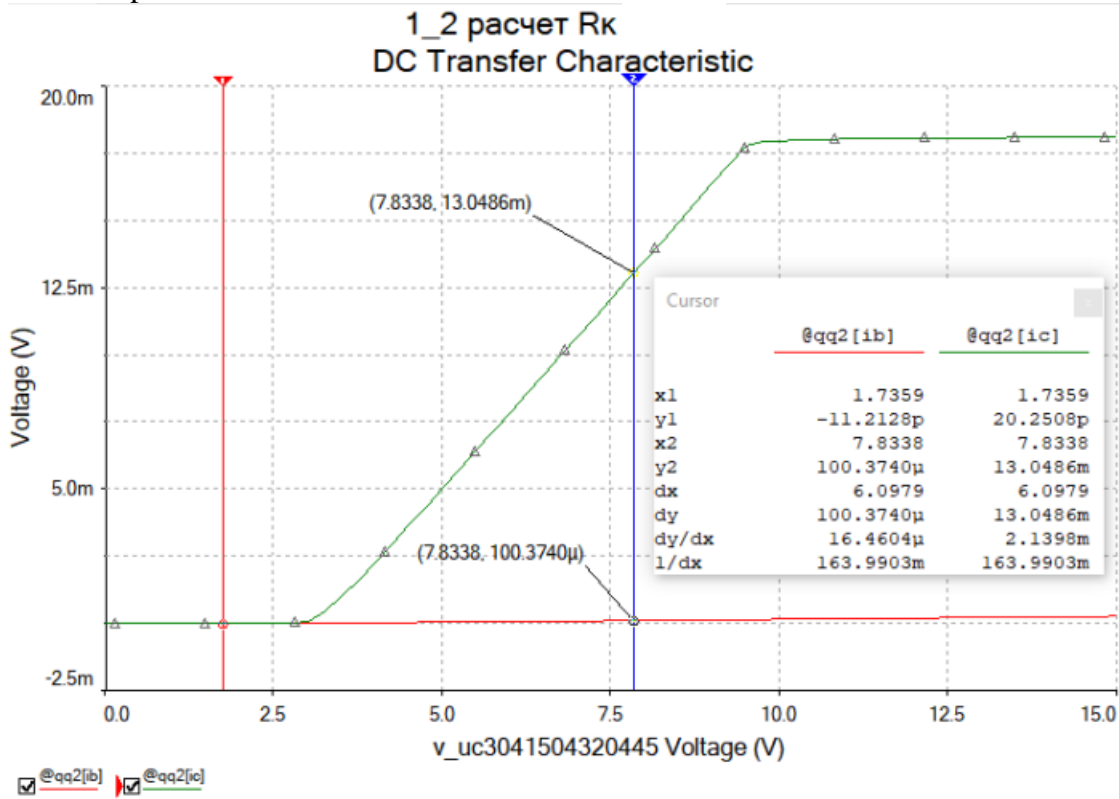
По амперметрам



По DC Sweep

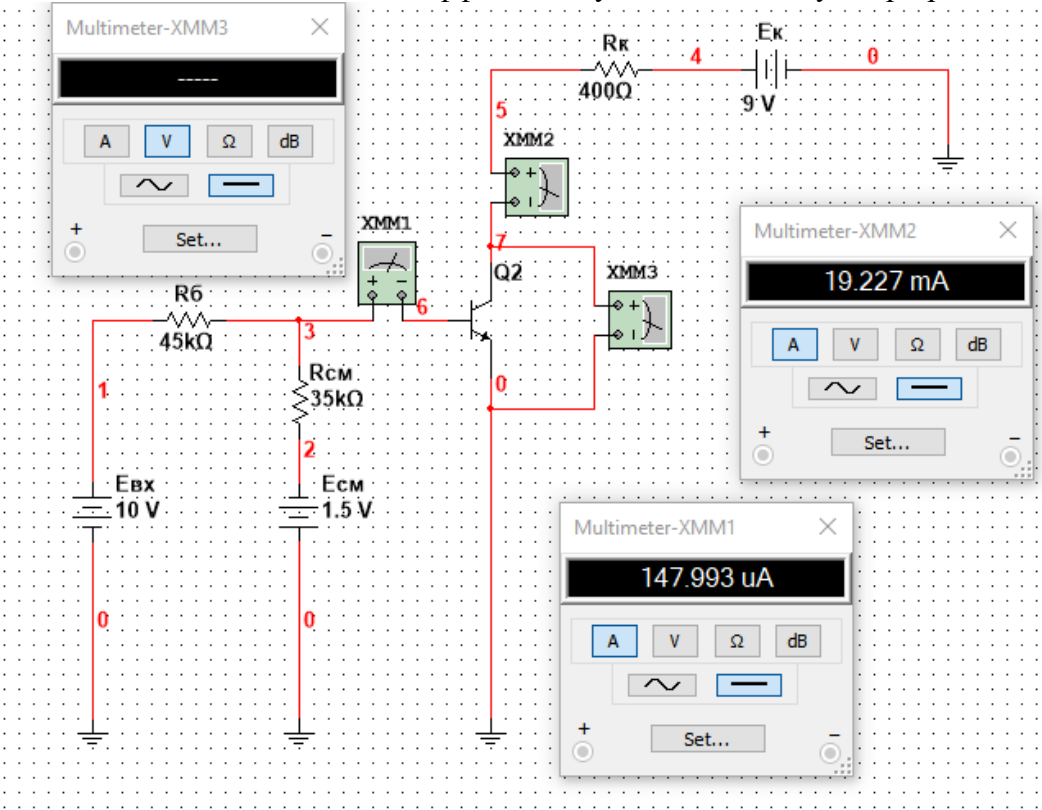


DC Sweep



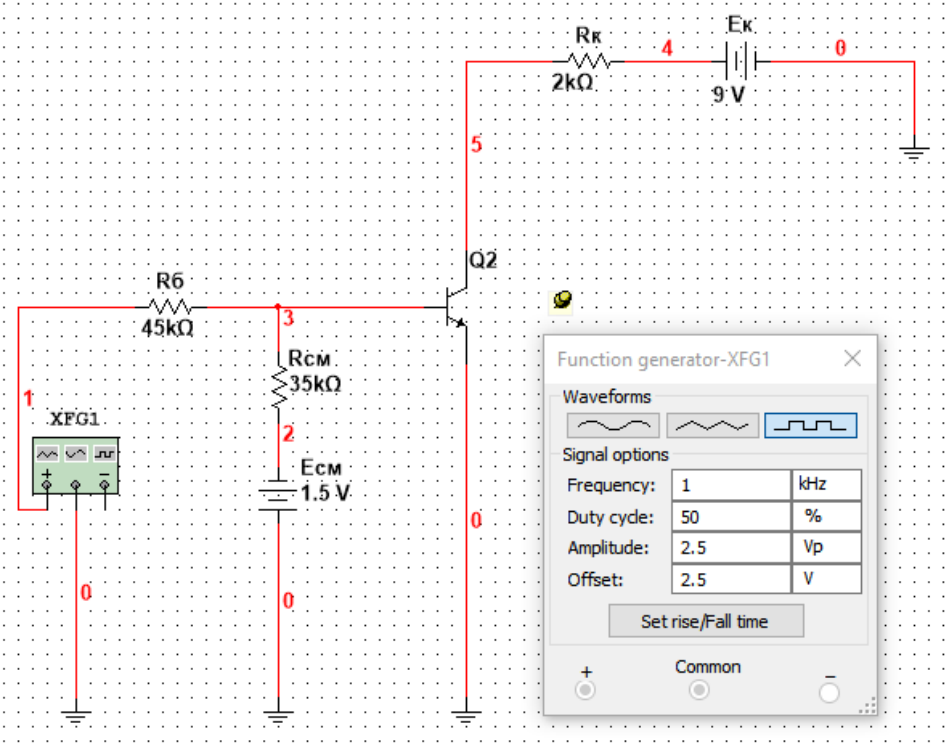
по амперметрам	$B=J_K/J_6$	A; $J_K=$	1,923E-02	A; $J_B=$	1,48E-04	1,29918E+01
DC Sweep	$B=J_K/J_6$	A; $J_K=$	1,30486E-02	A; $J_B=$	1,0037E-04	1,30000E+02

Исследование статического коэффициента усиления по току В при различных R<sub>к</sub>



$R_K$ Ом	$U_{KЭ}$ В	$J_6$ мкА	$J_K$ мА	В
5	8,904	147,993	19,227	129,918
50	8,039	147,993	19,227	129,918
100	7,077	147,993	19,227	129,918
200	5,155	147,993	19,226	129,912
300	3,232	147,993	19,227	129,918
400	1,309	147,993	19,227	129,918
500	0,190	148,104	17,619	118,964
600	0,159	148,326	14,734	99,335
1000	0,125	148,992	8,875	59,567
2000	0,098	149,769	4,451	29,719

