



МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени Н.Э. БАУМАНА

Учебное пособие

Методические указания
по выполнению лабораторных работ
по курсу

«Электроника и микроэлектроника»

МГТУ имени Н.Э. Баумана

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени Н.Э. БАУМАНА

Методические указания
по выполнению лабораторных работ
по курсу

«Электроника и микроэлектроника»

Москва
МГТУ имени Н.Э. Баумана

2012

УДК 681.3.06(075.8)
ББК 32.973-018
И201

Методические указания по выполнению лабораторных работ по единому комплексному заданию по блоку дисциплины «Электроника и микроэлектроника» / Коллектив авторов – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. – 19 с.: ил.

В методических указаниях рассмотрены основные этапы, их последовательность и содержание по выполнению лабораторных работ по единому комплексному заданию по блоку дисциплин «Электроника и микроэлектроника».

Ил. 39. Табл. 5. Библиогр. 7 назв.

УДК 681.3.06(075.8)

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012

АННОТАЦИЯ

В данной лабораторной работе представлены к проработки следующие темы: зависимость быстродействия различных участков электрической принципиальной цепи с, включающей в себя электрический ключ, реализованный на транзисторе, от наличия или отсутствия емкостной нагрузки.

ANNOTATION

This paper presents a laboratory to study the following topics: the dependence of the electrical performance of various sections of the principal chain, which includes an electrical switch that is implemented on the transistor, the presence or absence of a capacitive load.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ ТРАНЗИСТОРА В СТАТИЧЕСКОМ И ДИНАМИЧЕСКОМ СОСТОЯНИЯХ...	7
1.1 Изучение статического режима работы транзистора.....	7
1.2 Изучение динамического режима работы транзистора.....	14
1.3 Изучение динамического режимов работы транзистора с емкостной нагрузкой	16
ВЫВОДЫ.....	18
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	19

ВВЕДЕНИЕ

Цель работы - исследовать статические режимы и переходные процессы в схеме простого транзисторного ключа. Продолжительность работы - 3,5 часа.

Транзисторные ключи (ТК) являются основой логических элементов ЭВМ. Для отображения двоичных символов используются статические состояния ТК, 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.

Основными параметрами статических состояний ТК являются напряжение насыщения $U_{кэн}$ и обратный ток $J_{к0}$. Режим отсечки ТК (рис. 12) характеризуется низким уровнем напряжения

$U_{\text{ВЫХ}} = -E_{\text{к}} + I_{\text{к0}} R_{\text{к}} \approx -E_{\text{к}}$. В режиме насыщения через ТК протекает ток

$$I_{\text{кн}} = \frac{E_{\text{к}} - U_{\text{кэн}}}{R_{\text{к}}} \approx \frac{E_{\text{к}}}{R_{\text{к}}}; U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{кэ}} \approx 0. \quad (1)$$

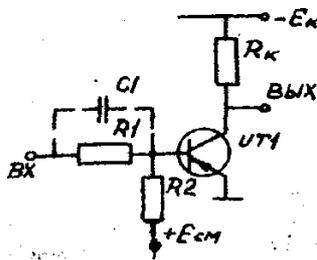


Рисунок - 1 Принципиальная схема транзисторного ключа

Основными параметрами переходных процессов являются: при включении ТК t_3 - время задержки и t_{ϕ} - длительность фронта, а при выключении t_{pac} - время рассасывания накопленного в базе заряда и t_c - длительность среза.

На рис. 13 представлены временные диаграммы, иллюстрирующие переходные процессы

в ТК. Время задержки $t_3 \approx \tau_{\text{вх}} \ln\left(1 + \frac{U_{60}}{E_{60}}\right)$, где $\tau_{\text{вх}} = R_6 C_{\text{вх}}$; U_{60} - начальное напряжение на

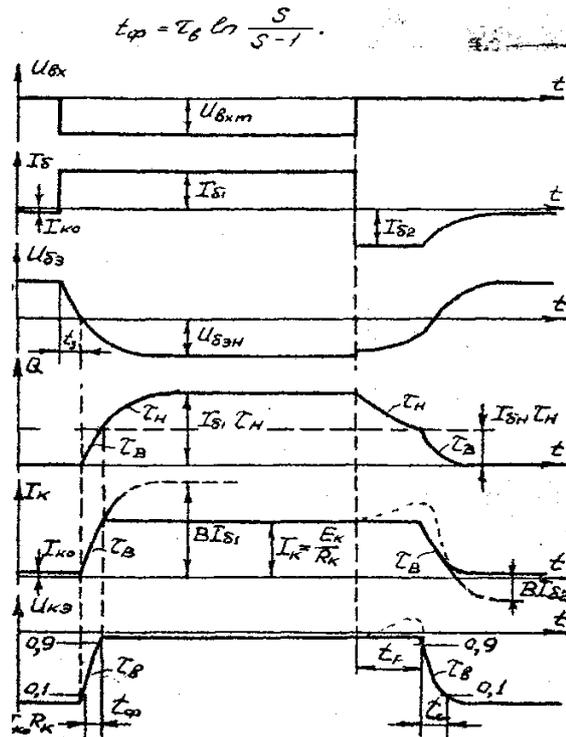


Рисунок - 2 Временные диаграммы работы транзисторного ключа

Для удобства измерения фронта его часто определяют как время нарастания тока от уровня $0.1I_{кн}$ до уровня $0.9I_{кн}$; $t_{\phi} = \tau_B \ln \frac{S-0.1}{S-0.9}$. В этих формулах $\tau_B = \frac{1}{2\pi f_B}$ (f_B - верхняя

граничная частота каскада ОЭ), а $S = \frac{I_{\delta 1}}{I_{\delta n}} = \frac{I_{\delta 1} B R_k}{E_k}$ - коэффициент насыщения. Ток базы, соответствующий границе насыщения, $I_{\delta n} = \frac{I_{кн}}{B}$.

