

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
**“ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ
СООБЩЕНИЯ
МИНИСТЕРСТВА ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ”**

Кафедра «Радиотехника»

В.К.Фунзавя
Т.М Родигина
В.В.Шматченко

**Методические указания к выполнению лабораторной работы №9
«ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНЗИСТОРНОГО КЛЮЧА»**

Санкт-Петербург
2005

1. Цель работы: Исследование работы транзисторного ключа на биполярном транзисторе.

Задачи:

1. Определение по передаточной характеристике логического перепада и помехоустойчивости транзисторного ключа.
2. Исследование методов повышения быстродействия насыщенного ключа, за счет ускоряющей емкости.
3. Исследование работы транзисторного ключа в ненасыщенном режиме.

2. Краткие сведения из теории

2.1. Транзисторный ключ предназначен для замыкания и размыкания цепи нагрузки под воздействием управляющих импульсов входного сигнала. Он также является основным базовым элементом импульсных и цифровых устройств.

В статическом режиме ключевая схема находится либо в состоянии «включено» (ключ замкнут), либо в состоянии «выключено» (ключ разомкнут).

Переключение ключевой схемы из одного состояния в другое осуществляется благодаря воздействию на нее входного управляющего сигнала имеющего форму импульса или уровней напряжений: соответственно низкого, обозначаемого U^0 , и высокого, обозначаемого U^1 .

В данной работе исследуется наиболее распространенный транзисторный ключ, включенный по схеме с общим эмиттером. Такая схема имеет инверсионный выходной сигнал и с усилением (рис.1).

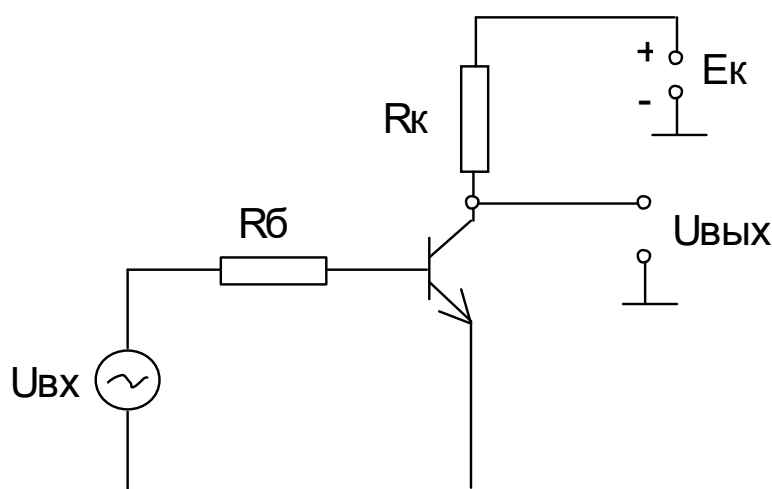


Рисунок 1 – Схема транзисторного ключа (с общим эмиттером)

Статические свойства ключевой схемы определяются по ее передаточной характеристике – зависимости напряжения на выходе от напряжения на входе, $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}})$, представленная на рис 2.