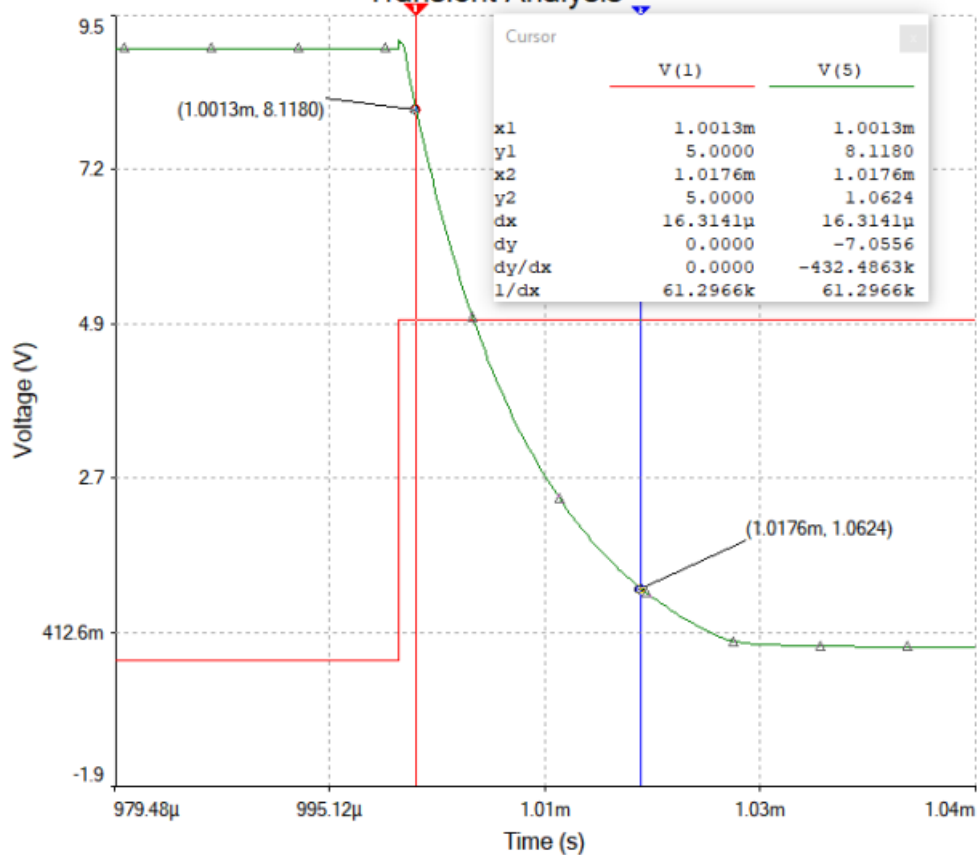
### Исследование динамических характеристик



