

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ИНСТИТУТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И УПРАВЛЕНИЯ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Кафедра информатики и управления в технических системах

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНЗИСТОРНЫХ КЛЮЧЕЙ

Методические указания
к выполнению лабораторной работы по дисциплине
"Технические средства и элементная база
робототехнических систем "
для студентов направления подготовки
27.03.04 – Управление в технических системах



Севастополь
СевГУ
2019

УДК 621.382.3 (076)
ББК 32.852.3я73
И88

Р е ц е н з е н т:

В.А. Карапетьян – доцент кафедры "Информатика и управление в технических системах", кандидат техн. наук, доцент

Составитель: А. Е. Осадченко

И88 Исследование транзисторных ключей: Методические указания к выполнению лабораторной работы по дисциплине "Технические средства и элементная база робототехнических систем" для студентов направления подготовки 27.03.04 Управление в технических системах / Сост. А. Е. Осадченко. – Севастополь: СевГУ, 2019. – 23 с.

В методических указаниях приводится описание лабораторной работы, целью которой является исследование характеристик транзисторов, работающих в ключевом режиме с применением лабораторных стендов «Основы электроники-2».

Методические указания предназначены для студентов направления подготовки 27.03.04 Интеллектуальные робототехнические системы.

УДК 621.382.3 (076)
ББК 32.852.3я73

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры "Информатика и управления в технических системах", протокол № 6 от 14 февраля 2019 г.

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изданию на заседании ученого совета Института информационных технологий и управления в технических системах, протокол № 5 от 25 апреля 2019 г.

© ФГАОУ ВО «Севастопольский
государственный университет», 2019

СОДЕРЖАНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ	3
1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ	4
2. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ.....	4
2.1. ЭЛЕКТРОННЫЕ КЛЮЧИ	4
2.2. ТРАНЗИСТОРНЫЕ КЛЮЧИ	4
2.3. ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРАНЗИСТОРНЫХ КЛЮЧЕЙ	7
2.4. ТК НА ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРАХ	12
3. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ	14
4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	14
4.1. ИССЛЕДОВАНИЕ ТК НА БИПОЛЯРНОМ ТРАНЗИСТОРЕ	14
4.2. ИССЛЕДОВАНИЕ ТК С УСКОРЯЮЩЕЙ ЕМКОСТЬЮ.....	18
4.3. ИССЛЕДОВАНИЕ ТК НА ПОЛЕВОМ ТРАНЗИСТОРЕ	19
5. ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ	20
6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА О ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ	20
7. ПОРЯДОК ЗАЩИТЫ РАБОТЫ.....	20
8. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	20
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	22
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	23

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Исследование характеристик транзисторных ключей на биполярных и полевых транзисторах.

2. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

2.1. Электронные ключи

Электронным ключом называют устройство, предназначенное для замыкания и размыкания электрических цепей под воздействием управляющих сигналов. Функциональная схема электронного ключа приведена на рисунке 1. Подача на вход электронного ключа управляющего сигнала $U_{вх}$ вызывает замыкание ключа, и выходное напряжение $U_{вых}$ становится близким к нулю (состояние насыщения) [1, с. 130].

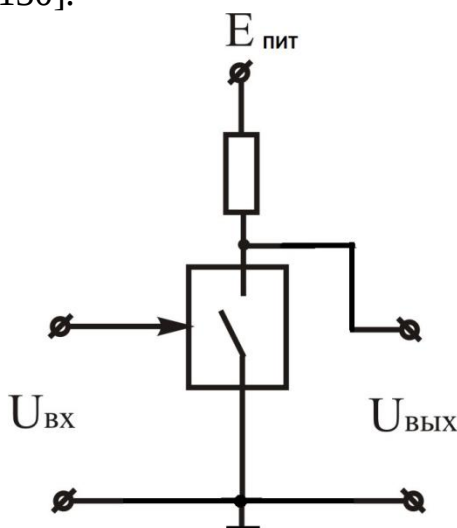


Рис. 1- Функциональная схема электронного ключа

При отсутствии на входе управляющего напряжения ключ разомкнут и выходное напряжение $U_{вых}$ почти равно напряжению источника питания $E_{пит}$. Это состояние называют режимом отсечки.