Время рассасывания заряда в базе $t_{рас} = \tau_u \ln \frac{S I_{\delta n} + I_{\delta 2}}{I_{\delta n} + I_{\delta 2}}$, где τ_u - время жизни неосновных

носителей в базе в режиме насыщения.

Время рассасывания характеризуется интервалом времени от момента подачи запирающего входного напряжения $+E_{\delta 2}$ до момента, когда заряд в базе уменьшается до граничного значения $Q_{гр} = I_{\delta n} \tau_u$, при котором транзистор переходит из насыщенного состояния в активный режим. Если коллекторный переход запирается раньше эмиттерного ($t_k < t_s$) то транзистор переходит в нормальный активный режим, если наоборот ($t_s^u < t_k^u$), то в инверсный активный режим. В последнем случае на графике I_k и U_k появляется характерный выброс (рис. 13, штриховые линии).

Заканчивается переходный процесс при выключении транзистора срезом выходного напряжения (задним фронтом). Длительность t_c можно оценить, считая, что процесс формирования заднего фронта заканчивается при $Q \approx 0$. Тогда $t_c = \tau_e \ln \frac{I_{\beta 1} / S + I_{\beta 2}}{I_{\beta 2}}$.

Однако в реальных схемах большая часть среза выходного напряжения происходит, когда транзистор находится в режима 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 в схеме ТК (рис. 12. пунктир) является форсирующим. Он позволяет увеличить токи базы $I_{\beta 1}$ и $I_{\beta 2}$ на короткий промежуток времени, в то время как стационарные токи базы практически не меняются, это приводит к повышению быстродействия ТК. Другим способом увеличения быстродействия ТК является введение нелинейной обратной связи. Диод с малым временем восстановления (диод Шоттки), включенный между коллектором и базой, предотвращает глубокое насыщение ТК, фиксируя потенциал коллектора относительно потенциала базы. Такие ТК называют ненасыщенными.

1 ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ ТРАНЗИСТОРА В СТАТИЧЕСКОМ И ДИНАМИЧЕСКОМ СОСТОЯНИЯХ

1.1 Изучение статического режима работы транзистора

1) Статический режим работы транзистора:

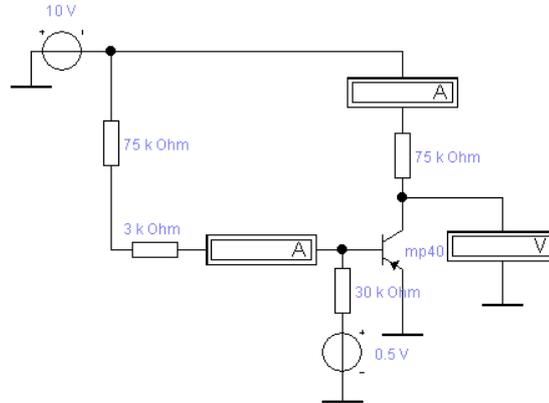


Рисунок - 3 Схема электрическая принципиальная
Временные диаграммы работы транзисторного ключа

Таблица 1 – Параметры электронных радио элементов

R_H , Ом	I_B , мкА	I_K , мкА	$U_{KЭ}$, мВ
130	125,1	$5,537 \cdot 10^3$	$9,28 \cdot 10^3$
910	125,1	$5,532 \cdot 10^3$	$4,966 \cdot 10^3$
3,6к	125,3	$2,733 \cdot 10^3$	160,8
5,1к	125,4	$1,932 \cdot 10^3$	145,7
10к	125,6	987,6	123,6
75к	126,1	132,3	80,17

При $R_H=3,6$ кОм, транзистор попадает на границу насыщения.

2) Динамический режим работы транзистора:

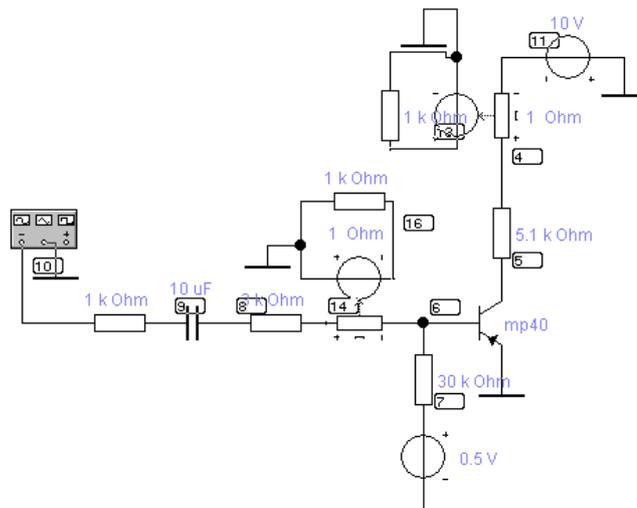


Рисунок - 4 Принципиальная схема транзисторного ключа с дополнительными элементами

Осциллограммы:

$R_H=130 \text{ Ом}$

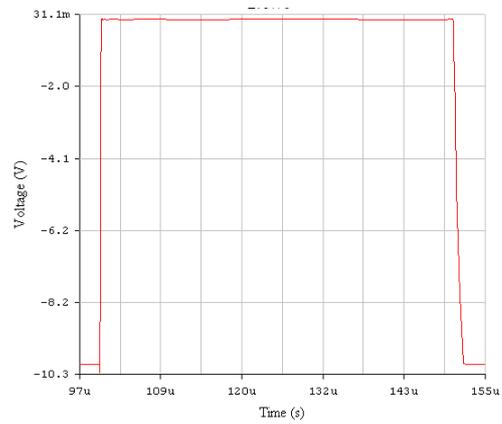
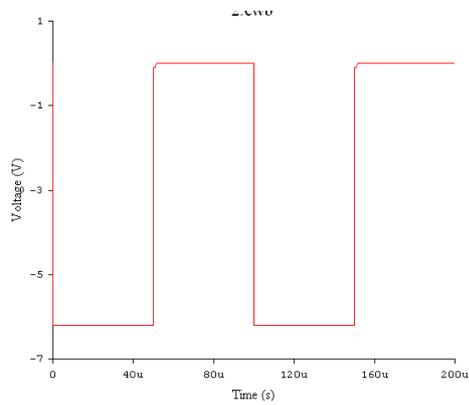
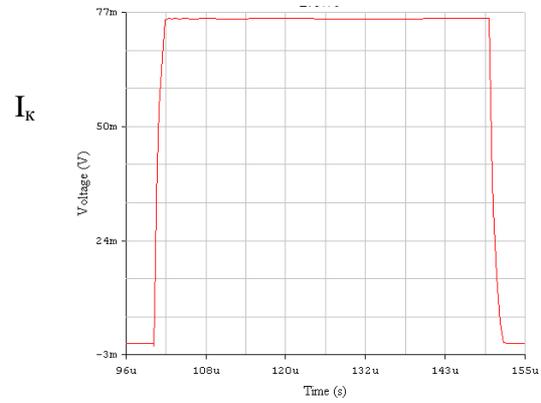
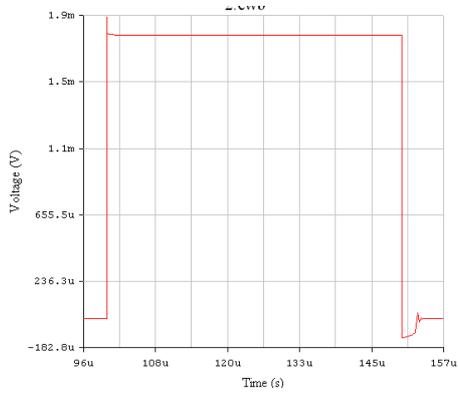
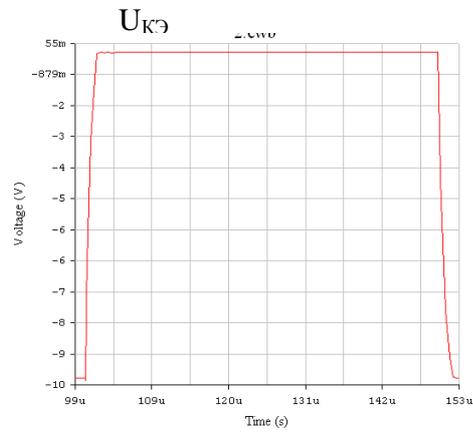
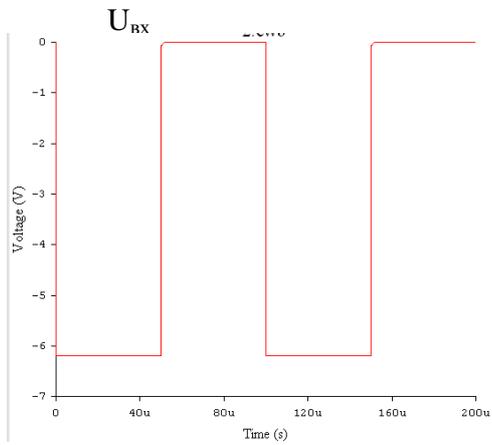
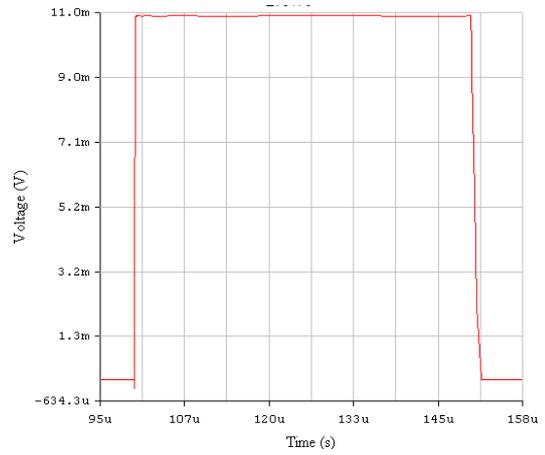
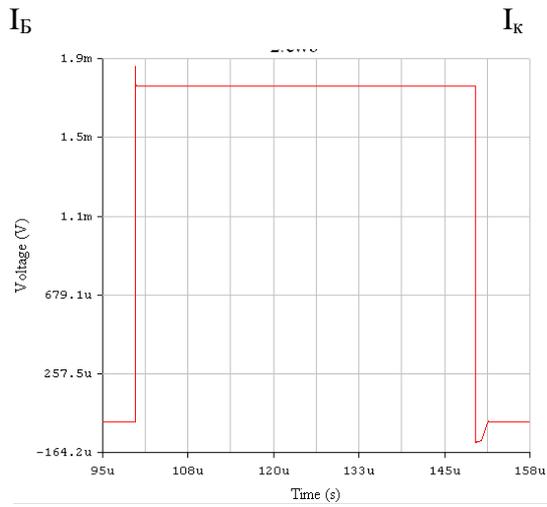