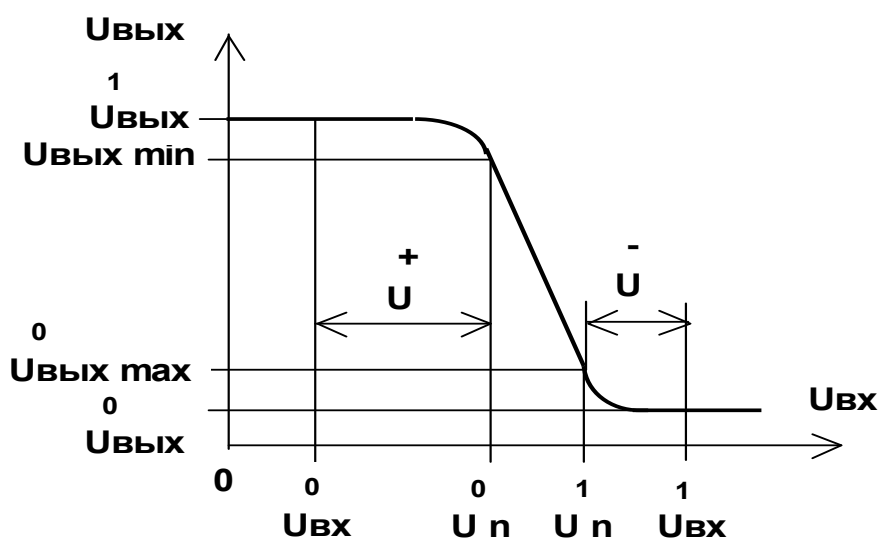


Рисунок 2 – Передаточная характеристика транзисторного ключа

На графике этой зависимости проводят уровни $U_{\text{вых мин}}^1$ и $U_{\text{вых макс}}^0$. Напряжение $U_{\text{вых мин}}^1$ равно минимальному значению уровня логической «1» на выходе схемы. Сигнал $U_{\text{вых}} > U_{\text{вых мин}}^1$ считается единичным. Напряжение $U_{\text{вых макс}}^0$ соответствует максимальному значению логического «0» на выходе схемы. Сигнал $U_{\text{вых}} < U_{\text{вых макс}}^0$ считается нулевым. Абсцисса точки пересечения характеристики $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}})$ с уровнем $U_{\text{вых мин}}^1$ соответствует пороговому напряжению $U_{\text{п}}^0$ входного сигнала. При $U_{\text{вх}} < U_{\text{п}}^0$ на выходе схемы поддерживается уровень логической «1». Абсцисса точки пересечения передаточной характеристики с уровнем $U_{\text{вых макс}}^0$ равна пороговому напряжению $U_{\text{п}}^1$ входного сигнала. При $U_{\text{вх}} > U_{\text{п}}^1$ на выходе схемы поддерживается уровень логического «0». Диапазоны напряжений на входе $U_{\text{п}}^0 > U_{\text{вх}} < U_{\text{п}}^1$ и выходе $U_{\text{вых макс}}^0 < U_{\text{вых}} < U_{\text{вых мин}}^1$ соответствуют области переключения состояния ключа.

Передаточная характеристика позволяет наглядно оценить помехоустойчивость схемы, т.е. найти максимально допустимые помехи, действующие на входе схемы наряду регулярными сигналами, при которых еще не происходит изменение логических состояний ключа.

Помехи в ключевых схемах могут быть статическими, например изменения входных напряжений, связанные с падением напряжения схемы питания, так и импульсные, обусловленными внешними электромагнитными полями.

Если максимальное значение помехи, действующей на входе схемы, превышает U^+ , то на выходе ключа уровень «единицы» будет ниже минимально допустимого $U_{\text{вых мин}}^1$, что может привести к сбою. В свою очередь, отрицательное значение помехи не должно быть больше величины

U^- . Величины U^+ и U^- характеризуют помехоустойчивость ключа. Они должны быть по возможности большими. Разность номинальных уровней входных напряжений логической единицы и нуля называют логическим перепадом

$$U_{\text{лп}} = U_{\text{вх}}^1 - U_{\text{вх}}^0 = (U_{\text{п}}^1 + U^-) - (U_{\text{п}}^0 - U^+) = (U_{\text{п}}^1 - U_{\text{п}}^0) + (U^+ + U^-) \quad (1)$$

Как видно из выражения, допустимые значения U^+ и U^- будут наибольшими при совпадении пороговых значений, т.е. при $U_{\text{п}}^1 = U_{\text{п}}^0$. Тогда

$$U_{\text{лп}} = U^+ + U^- \quad (2)$$

2. Быстродействие схемы транзисторного ключа.

Одной из важнейших динамических характеристик ключевой схемы является ее быстродействие, т.е. высокая скорость перехода ключа из одного состояния в другое. Такой переход не может быть мгновенным из-за переходных процессов происходящих в транзисторе, в частности, из-за влияния диффузионных емкостей эмиттерного и коллекторного переходов и временем пролета электронов через область базы. На рис. 3 приведены временные диаграммы входного и выходного напряжений ключевой схемы.