Основные требования, предъявляемые к электронному ключу – минимальное сопротивление в открытом состоянии, большое сопротивление в закрытом состоянии и высокое быстродействие, которое определяется временем перехода из одного состояния в другое, т.е. временем включения и выключения.

2.2. Транзисторные ключи

Требования, предъявляемые к электронным ключам, могут быть выполнены при использовании транзисторов. На рис. 2 приведена схема транзисторного ключа (ТК) на биполярном транзисторе, включенном по схеме с общим эмиттером [1, с. 131].

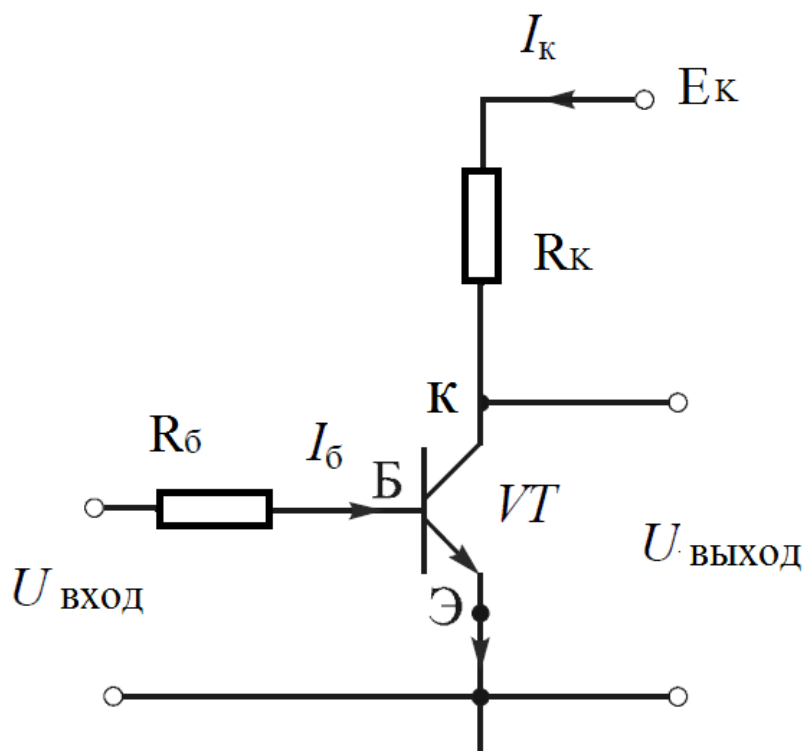


Рис. 2. Схема ключа на биполярном транзисторе

Каждый из P-N-переходов транзистора может быть смещён либо в прямом, либо в обратном направлениях. В режиме отсечки оба перехода смещены в обратном направлении. В режиме насыщения оба перехода смещены в прямом направлении.

Режимы отсечки и насыщения биполярных транзисторов являются основными, когда они работают в ключевых и логических схемах.

Для обеспечения работы ТК в ключевом режиме необходимо построить нагрузочную прямую на выходной характеристике транзистора и определить области насыщения и отсечки. Нагрузочная прямая проводится через точки E_k/R_k на оси коллекторных токов и E_k на оси коллекторных напряжений.

Точки пересечений нагрузочной прямой с выходными характеристиками показывают выходные напряжения $U_{вых} = U_{кэ}$ при различных токах базы (рис. 3).