Рисунок - 5 Осциллограммы виртуальных измерительных приборов

На рис.5 получились осциллограммы, снятые с виртуальных вольтметров, которые были включены в схему



$R_H = 3,6 \text{ кОм}$

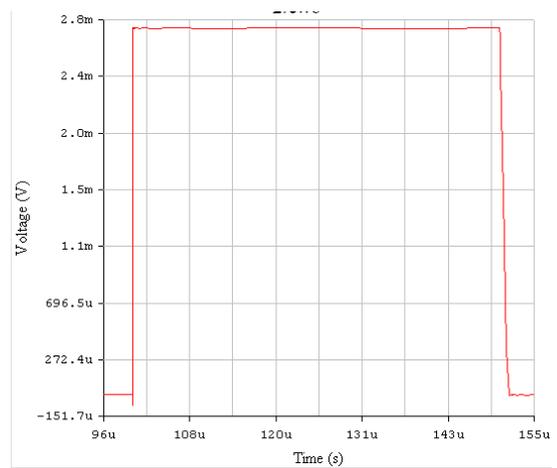
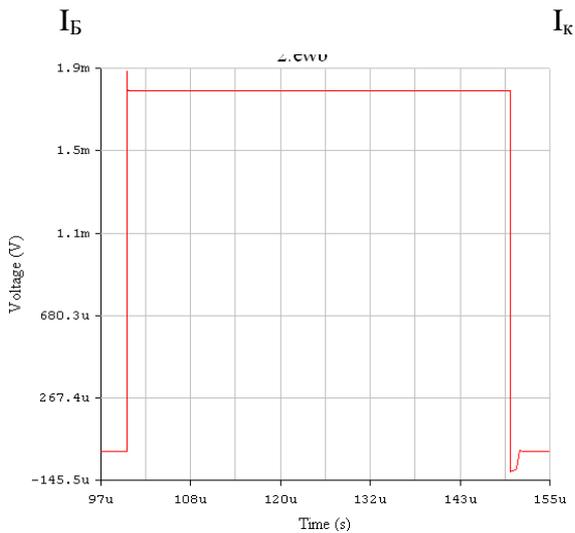
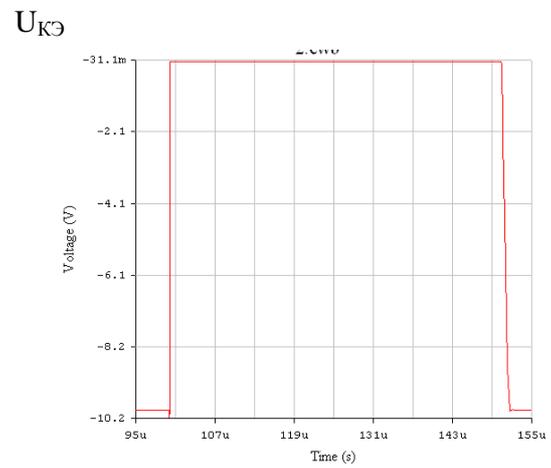
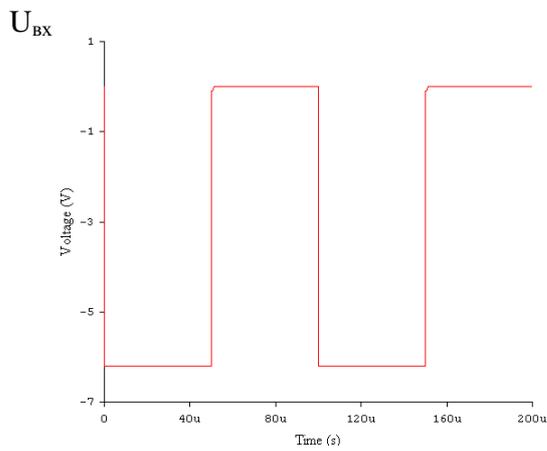
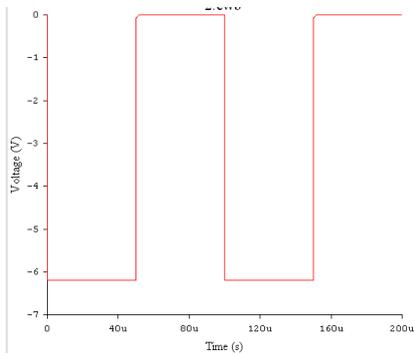


Рисунок - 6 Осциллограммы виртуальных амперметров

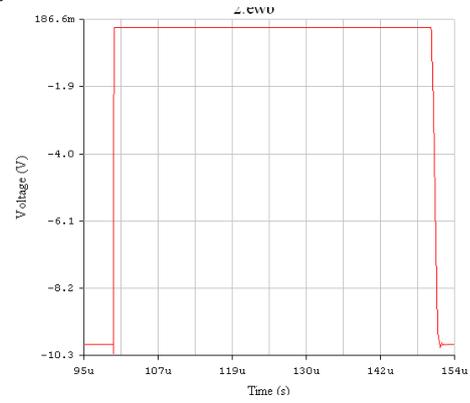
На рис.6 получились осциллограммы, снятые с виртуальных вольтметров, которые были включены в схему