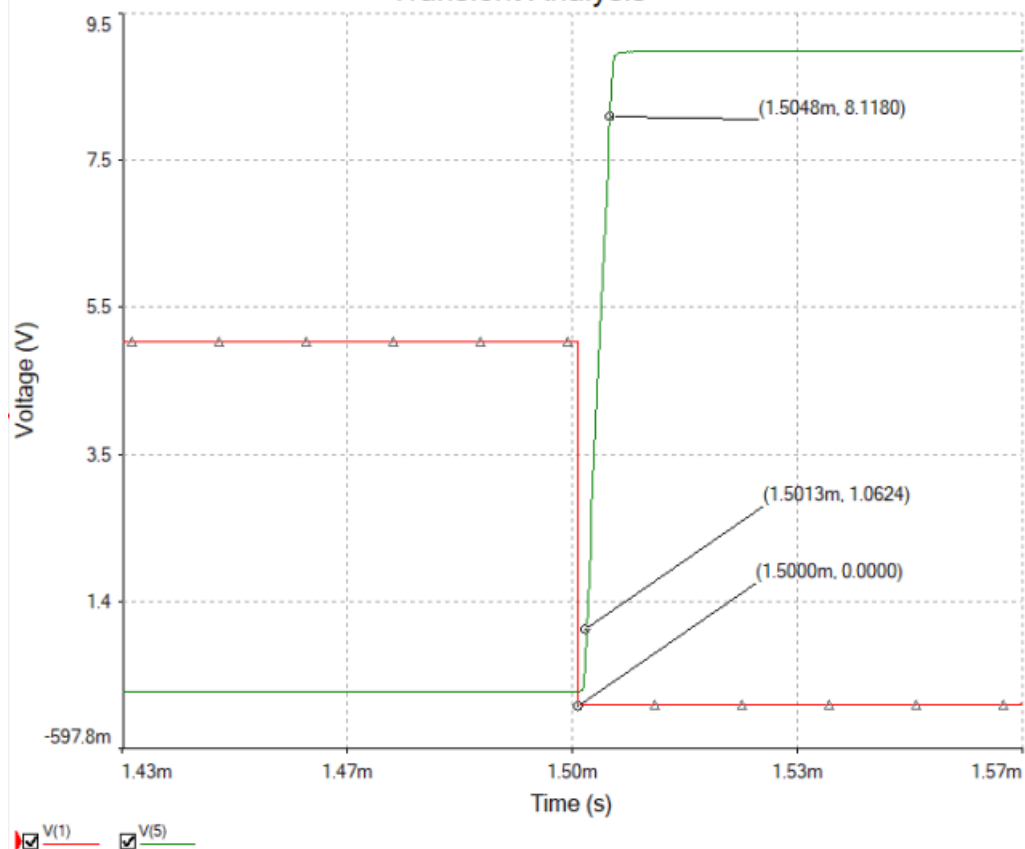
5 Вольт

1\_4\_2 динамические характеристики и  $t_{фрас\_cp}$

Transient Analysis

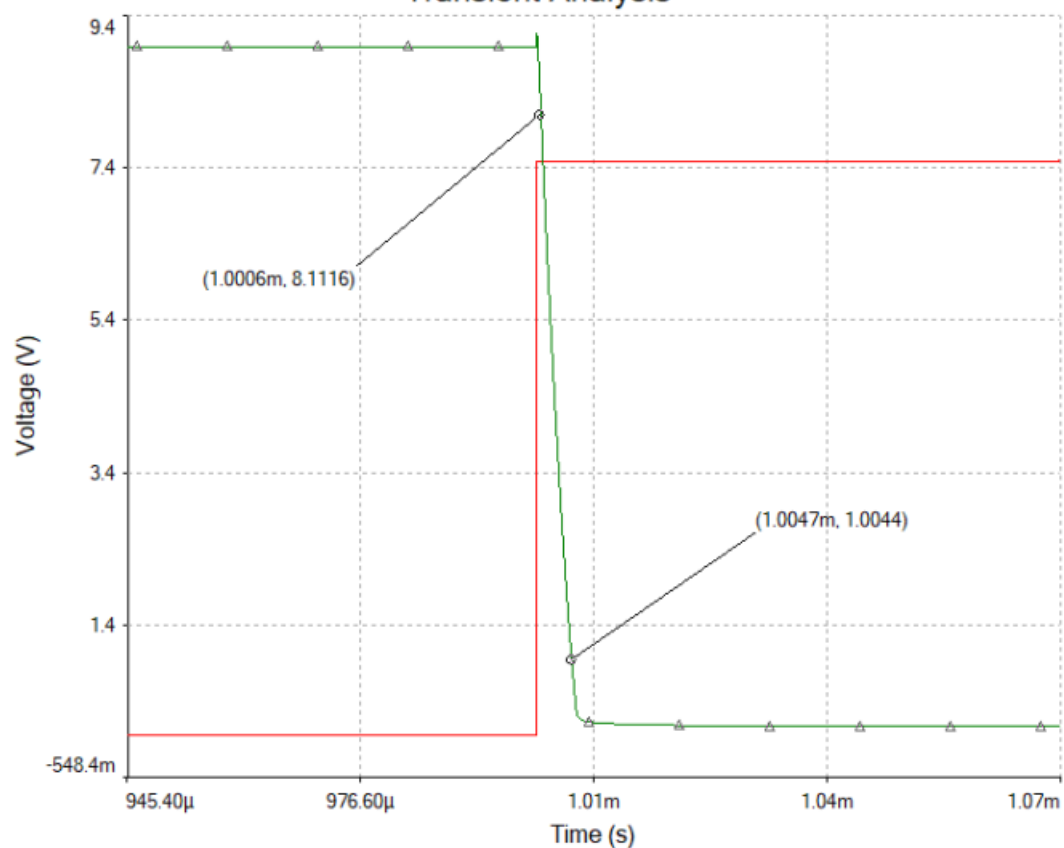


1\_4\_2 динамические характеристики и  $t_{ф\_рас\_cp}$   
Transient Analysis



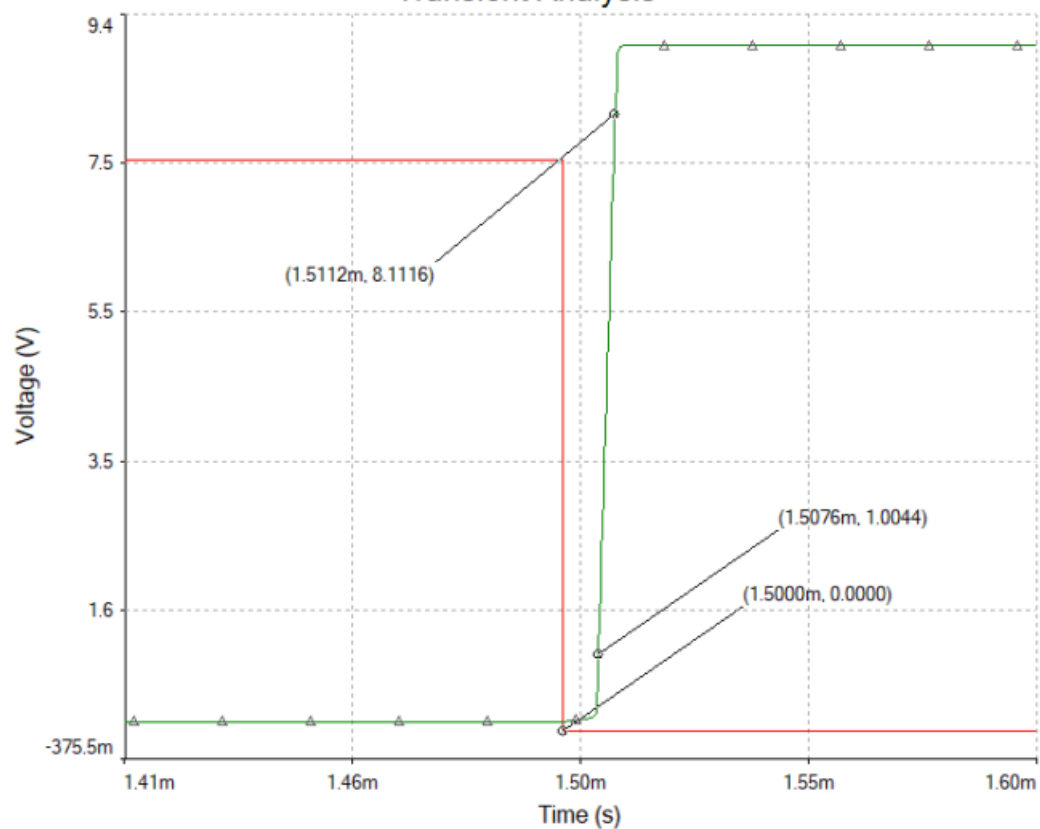