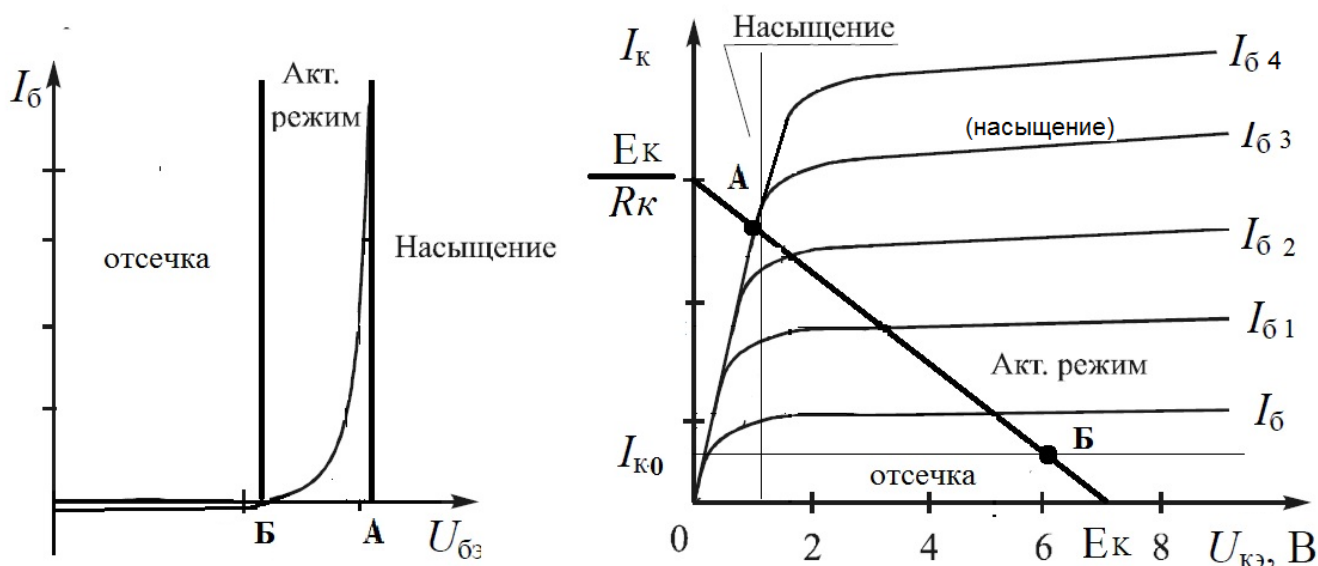


Рис. 3. Входные и выходные характеристики биполярного транзистора

При работе ТК основное время он находится в состояниях насыщения и отсечки, кратковременно при переключении транзистор работает в активном режиме.

По входной характеристике можно определить диапазоны напряжений БЭ, которые обеспечивают соответствующие состояния ТК. Из вида выходной характеристики следует, что в состоянии насыщения ток коллектора практически не зависит от тока базы, соответственно коэффициент передачи по току β имеет небольшую величину. В состоянии отсечки через коллектор проходит тепловой ток $I_{\text{к}0}$.

Если на входе напряжение имеет величину достаточную, для того, чтобы транзистор находился в режиме насыщения, то ток базы

$$I_{\text{б}} = \frac{U_{\text{ВХ}} - U_{\text{БЭ}}}{R_{\text{б}}}.$$

В режиме насыщения оба перехода смещены в прямом направлении, и ток коллектора максимальный

$$I_{\text{Кнас}} = \frac{E_{\text{П}} - U_{\text{КЭ}}}{R_{\text{к}}}.$$

Напряжение $U_{\text{КЭ}}$ в режиме насыщения для кремневых транзисторов обычно не превышает 1В. Для насыщения транзистора необходимо, чтобы ток базы превышал минимальное значения, при котором начинается насыщение транзистора

$$I_{\text{б}} > \frac{I_{\text{Кнас}}}{\beta} \approx \frac{E_{\text{П}}}{\beta R_{\text{к}}}.$$

Глубину насыщения транзистора характеризуют коэффициентом (степенью) насыщения Q , который определяет, во сколько раз реальный ток базы превосходит минимальное значение, при котором начинается насыщение

$$Q = \frac{I_{\delta}}{I_{\text{бнас}}}.$$

Для обеспечения надежного состояния насыщения ТК степень насыщения выбирают в диапазоне 1,5 – 3.