$R_H=5,1 \text{ кОм}$

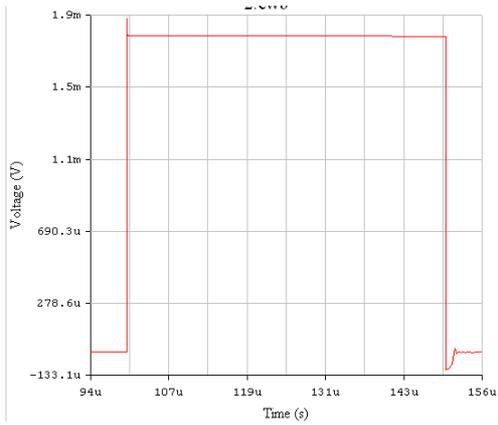
U_{BX}



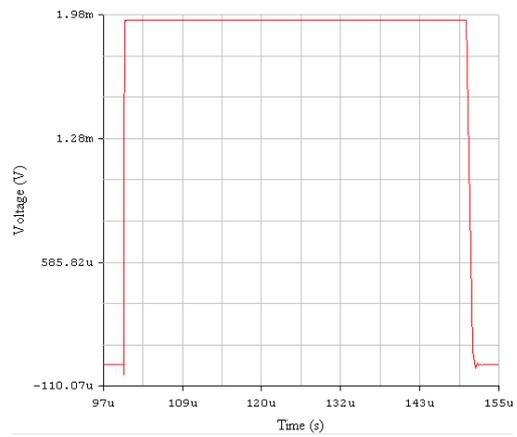
$U_{KЭ}$



I_B

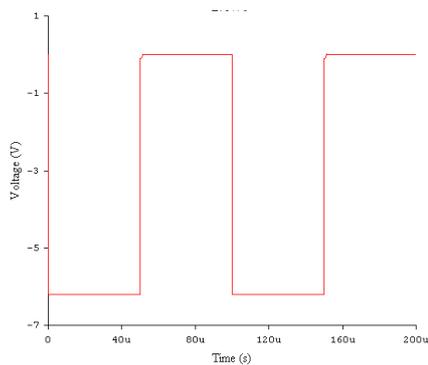


I_K



$R_H=10 \text{ кОм}$

U_{BX}



$U_{KЭ}$

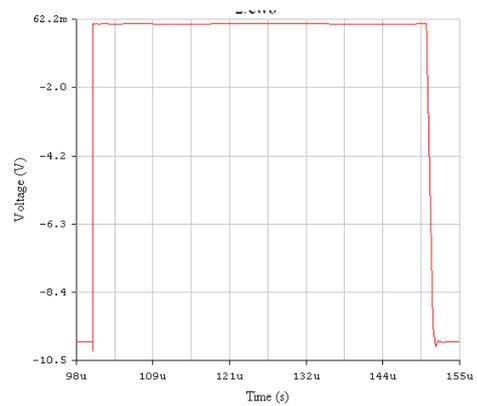
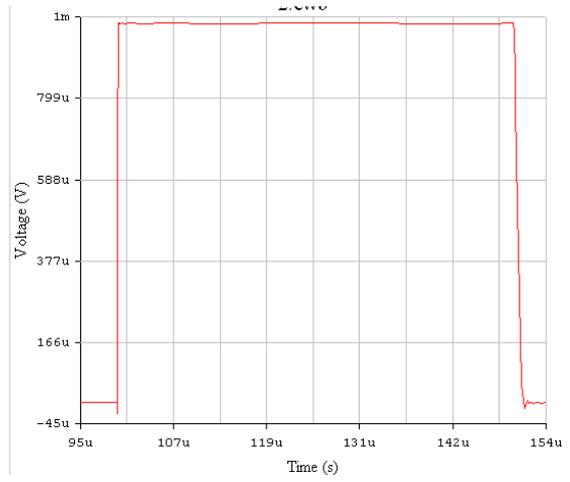
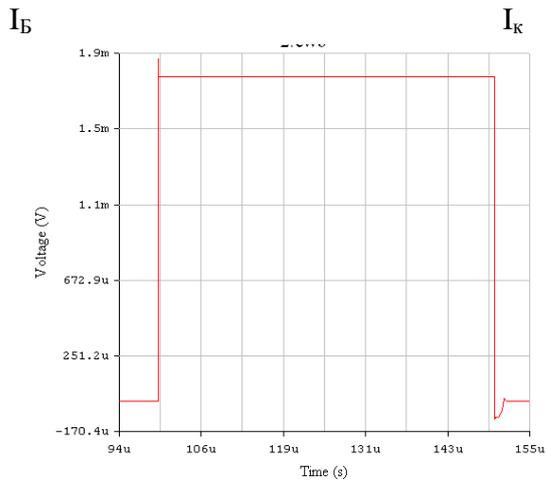


Рисунок - 7 Осциллограммы виртуальных амперметров с определенными параметрами элементов цепи

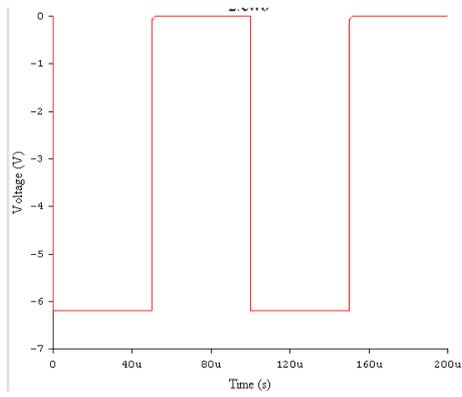
На рис.7 получились осциллограммы, снятые с виртуальных вольтметров, которые были