7,5 Вольт

### 1\_4\_2 динамические характеристики и t\_ф\_рас\_ср Transient Analysis



☒ V(1) ☒ V(5)

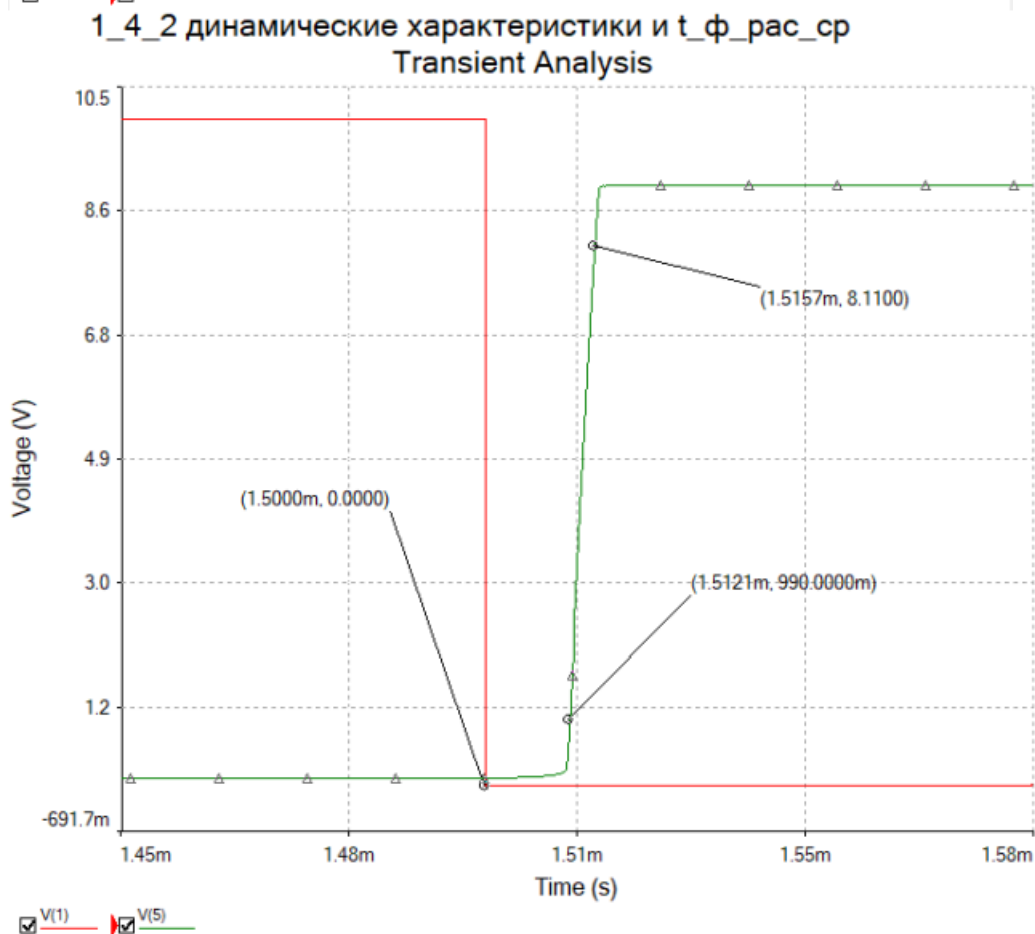
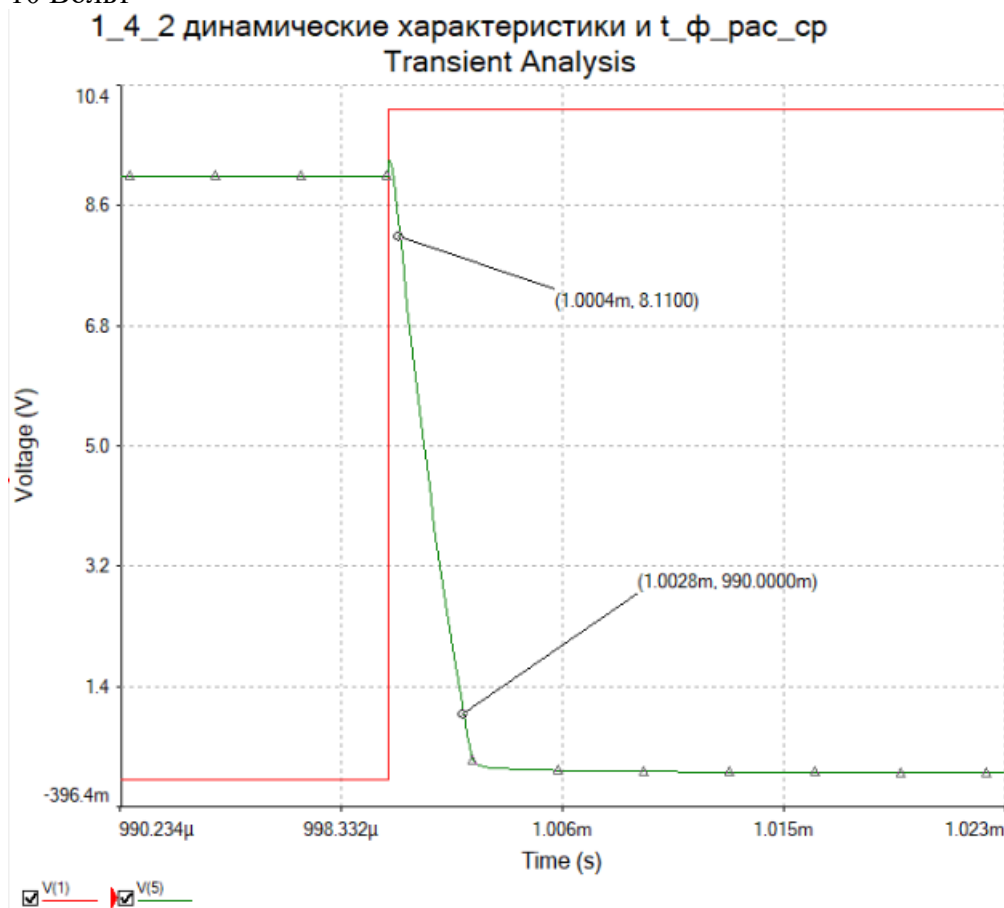
### 1\_4\_2 динамические характеристики и t\_ф\_рас\_ср Transient Analysis



☒ V(1) ☒ V(5)