2.3. Динамические характеристики транзисторных ключей

Переходные процессы в ключе на биполярном транзисторе определяются накоплением и рассасыванием неосновных носителей в базе при переходе транзистора в режимы насыщения и отсечки, а также перезарядом емкостей эмиттерного и коллекторного переходов при переключениях.

На рис. 4 упрощенно представлены процессы в транзисторе при действии на входе прямоугольного импульса.

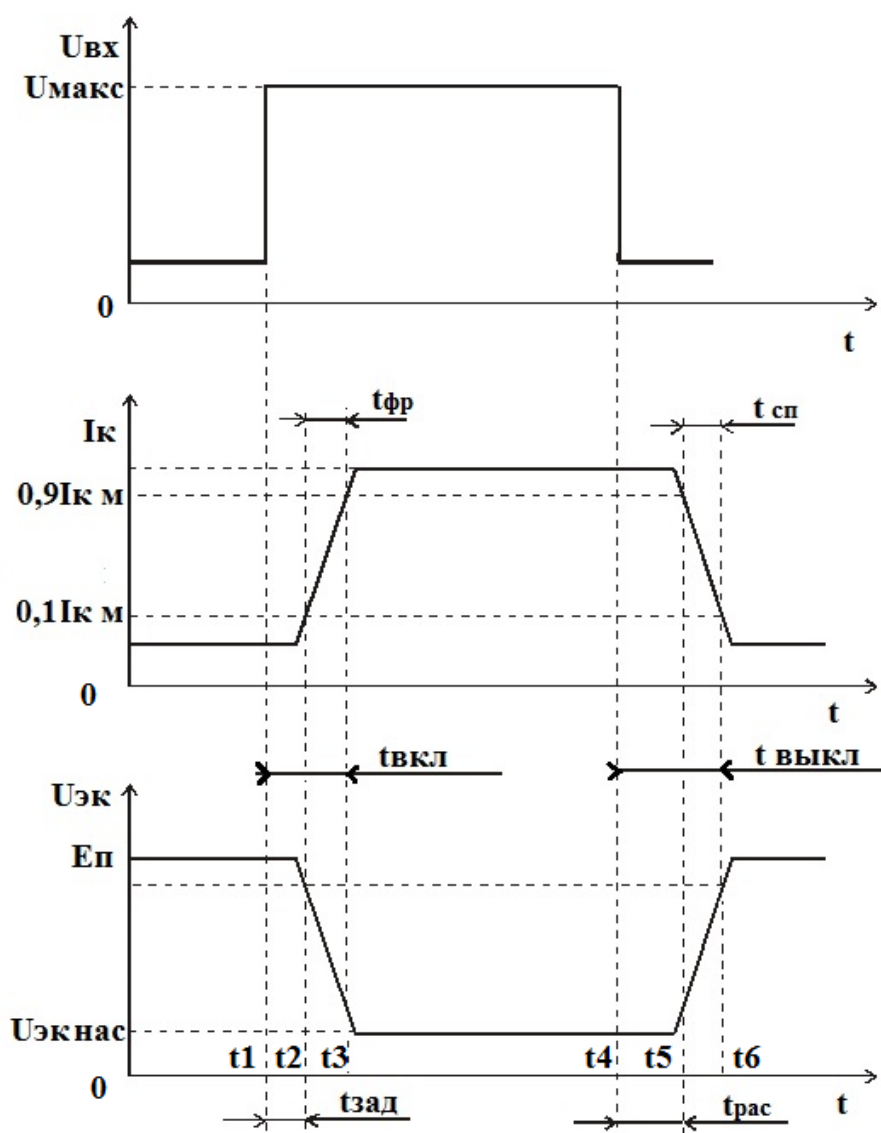


Рис. 4. Работа ТК

На интервале времени 0 - t1 ключ закрыт. Процесс открывания ключа после подачи входного импульса можно разделить на три этапа: задержка фронта, формирование фронта и накопление избыточного заряда в базе. Задержка фронта

коллекторного тока это интервал времени между моментом начала действия импульса и моментом, когда ток коллектора достигает значения, равного $0.1I_{кнас}$. Задержка фронта обусловлена зарядом барьерной емкости эмиттерного перехода.