включены в схему



$R_H = 75 \text{ k}\Omega$

U_{BX}



$U_{KЭ}$

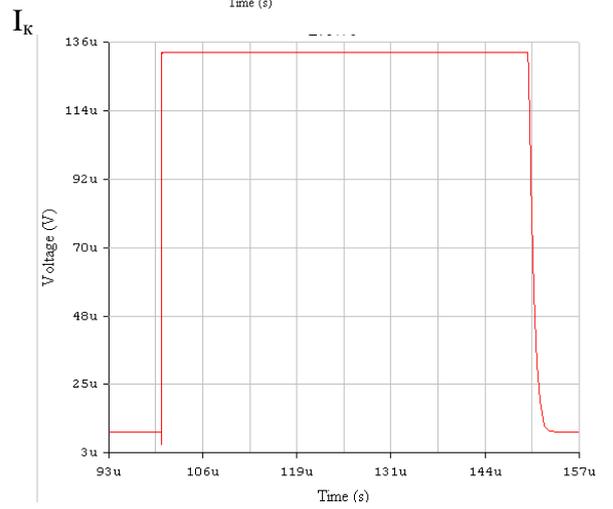
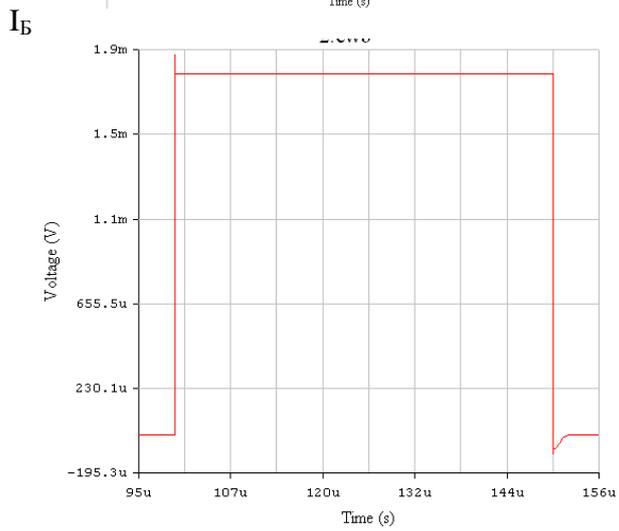
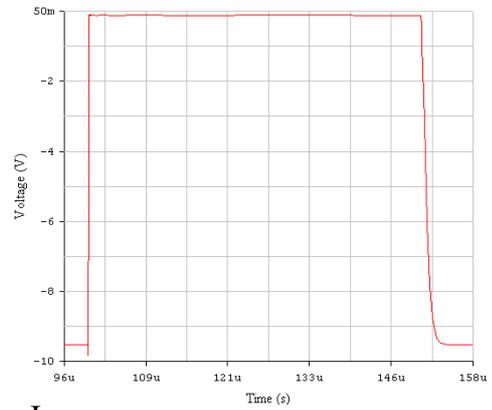


Рисунок - 8 Осциллограммы виртуальных амперметров с измененными параметрами элементов цепи

Таблица 1 – Сравнительные параметры цепи при изменении параметров элементов

R_n	130 Ом	910 Ом	3,6 кОм	5,1 кОм	10 кОм	75 кОм
$t_{ф}, \text{ мкс}$	1,65	0,2	0,11	0,10	0,08	0,07
$t_{\text{расс}}, \text{ мкс}$	0,005	0,01	0,015	0,024	0,024	0,051
$t_{\text{сп}}, \text{ мкс}$	2,15	1,61	1,23	0,99	0,41	2,29

На основе полученных результатов можно сделать вывод, что введение дополнительной емкости уменьшает время переходного процесса ключа.

1.2 Изучение динамического режима работы транзистора

3) Динамический режим работы с форсирующим конденсатором

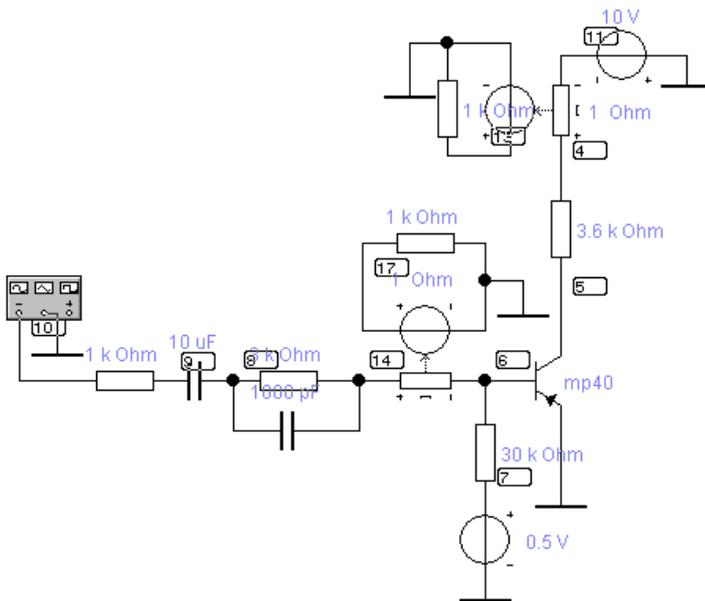


Рисунок - 9 Принципиальная схема транзисторного ключа с дополнительными элементами и с виртуальным тактирующим датчиком

Введение в электрическую принципиальную цепь тактирующего элемента обеспечит лучший анализ работы цепи.