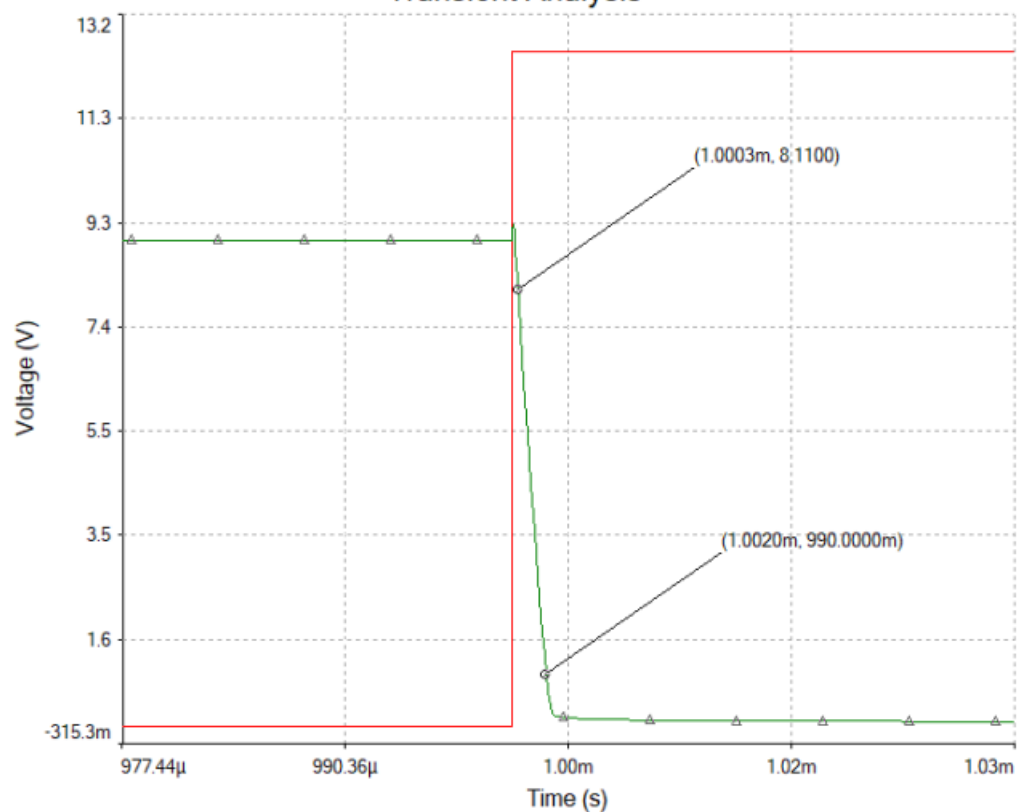
10 Вольт



12,5 Вольт

1\_4\_2 динамические характеристики и t\_ф\_рас\_ср

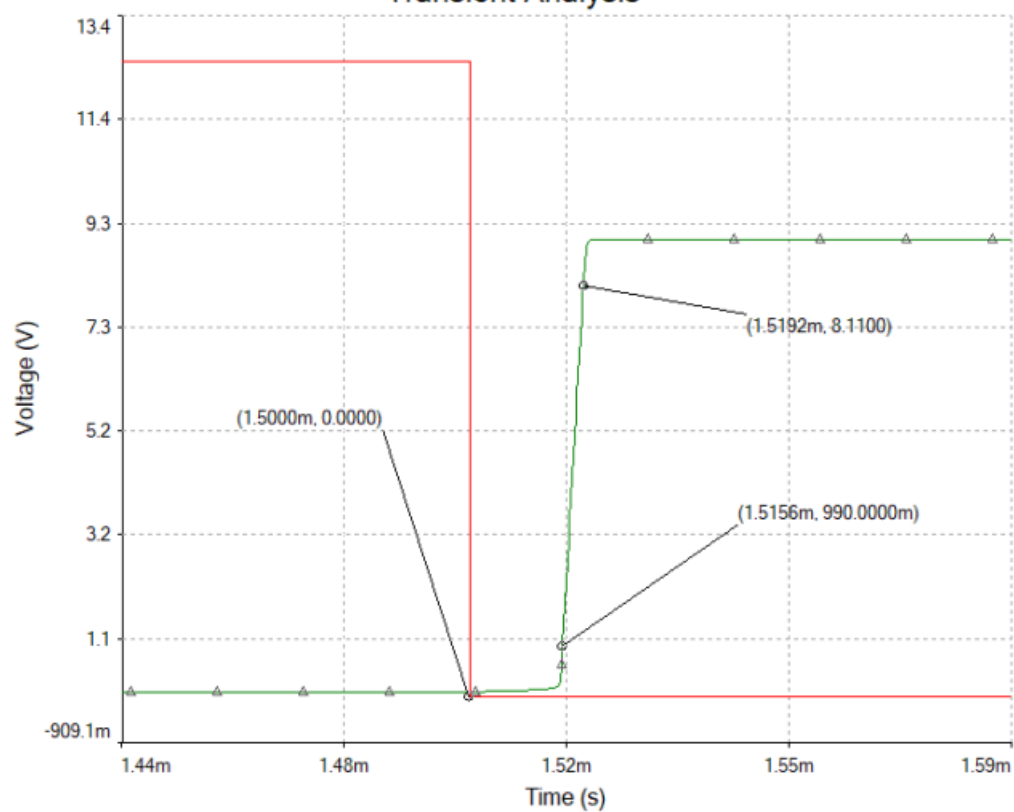
Transient Analysis



☒ V(1) ☒ V(5)

1\_4\_2 динамические характеристики и t\_ф\_рас\_ср

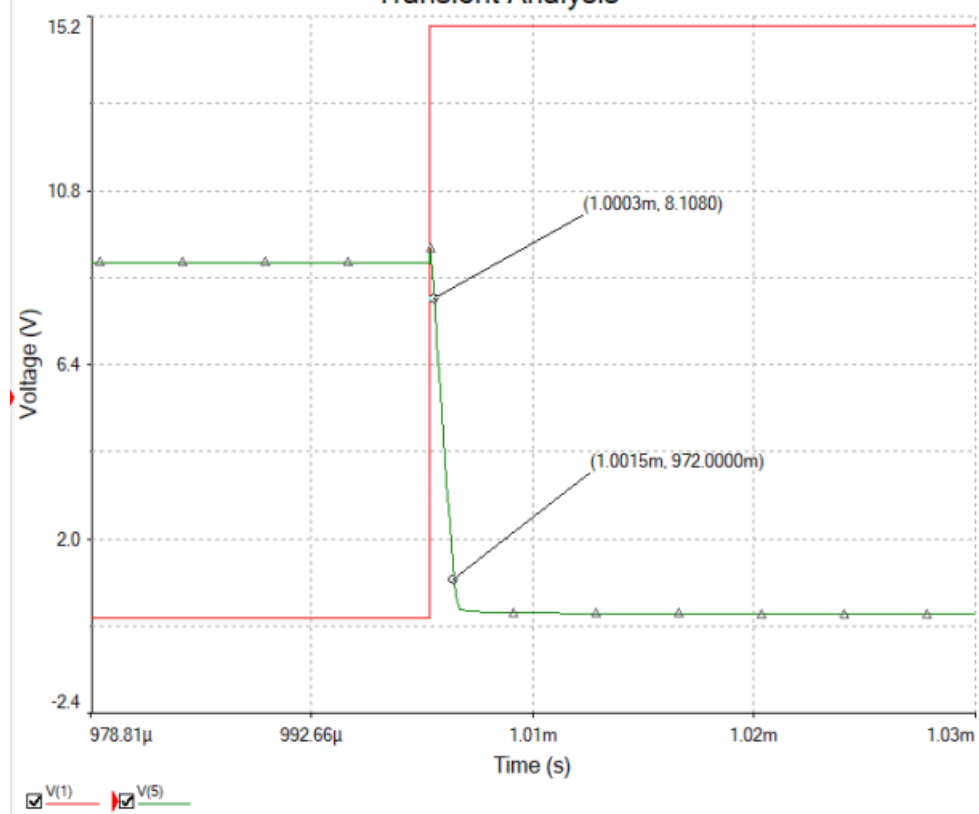
Transient Analysis



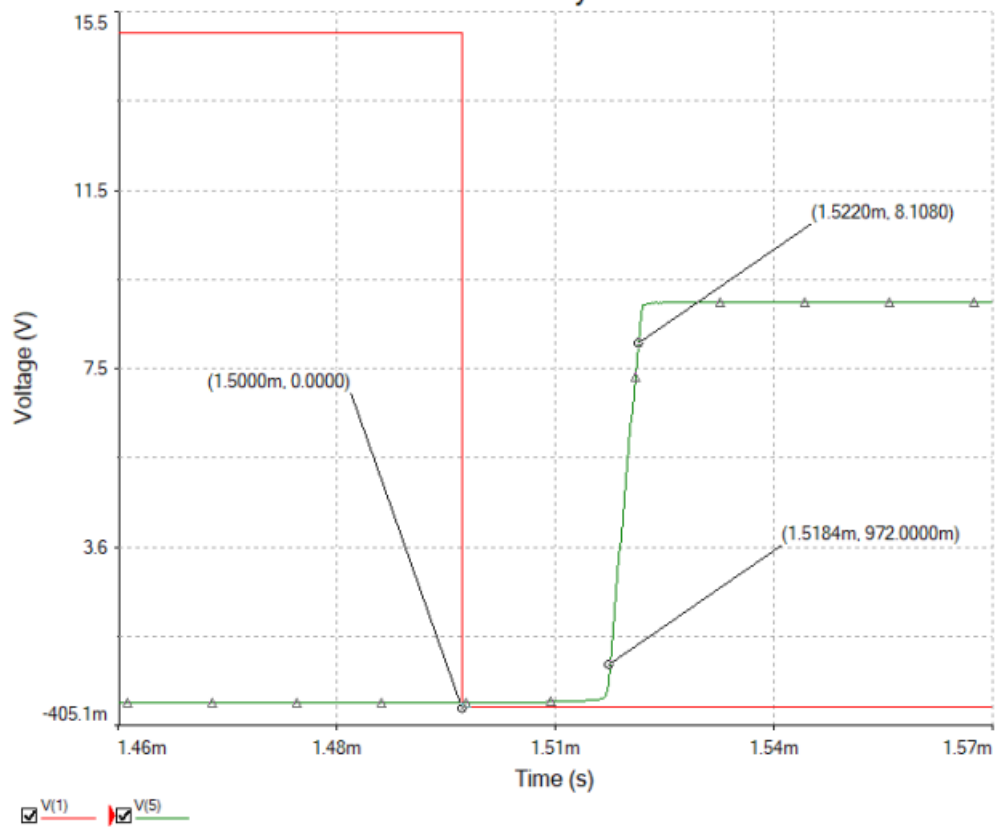
☒ V(1) ☒ V(5)