С момента начала отпирания транзистора начинается формирование фронта выходного импульса (интервал t_{ϕ} на рис. 4). Когда за счет тока базы количество неосновных носителей в базовой области достигает величины достаточной для насыщения транзистора, ток коллектора становится равным $I_{кнас}$, а напряжение на коллекторе уменьшается до величины $U_{кэнас}$. ТК переходит в состояние насыщения. Общее время включения $t_{вкл}$ складывается из времени задержки и длительности фронта

$$t_{вкл} = t_z + t_{\phi}.$$

Для уменьшения времени фронта необходимо увеличивать скорость накопления неосновных носителей базовой области путем увеличения напряжения управляющего импульса и соответственно тока базы. При этом степень насыщения ТК будет больше 1, количество неосновных носителей в базовой области будет увеличиваться и после достижения состояния насыщения, что приведет к появлению в ней избыточного заряда.

После окончания действия входного импульса начинается рассасывание избыточного заряда в базе. За счет этого коллекторный ток не меняется в течение времени $t_{рас}$. Затем начинается спад коллекторного тока и растет напряжение коллектора. Общая длительность выключения

$$t_{выкл} = t_{рас} + t_{сп}.$$

Основным фактором, ограничивающим быстродействие ключа, является насыщение транзистора. Время рассасывания $t_{рас}$ зависит от количества избыточных неосновных носителей в базовой области и соответственно от степени насыщения ТК. Оно может существенно превышать остальные временные интервалы.

Можно сделать вывод о том, что для ускорения открывания ключа необходимо увеличивать амплитуду включающего сигнала, повысив напряжение $U_{вх}$ и соответственно увеличивая степень насыщения $Q \gg 1$. Однако увеличение степени насыщения приводит к задержке выключения ТК, вследствие увеличения длительности рассасывания избыточного заряда. Длительность среза остается неизменной.

Существенно повысить быстродействие ТК можно, если форма тока базы будет иметь вид, показанный на рис. 5.

При подобной форме тока базы, выполняется условие $Q \gg 1$ при включении ключа (t_1-t_3), что обеспечивает быстрое накопление неосновных носителей в базовой области. В открытом состоянии ТК (t_3-t_4) $Q \approx 1$, что позволяет исключить накопление избыточных носителей и существенно уменьшить $t_{рас}$ при выключении. Изменение направления тока базы при выключении ТК позволяет ускорить рассасывание заряда и ускорить процесс выключения ТК (t_4-t_6).