$R_H = 3.6 \text{ кОм}$

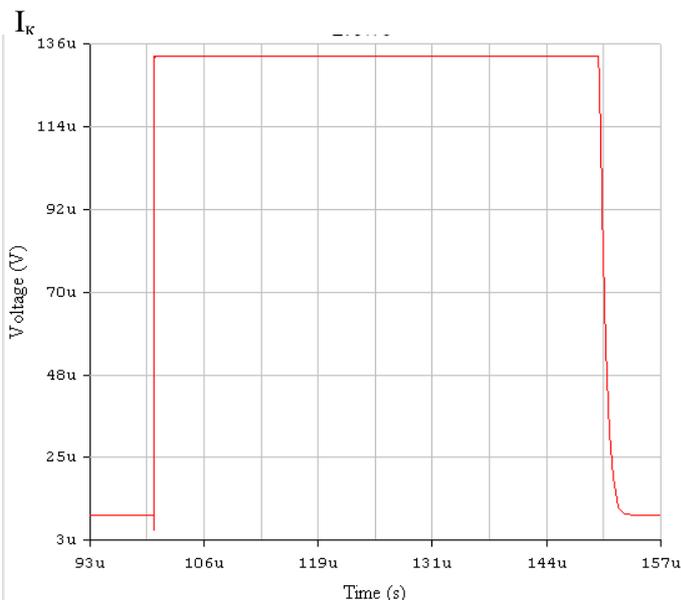
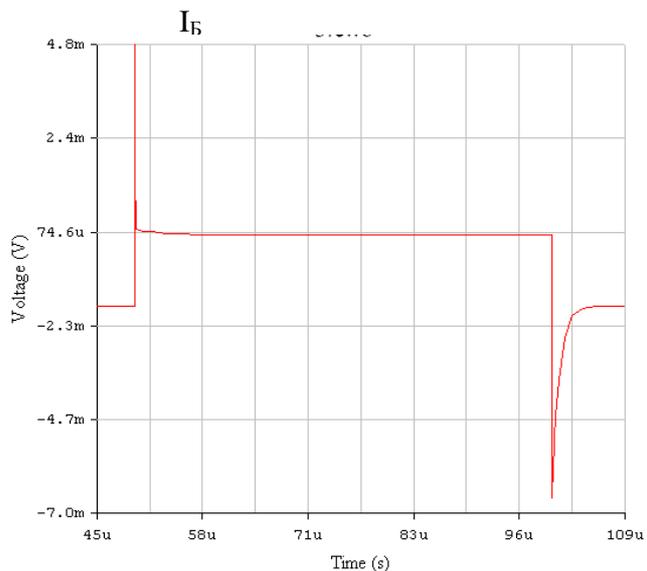
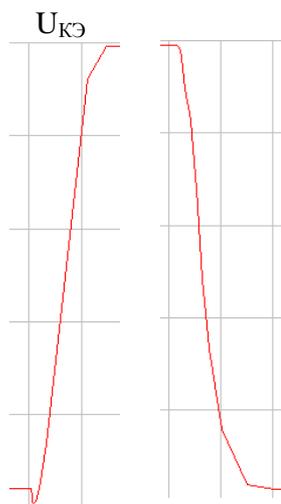
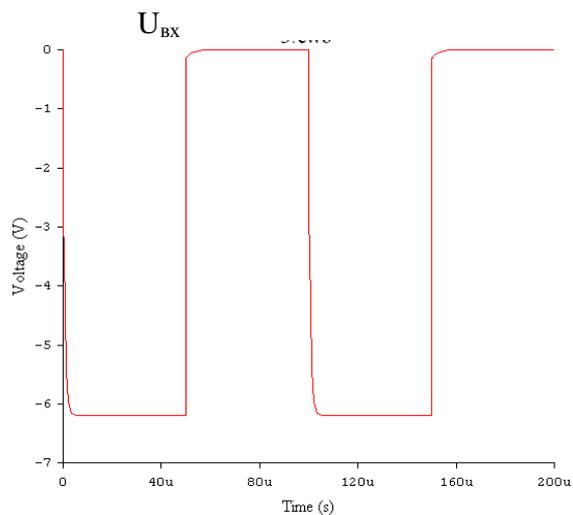


Рисунок - 10 Осциллограммы виртуальных амперметров с тактирующим элементом

Таблица 2 – Сравнительные параметры цепи при введении новых элементов

R_H	3,6 кОм	3,6 кОм без C_ϕ
t_ϕ , мкс	0,04	0,11
$t_{\text{расc}}$, мкс	0,0085	0,015
$t_{\text{сп}}$, мкс	0,13	1,23

На основе получившихся результатов, можно сделать частный вывод, о том, что в динамическом режиме транзистор работает лучше.