15 Вольт

1\_4\_2 динамические характеристики и t\_ф\_рас\_ср  
Transient Analysis



1\_4\_2 динамические характеристики и t\_ф\_рас\_ср  
Transient Analysis



Ег В	τф мкс	τрас мкс	τср мкс
5	16,3	1,3	3,5
7,5	4,7	7,6	3,6
10	2,4	12,1	3,6
12,5	1,7	15,6	3,6
15	1,2	18,4	3,6

Аналитический расчёт для 10 В

$$J_{б1} = 1.413 \cdot 10^{-4} \text{ А}$$

$$J_{бн} = E_k / (B \cdot R_k) = 3.462 \cdot 10^{-5} \text{ А}$$

$$S = J_{б1} / J_{бн} = 4.081$$

$$f_B = f_\alpha / (B + 1) = 2.29 \cdot 10^4 \text{ Гц}$$

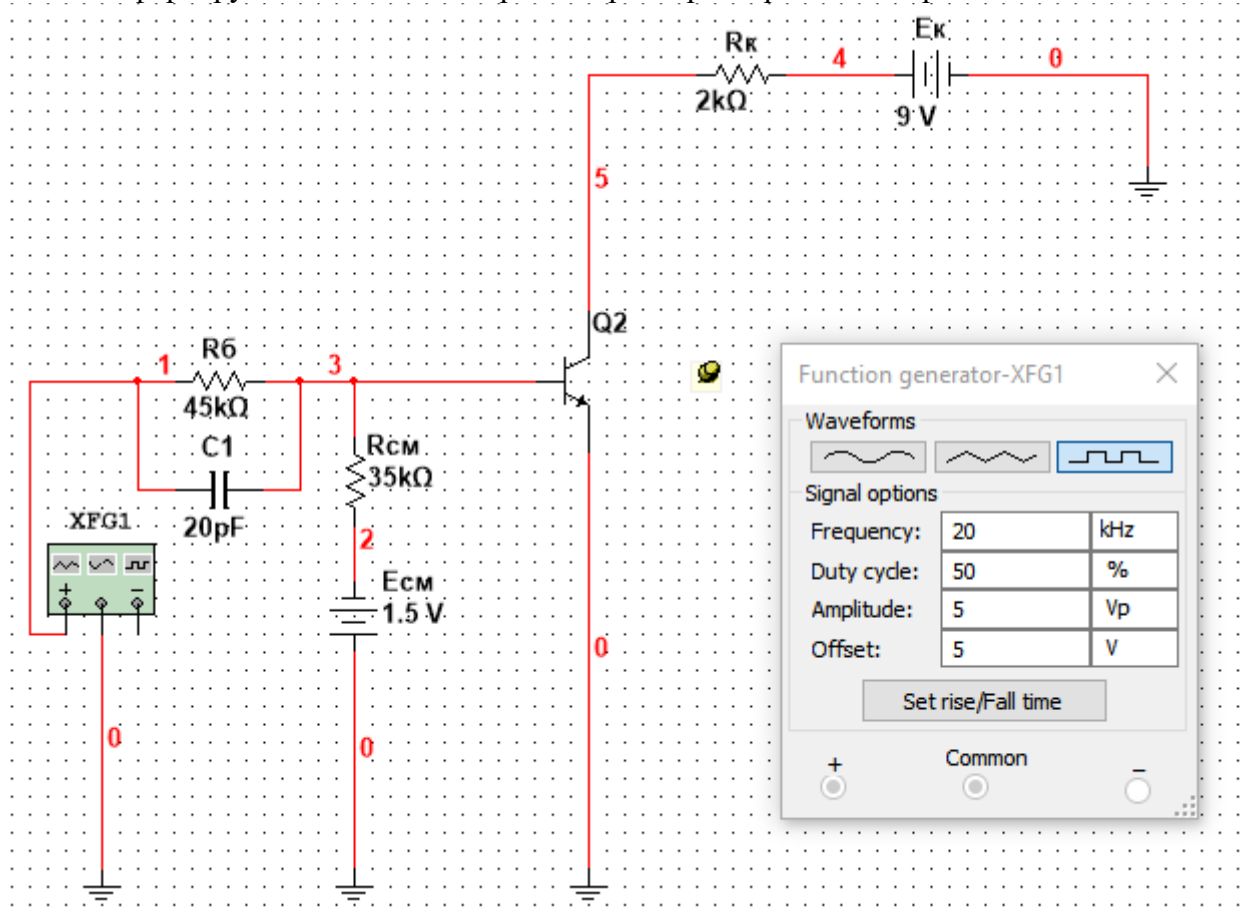
$$\tau_B = 1 / (2 \cdot \pi \cdot f_B) = 6.94977 \cdot 10^{-6} \text{ с}$$

$$J_{б2} = U_{бэ} / R_{см} + E_{см} / R_{см} = 6.4286 \cdot 10^{-5} \text{ А}$$

$$\tau_n = (3 \dots 20) \tau_B = 1.654 \cdot 10^{-5} \text{ с}$$

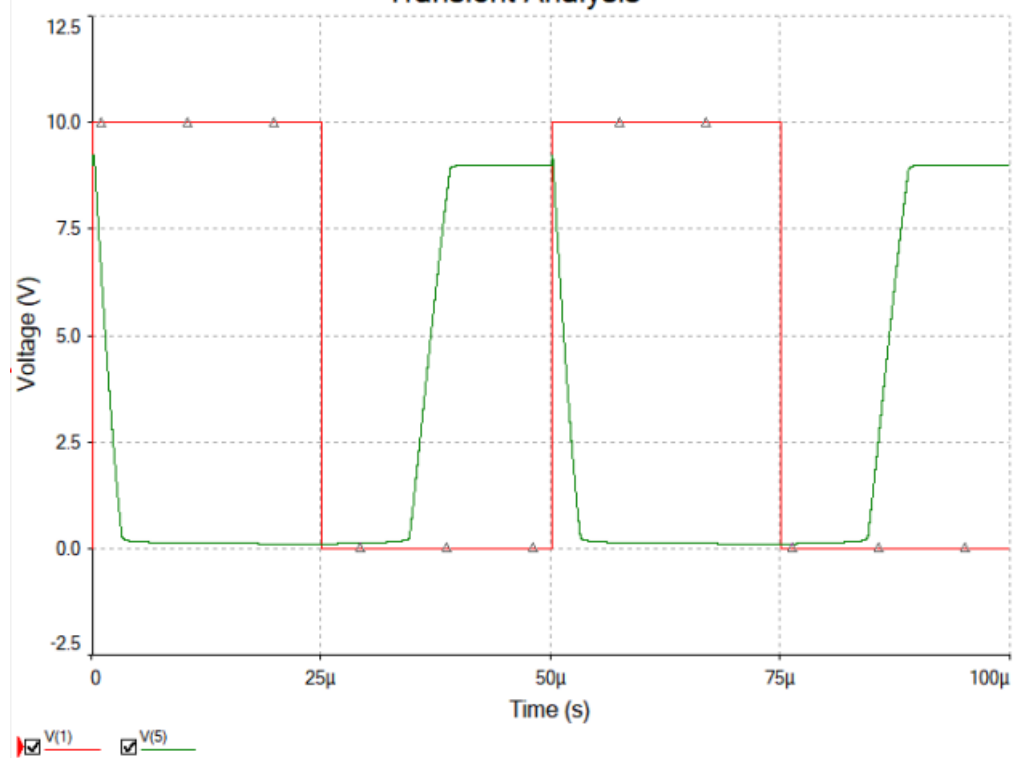
		б %
$\tau_f = \tau_B \cdot \ln((S - 0.1) / (S - 0.9))$	1,559E-06	35,04
$\tau_{рас} = \tau_n \cdot \ln((S \cdot J_{бн} + J_{б2}) / (J_{бн} + J_{б2}))$	1,210E-05	0,01
$\tau_c = \tau_B \cdot \ln((J_{б1} / S + J_{б2}) / J_{б2})$	2,993E-06	16,84