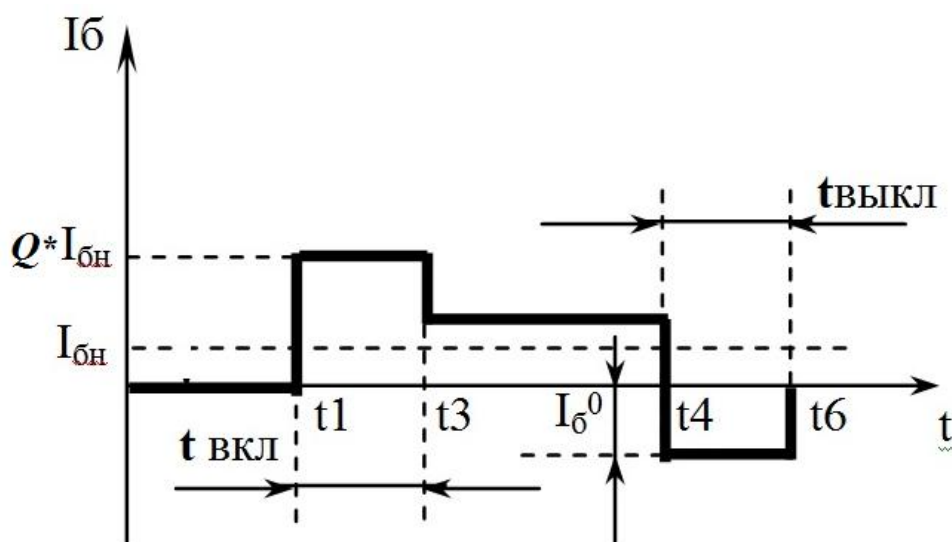


Рис. 5. Желаемая форма тока базы

Необходимую форму тока базы можно обеспечить, установив в цепь базы конденсатор C и R резистор, как показано на рис. 6.

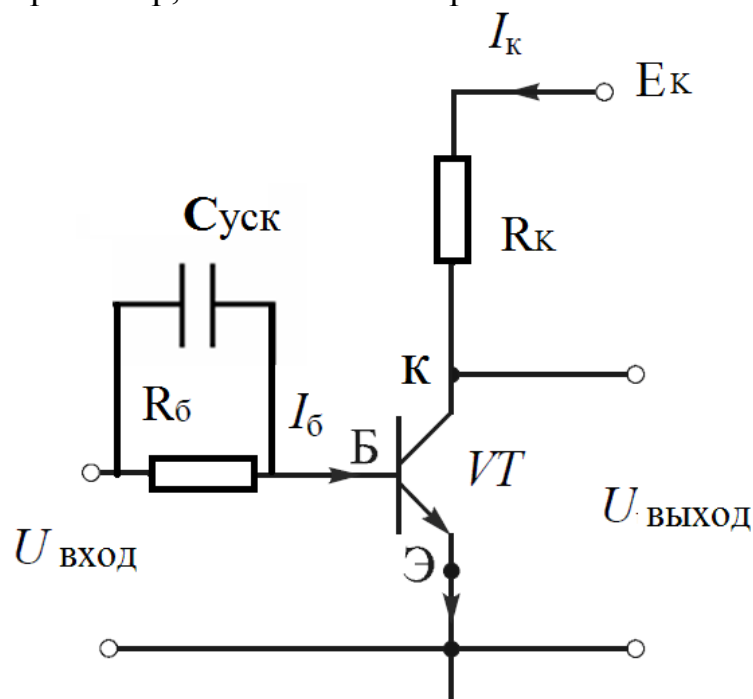


Рис. 6. Схема ключа с ускоряющим конденсатором

Конденсатор C называется ускоряющим, так как он предназначен для повышения быстродействия ключа.

При появлении входного напряжения транзистор начинает открываться. Базовый ток транзистора в первый момент замыкается через конденсатор, так как последний представляет собой малое сопротивление, близкое к короткому замыканию для скачка тока. Вследствие этого базовый ток имеет большое значение. Этот ток быстро заряжает барьерные емкости и накапливает заряд в базе транзистора. Благодаря большому току уменьшаются длительности задержки и фронта.

По мере заряда конденсатора ток базы уменьшается до значения определяемого сопротивлением $Rб$, которое выбирается из условия насыщения. Благодаря

этому к моменту окончания входного импульса в базе накапливается сравнительно небольшой избыточный заряд.

В момент окончания входного сигнала конденсатор $C_{\text{уск}}$ разряжается через базу транзистора, создавая большой запирающий ток базы. Этот ток ускоряет процессы рассасывания и выключения транзистора. Форма тока базы в схеме с ускоряющим конденсатором показана на рис. 7.