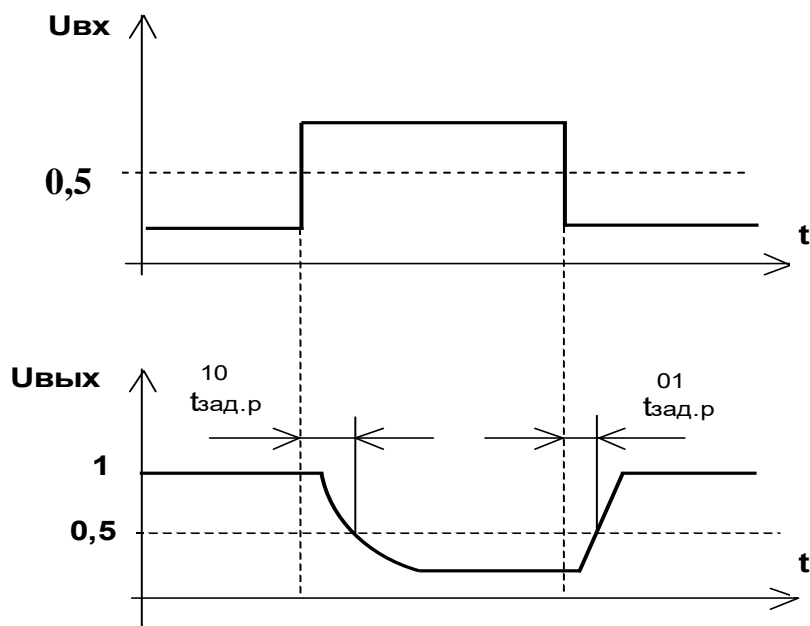


Рисунок 3 – Временные диаграммы входного и выходного напряжений ключевой схемы

Пороговые значения напряжения на выходе схемы достигается позднее, чем на входе на интервал времени $t_{\text{зд}}^{1/0}$ (длительность включения) при изменении входного напряжения от U^0 до U^1 (перепад $0 \rightarrow 1$) и на $t_{\text{зд}}^{0/1}$ (длительность выключения) при перепаде $1 \rightarrow 0$. Это приводит к задержке распространения сигнала $t_{\text{зд.р.ср}}$. Причиной задержек является инерционность транзистора, входящего в ключевую схему. Быстродействие

ключа определяют по времени задержки распространения сигнала, как среднее арифметическое величин задержек $t_{зд}^{1/0}$ и $t_{зд}^{0/1}$

$$t_{зд. п.ср} = 0,5(t_{зд}^{1/0} + t_{зд}^{0/1}) \quad (3)$$

Быстродействие ключа можно значительно повысить, если уменьшить длительность включения ключа $t_{зд}^{1/0}$ за счет увеличения отпирающего тока базы. Увеличение переднего фронта импульса тока базы $I_{1фб}$ значительно сократит время заряды диффузионной емкости эмиттерного перехода и повысит скорость пролета электронов через область базы. Однако при большом токе базы велика степень насыщения транзистора, что приведет к увеличению длительности выключения ключа $t_{зд}^{0/1}$. Длительность выключения ключа также можно уменьшить увеличив обратный запирающий ток базы $I_{2фб}$. Следовательно, управляющий ток базы должен иметь форму, показанную на рис. 4.

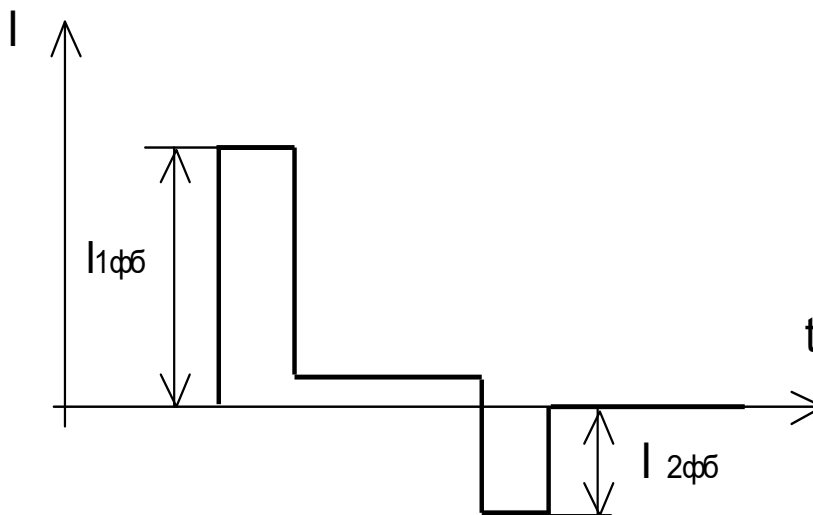


Рисунок 4 – Идеальная форма управляющего тока базы

Требуемую форму управляющего тока базы I_b транзисторного ключа можно получить, включив в цепь базы ускоряющую емкость C , рис. 5.