Влияние форсирующего конденсатора на параметры переходных процессов



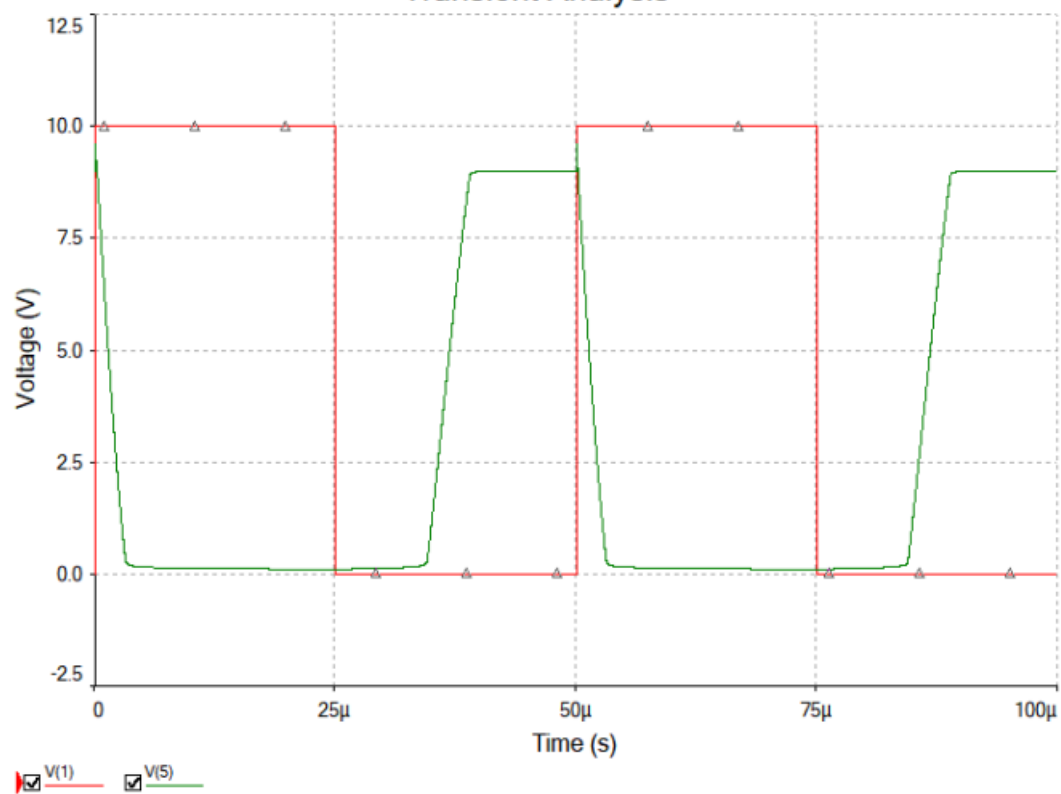
Нет форсирующего конденсатора

1\_5 влияние форсирующего конденсатора  
Transient Analysis



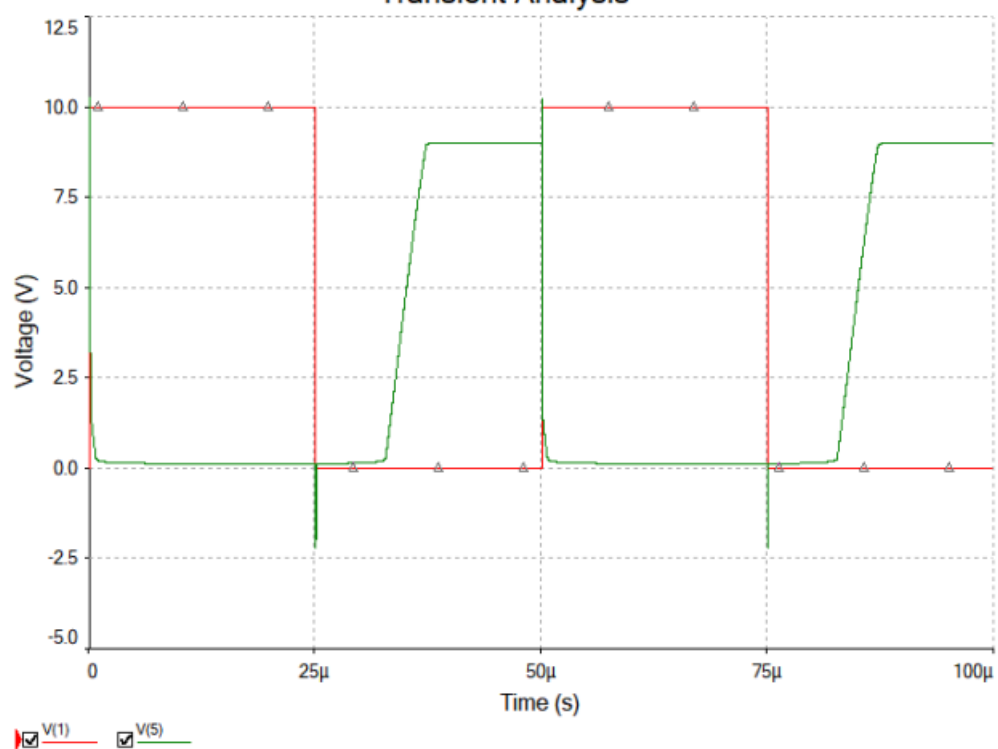
0,75 пФ

1\_5 влияние форсирующего конденсатора  
Transient Analysis



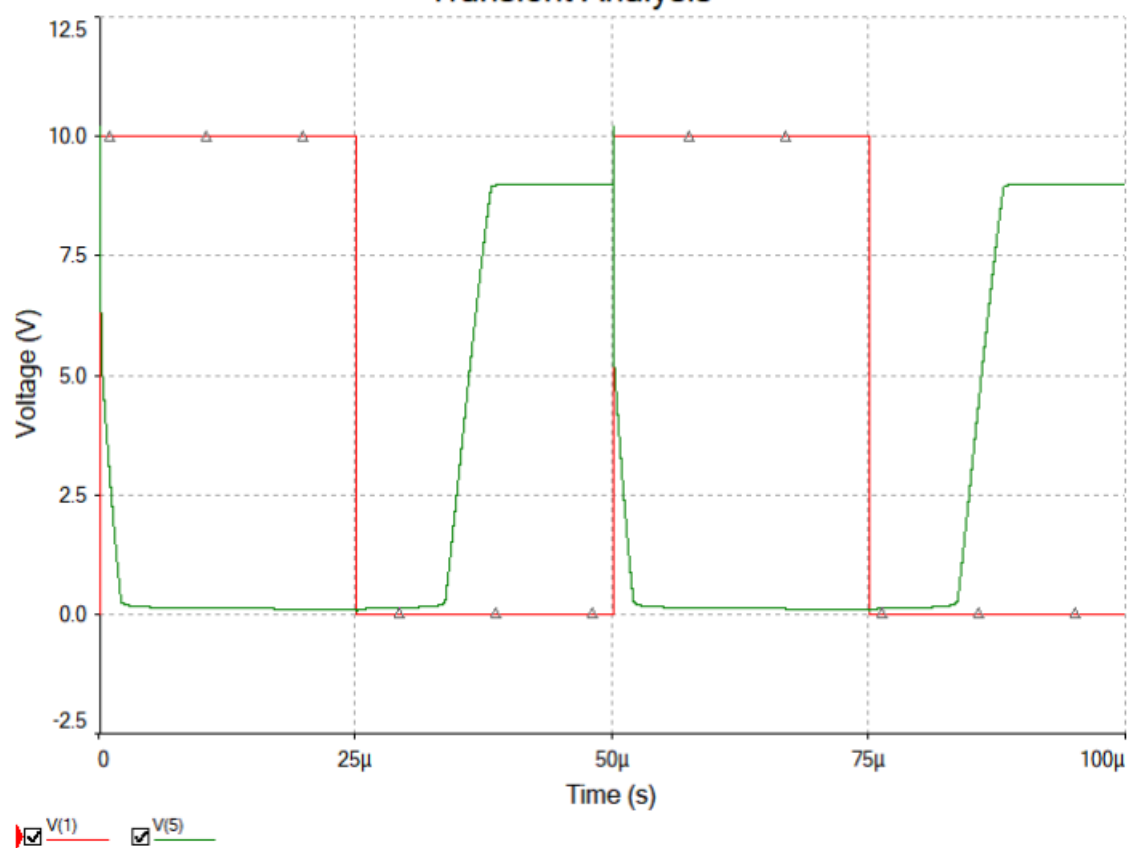
40 пФ

### 1\_5 влияние форсирующего конденсатора Transient Analysis



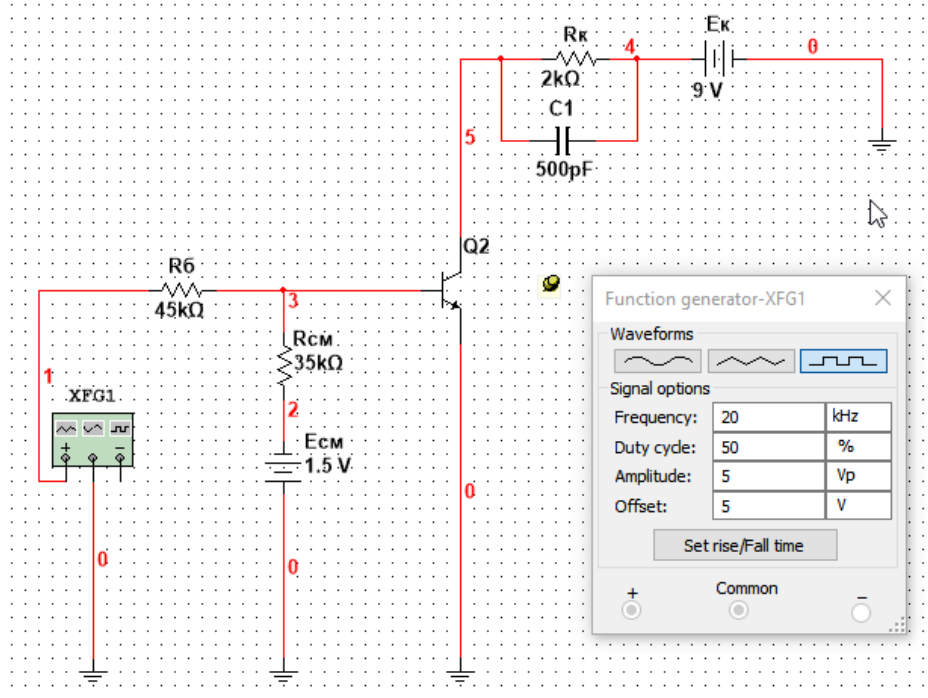
20 пФ

### 1\_5 влияние форсирующего конденсатора Transient Analysis



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).

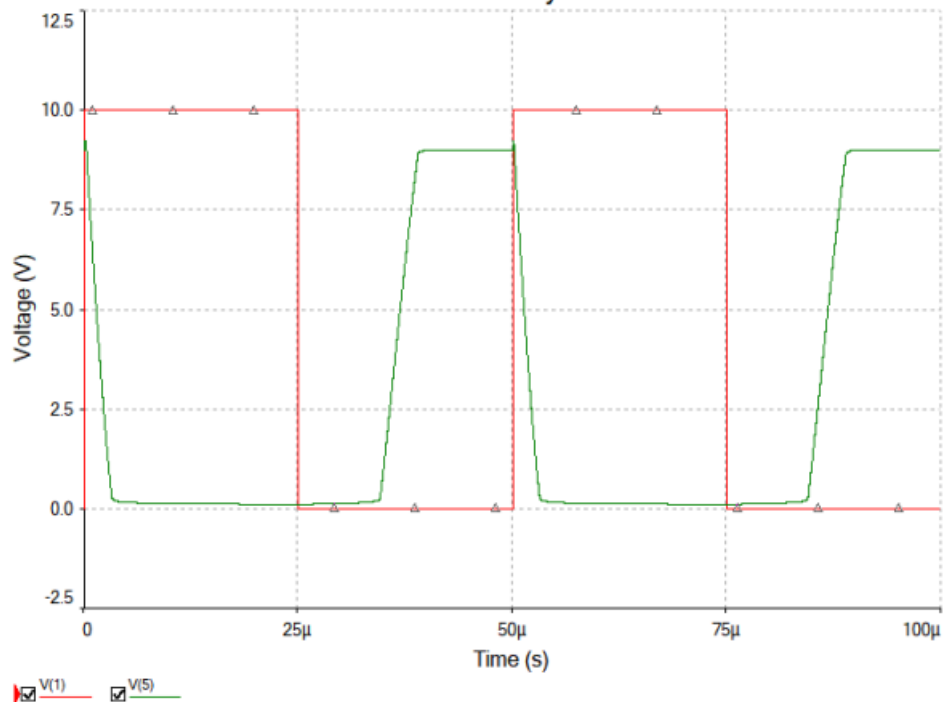
Влияние ёмкостной нагрузки на параметры переходных процессов