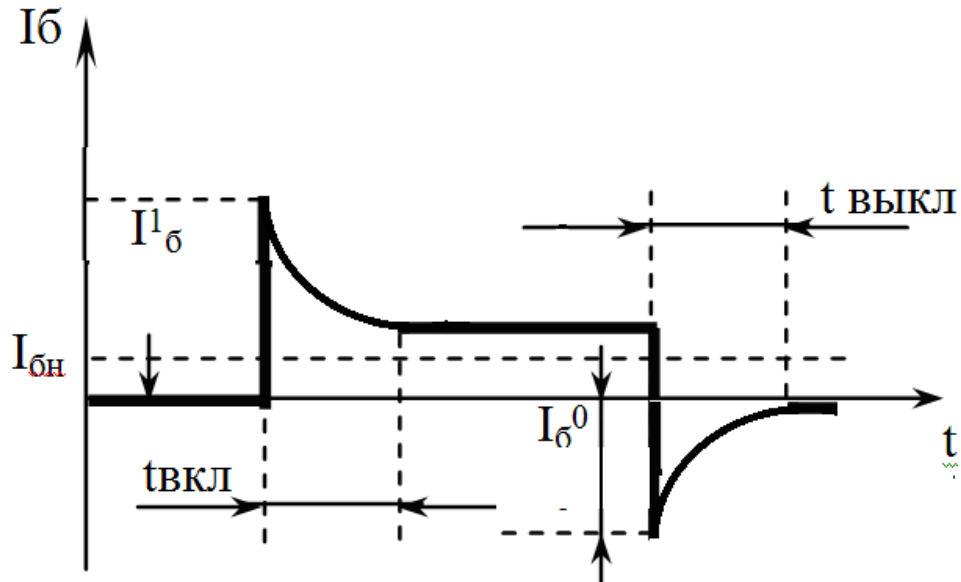


Рис. 7. Форма тока базы в схеме с ускоряющим конденсатором

Емкость C не должна быть слишком малой, иначе длительность всплесков токов будет меньше, чем длительность процессов переключения, которую они уменьшают. При этом процесс переключения будет протекать в основном при сравнительно малых токах базы, т. е. не будет ускоряться.

Нельзя выбирать ускоряющий конденсатор и слишком большой емкости, поскольку в этом случае:

- ток базы не успеет уменьшиться к концу входного импульса и в базе накопится весьма большой избыточный заряд;
- конденсатор не будет успевать заряжаться до уровня входного импульса к моменту его окончания, процессы рассасывания и включения будут протекать медленнее.

Второй способ повышения быстродействия ТК реализуется применением диода Шоттки) [1, с. 133].

Для уменьшения $t_{\text{выкл}}$ необходимо исключить глубокое насыщение ТК. С той целью коллекторный переход транзистора шунтируют диодом Шоттки (рис. 8), имеющим малое время переключения, низкое напряжение отпираия (0.2–0.3 В) и малое сопротивление в открытом состоянии.

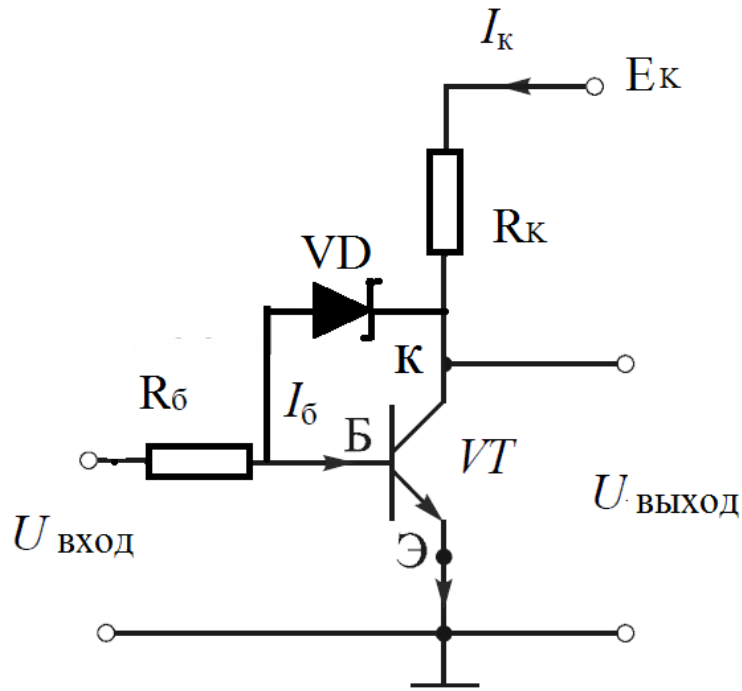


Рис. 8. Схема ключа с диодом Шоттки

Когда транзистор открыт и находится в активном режиме, напряжение коллектор-база положительно ($U_{кб} > 0$), и к диоду приложено обратное напряжение.