3. Ненасыщенный транзисторный ключ.

Рассмотренная ключевая схема в пункте 2 обладает существенным достоинством – большим, приближающимся к единице, коэффициентом использования питающего напряжения.

Однако, в этой схеме транзистор в состоянии ключа «включено» находится в режиме насыщения. Оба перехода и коллекторный, и эмиттерный открыты и через транзистор протекает большой ток насыщения $I_{кн}$, а остаточное напряжение на коллекторе $U_{кэ.н} \approx 0$. Это приводит к тому, что в коллекторном переходе происходит большое накопление не основных носителей заряда.

При переключении ключа в состояние «выключено» ток коллектора остается равным току $I_{кн}$ до тех пор пока не закончится рассасывание

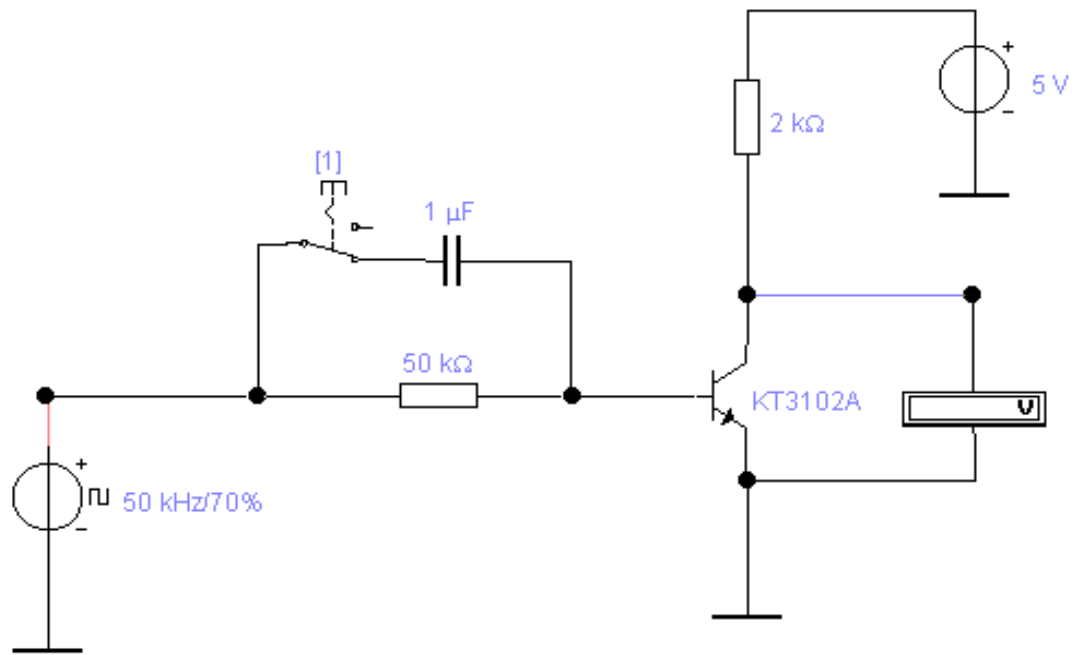


Рисунок 5 – Схема транзисторного ключа с ускоряющей емкостью

накопленных в коллекторном переходе зарядов. Этап рассасывания значительно снижает быстродействие ключа.

В ненасыщенных ключах предотвращают работу транзистора в режиме насыщения, вводя нелинейную обратную связь, реализуя работу транзистора в активном режиме.

В схеме с нелинейной обратной связью (рис. 6) между коллектором и базой транзистора включают диод, имеющий меньшее прямое напряжение $U_{пр}$ по сравнению с прямым напряжением коллекторного перехода $U_{кб.пр}$.