$R_H=3.6 \text{ кОм}, C=470 \text{ пФ}$

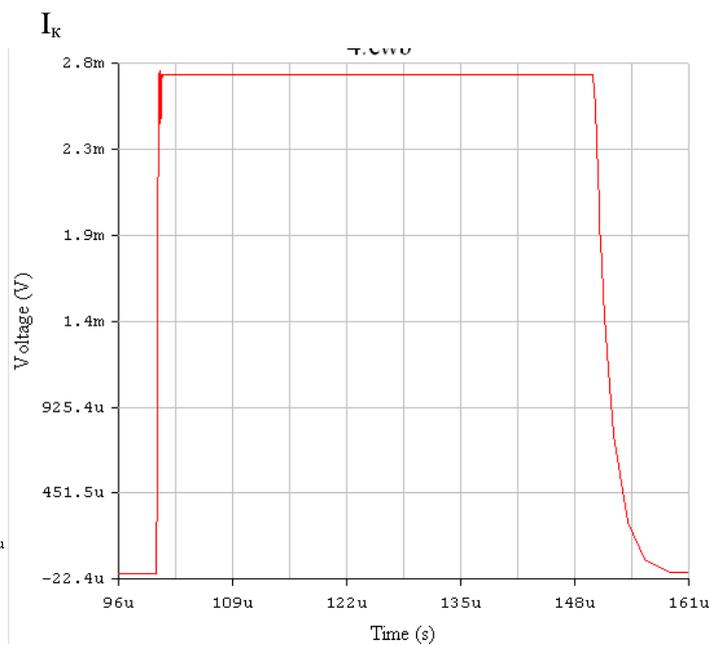
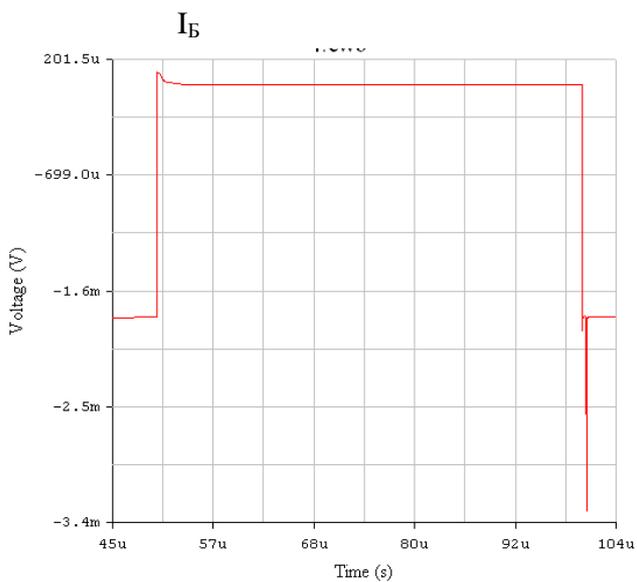
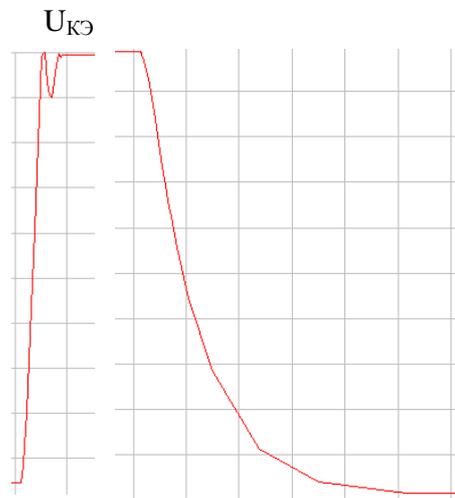
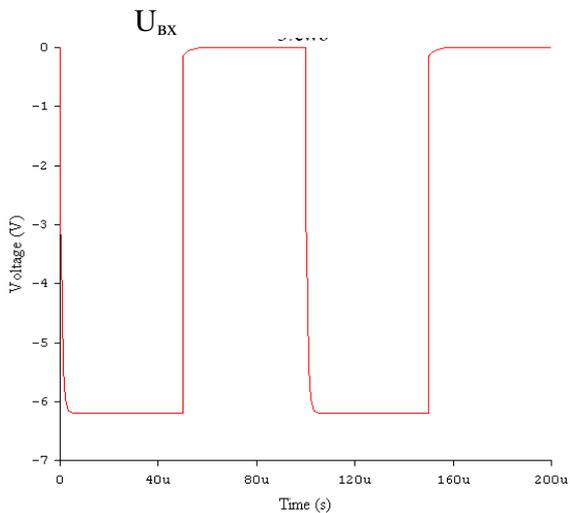


Рисунок - 12 Осциллограммы виртуальных амперметров с дополнительной емкостной нагрузкой

Таблица 3 – Сравнительные параметры цепи при введении емкостной нагрузки

R_H	3,6 кОм	3,6 кОм без C_H
$t_{\phi}, \text{ мкс}$	0,71	0,11
$t_{\text{расc}}, \text{ мкс}$	0,02	0,015
$t_{\text{сп}}, \text{ мкс}$	8,44	1,23

На основе полученных результатов можно сделать вывод, что дополнительная емкость в цепи заставляет цепь медленней работать.

ВЫВОДЫ

Подключение форсирующего конденсатора увеличивает время быстрого действия ключа. Из-за ёмкостной нагрузки быстрое действие ключа значительно снижается. Система в целом работает медленней.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Основы теории цепей: Учебник для вузов/ Г.В. Зевеке, П.А. Ионкин, А.В. Нетушил, С.В. Страхов. – 5-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 2007. – 528 с.
2. Теоретические основы электротехники. В 3-х ч. – Ч. I. Атабеков Г.И. Линейные электрические цепи: Учебник для вузов. – 5-е изд., испр. и доп. – М.: Энергия, 2008. – 592 с.
3. Нейман Л.Р., Демирчян К.С. Теоретические основы электротехники. В 2-х т.: Учебник для вузов. Том 1. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергоиздат, 2007. – 536 с.