Нет конденсатора нагрузки

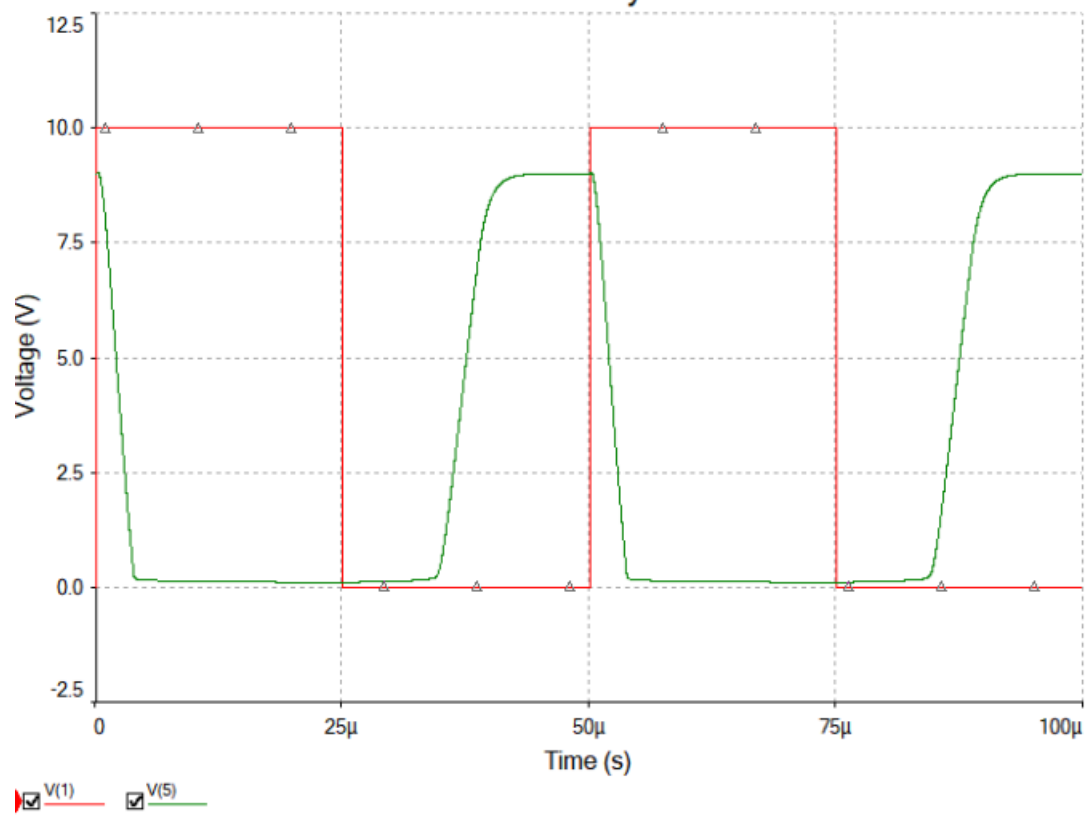
1\_5 влияние конденсатора нагрузки

Transient Analysis



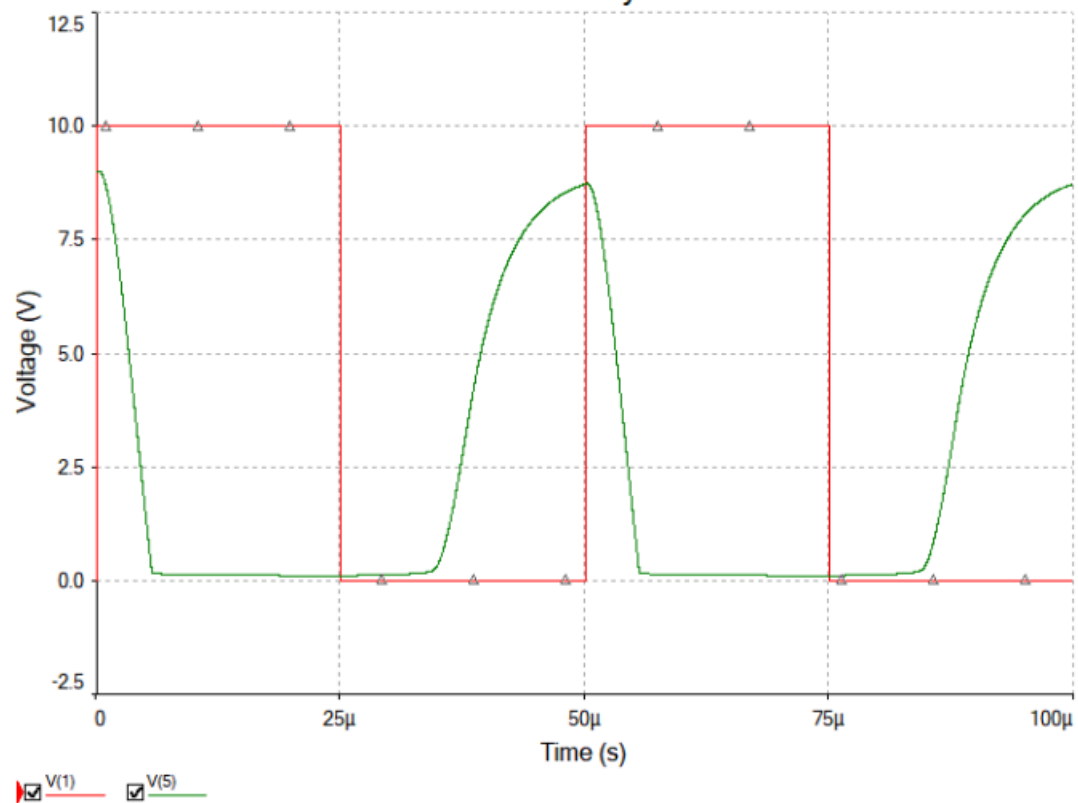
500 пФ

### 1\_5 влияние конденсатора нагрузки Transient Analysis



2 нФ

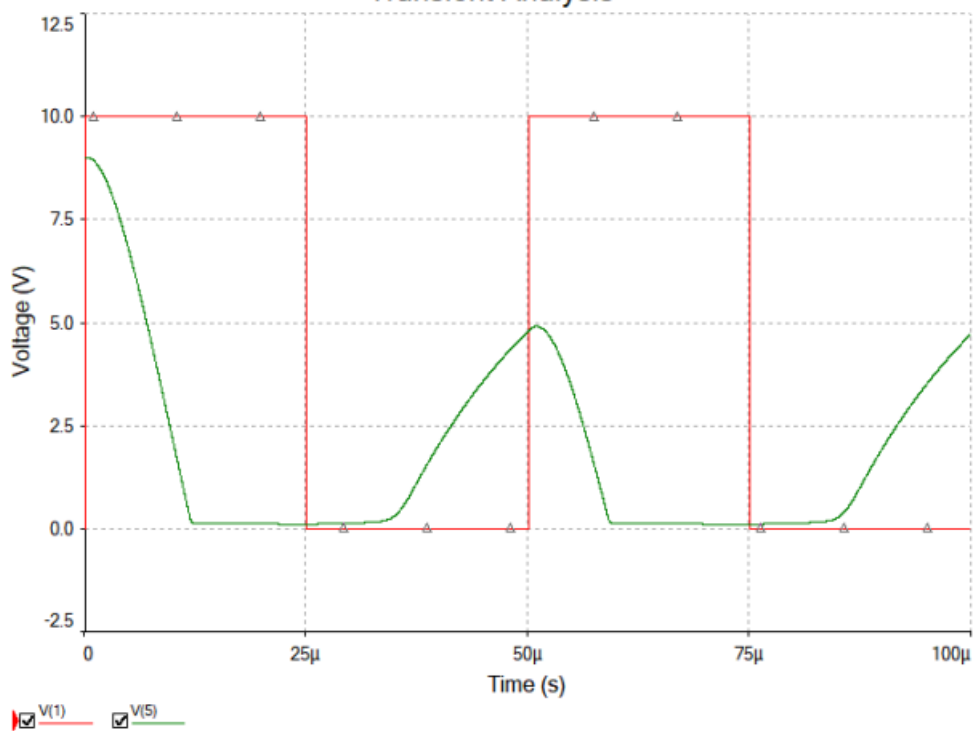
### 1\_5 влияние конденсатора нагрузки Transient Analysis





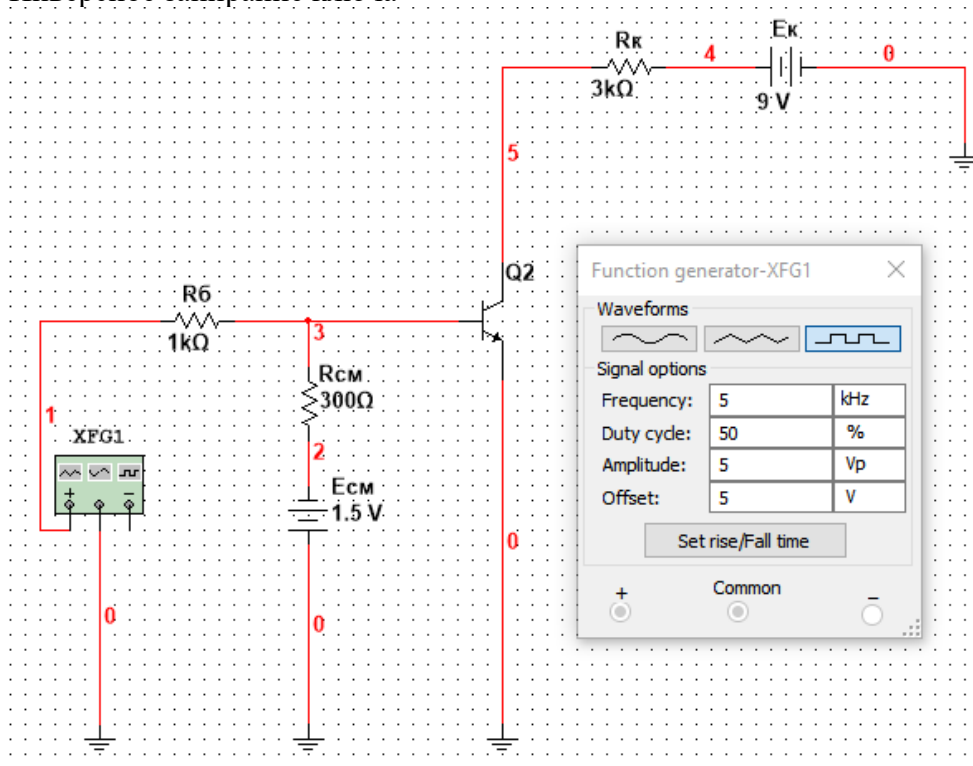
10 нФ

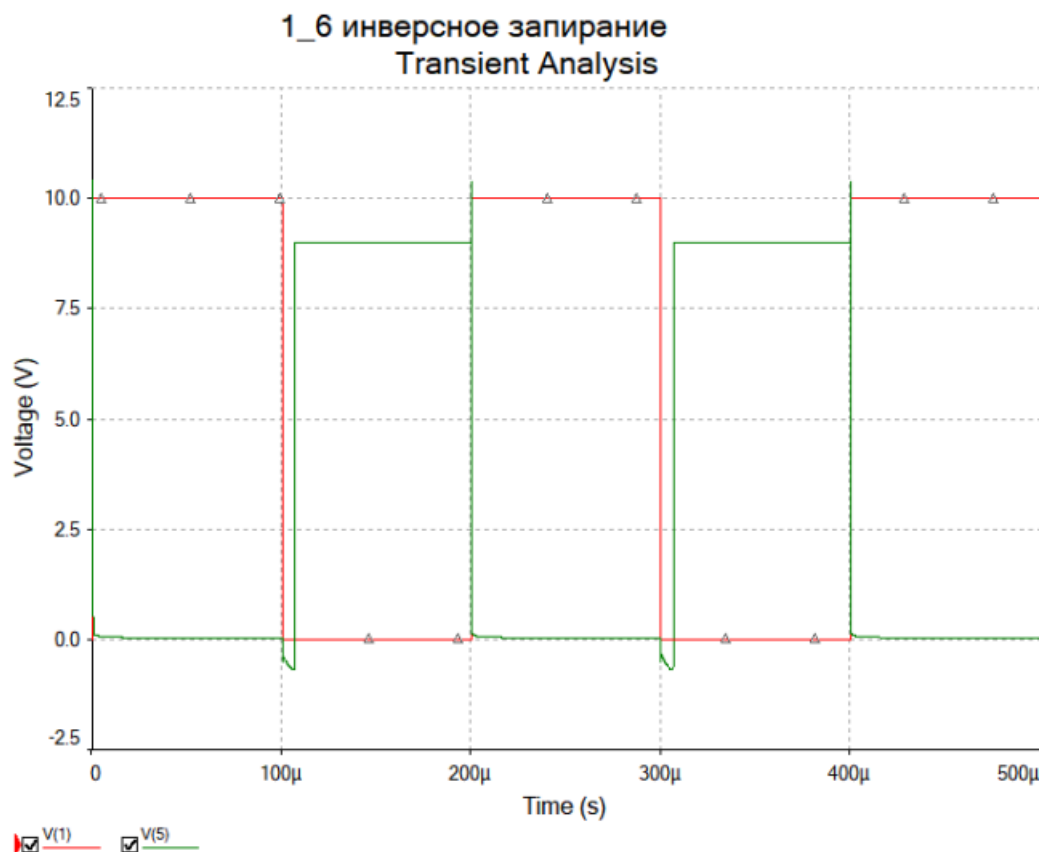
### 1\_5 влияние конденсатора нагрузки Transient Analysis



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  $\tau_c = (R_k + R_r) \cdot (C_k + C_n)$ . Длительность среза зависит от ёмкости нагрузки.

### Инверсное запитание ключа





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 пройдет 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.