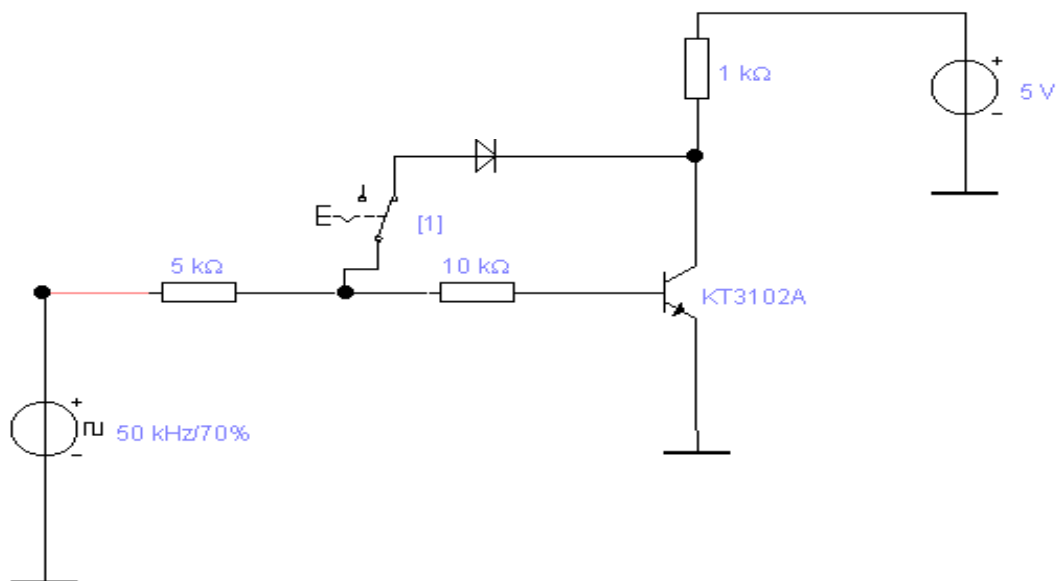


Рисунок 6 – Схема ненасыщенного транзисторного ключа

Когда транзистор заперт или работает в активном режиме, диод включен в обратном направлении и не влияет на работу ключа.

При переходе ключа в состояние «включено» напряжение на коллекторе $U_{кэ}$ падает и если оно становится меньше напряжения базы $U_{бэ}$ ($U_{кэ} < U_{бэ}$), диод отпирается на нем устанавливается прямое напряжение $U_{пр}$,

Это напряжение фиксирует напряжение $U_{кэ}$ и ток $I_{кэ}$, соответствующие точке пересечения нагрузочной характеристики с выходной статической характеристикой на границе режима насыщения и активного режима работы транзистора. В этом режиме инжекция носителей из коллектора в базу и, следовательно, накопление не основных носителей в области базы не происходит. Благодаря этому значительно снижается и время рассасывания.

Остаточное напряжение на выходе включенного ключа ($U_{кэ.ост}$) может быть значительным $U_{кэ.ост} > U_{кн}$, что приведет к уменьшению выходного импульса и к снижению коэффициента использования питающего напряжения.

4. Порядок выполнения работы

4.1. Снятие передаточной характеристики транзисторного ключа

Снятие передаточной характеристики выполняется при помощи пакета программ Workbench EBA 5.0.

Для выполнения данного пункта л.р. необходимо открыть файл Эл.устр_9.1.ewb, находящийся в каталоге Workbench_5.0.

Схема, содержащаяся в данном файле показана на рис 7.

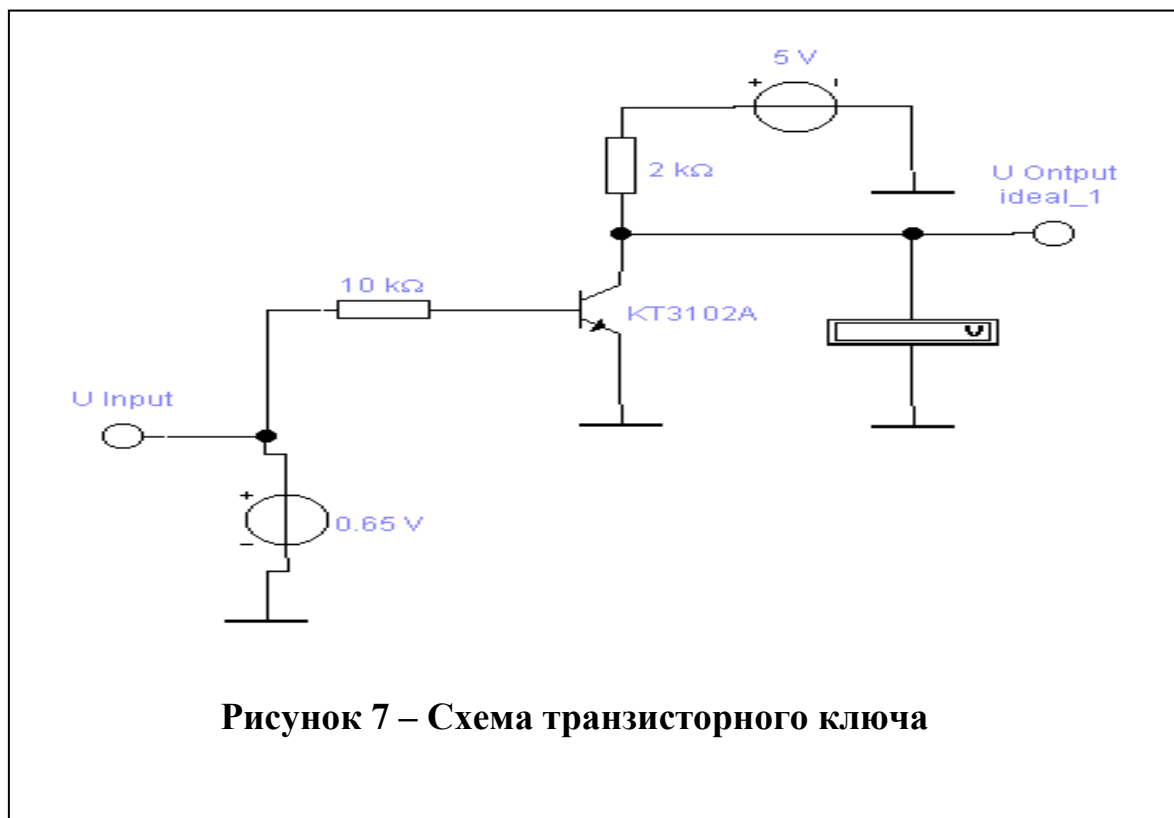


Рисунок 7 – Схема транзисторного ключа

Изменяя входное напряжение от 0 до 1.1В измерить выходное напряжение.

Данные измерений занести в таблицу 1.

Таблица 1

$U_{вх}, В$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,65	0,66	0,7	0,8	0,85	0,9	1,0	1,1
$U_{вых}, В$															

Определить значения $U_{вых макс.}^0$ и $U_{вых мин.}^1$.

$U_{вых мин.}^1$ - соответствует напряжению, которое предшествует изменению показания (с красного на белый) индикатора на выходе.

$U_{вых макс.}^0$ - соответствует напряжению, которое предшествует изменению показания (с белый на красный) входного индикатора.

4.2. Исследование методов повышения быстродействия ключа

4.2.1. Исследование схемы насыщенного транзисторного ключа.

Для выполнения данного пункта л.р. необходимо открыть файл Эл.устр_9.2.ewb, находящийся в каталоге Workbench_5.0.

Схема, содержащаяся в данном файле показана на рис 5, **ключ разомкнут.**

Установить напряжение на входе равным 1,5 В, частота 50кГц, $R_6 = 50кОм$, $R_k = 2кОм$, $E_k = 5В$.

Определить по осциллограмме $t_{зад.р.}^{10}$ $t_{зад.р.}^{01}$ (рисунок 3).

Для точного определения значений указанных характеристик установить развертку (Time base) - 0,2 мс/дел.

4.2.2. Исследование схемы транзисторного ключа с ускоряющей емкостью.

Для выполнения данного пункта л.р. необходимо открыть файл Эл.устр_9.2.ewb, находящийся в каталоге Workbench_5.0.

Схема, содержащаяся в данном файле показана на рис 5, **ключ замкнут.**

Определить по осциллограмме $t_{зад.р.}^{10}$ $t_{зад.р.}^{01}$ (рисунок 3). Для точного определения значений указанных характеристик установить развертку (Time base) - 0,2 мс/дел.

4.3. Исследование работы ненасыщенного ключа.

4.3.1. Схема транзисторного ключа без диода.

Для выполнения данного пункта л.р. необходимо открыть файл

Эл.устр_9.3.ewb, находящийся в каталоге Workbench_5.0. Схема, содержащаяся в данном файле показана на рисунке 6. Ключ разомкнут. Определить по осциллограмме: по переднему фронту - $t_{\text{зад.р.}}^{10}$; по заднему фронту - $t_{\text{зад.р.}}^{01}$ и $t_{\text{расс.}}$. Порядок определения показан на рисунках 3 и рисунке 8. Для точного определения значений указанных характеристик установить развертку (Time base) - 0,2 мс/дел.

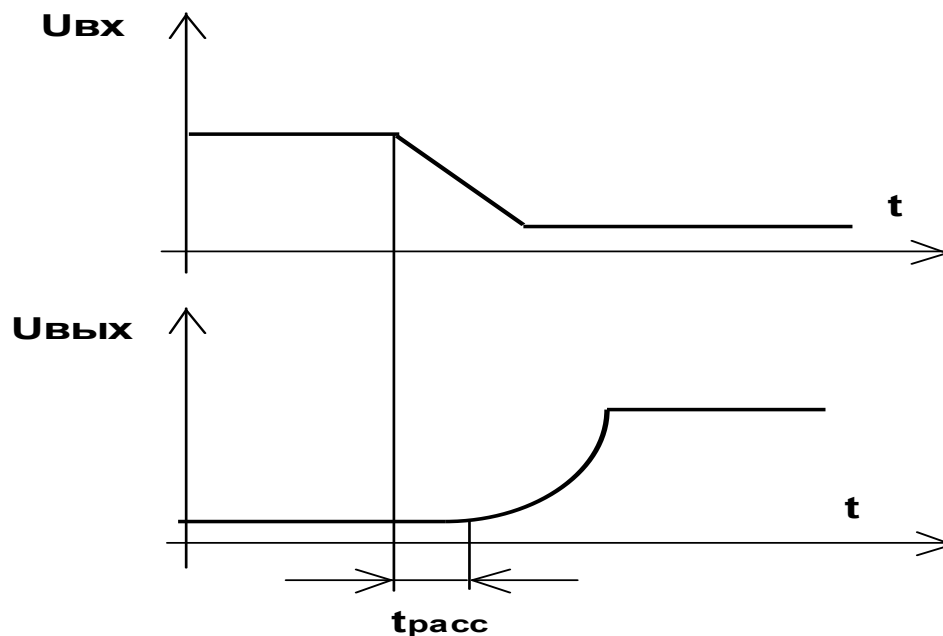


Рисунок 8 – Определение $t_{\text{расс}}$

4.3.2. Схема транзисторного ключа с диодом.

Для выполнения данного пункта л.р. необходимо открыть файл Эл.устр_9.3.ewb, находящийся в каталоге Workbench_5.0. Схема, содержащаяся в данном файле показана на рисунке 6. Ключ замкнут. Определить по осциллограмме: по переднему фронту - $t_{\text{зад.р.}}^{10}$; по заднему фронту $t_{\text{зад.р.}}^{01}$ и $t_{\text{расс.}}$. Порядок определения показан на рисунках 3 и рисунке 8. Для точного определения значений указанных характеристик установить развертку (Time base) - 0,2 мс/дел.

5. Оформление отчета

5.1. По результатам таблицы 2 построить передаточную характеристику.

Определить значение $U_{\text{вых мин}}^1$ и $U_{\text{вых макс.}}^0$.

Определить по передаточной характеристике логический перепад U^+ и U^-

5.2. По результатам измерений, выполненным в пунктах 4.2.1. и 4.2.2.

сравнить значения времени задержки распространения сигнала - $t_{\text{зад.р.}}^{01}$ и $t_{\text{зад.р.}}^{10}$. Сделать выводы по результатам сравнения.

5.3. По результатам измерений, выполненным в пунктах 4.3.1. и 4.3.2. сравнить значения времени задержки распространения сигнала $t_{\text{зад.р}}^{01}$, $t_{\text{зад.р}}^{10}$ и $t_{\text{расс.}}$.

Выполнить расчет среднего арифметического величины задержки сигнала $t_{\text{зад.р}}^{01}$, $t_{\text{зад.р}}^{10}$ по формуле 3.

$$t_{\text{зд. р. ср}} = 0,5(t_{\text{зад.р}}^{01} + t_{\text{зад.р}}^{10})$$

Сделать выводы по результатам сравнения.

6. Содержание отчета.

1. Титульный лист, оформленный по шаблону
2. Содержание отчета.
3. Краткие теоретические сведения по лабораторной работе.
4. Принципиальные схемы для исследования свойств транзисторного ключа.
5. Таблицы с данными измерений. Осциллограммы.
6. Расчетные данные.
7. Выводы.