С ростом коллекторного тока напряжение на коллекторном переходе уменьшается и диод открывается. Последующее увеличение тока базы приводит к увеличению тока через диод. Поскольку напряжение отпираия диода Шоттки меньше напряжения отпираия коллекторного перехода, последний остается закрытым и накопление неосновных носителей в базе транзистора не происходит. Таким образом, увеличение быстродействия ключа с диодом Шоттки происходит в основном за счет уменьшения времени рассасывания избыточного заряда при выключении. Падение напряжения на открытом ключе с диодом Шоттки больше, чем в насыщенном режиме (порядка 0,5 В).

Достоинством ТК на биполярных транзисторах является сравнительно низкое остаточное падение напряжения коллектор-эмиттер в насыщенном состоянии, которое, слабо зависит от тока коллектора. Кроме того биполярные транзисторы сравнительно устойчивы к статическому электричеству.

Основные недостатки ТК на биполярных транзисторах:

- низкий коэффициент передачи по току, который может быть компенсирован применением составного транзистора (Дарлингтона);
- медленный процесс запираия;
- отрицательный температурный коэффициент сопротивления (ТКС) в открытом состоянии не позволяет напрямую включать параллельно несколько транзисторов с целью увеличения рабочего тока, так как даже небольшой разброс параметров транзисторов приводит к сильно неравномерному распределению токов между ними.

Проблема решается введением в цепи эмиттеров разравнивающих резисторов, что приводит, к дополнительным потерям.

2.4. ТК на полевых транзисторах

В настоящее время полевые транзисторы (ПТ), предназначенные для работы в ТК, обычно изготавливаются по МОП-технологии с индуцированным каналом.

Транзисторы с индуцированным каналом более удобны для применения в импульсных схемах, так как представляют собой нормально разомкнутый ключ, который замыкается подачей управляющего напряжения.

Современная технология изготовления ПТ позволяет получать приборы с уникальными параметрами, во многом превосходящими биполярные транзисторы. У ПТ остаточное напряжение в открытом состоянии имеет более сильную, чем у биполярного, линейную зависимость от тока стока. Поэтому для ПТ вводится параметр $R_{си}$ - сопротивление сток-исток в открытом состоянии. Уменьшить эту величину удастся с помощью V-образной формы затвора

Преимущества и недостатки ПТ в сравнении с биполярными транзисторами:

1. Крутизна S у полевого транзистора является постоянной величиной, в отличие от K_i биполярных транзисторов.

2. Полевые транзисторы имеют существенно меньшие токи утечки в закрытом состоянии.

3. Затвор ПТ не потребляет тока, а значит, требует существенно меньшей мощности в управление, особенно в статическом режиме [2, с. 28].

4. У ПТ отсутствует эффект накопления заряда, что значительно повышает быстродействие ТК.

5. Полевой транзистор имеет положительный ТКС, а значит лучшую устойчивость к локальным перегревам и вторичным пробоям. За счет этого расширяется область безопасной работы. Положительный ТКС дает возможность параллельного соединения нескольких ПТ.

Недостатки ПТ:

1. Из-за линейной зависимости остаточного напряжения $U_{си}$ от тока стока, ПТ имеют более высокое остаточное напряжение, в сравнении с биполярными транзисторами.

2. Наличие линейного сопротивления канала не позволяет делать транзисторы на напряжение более нескольких сотен вольт, так как сильно возрастает и связанные с ним тепловые потери.

3. Несмотря на очень высокое входное сопротивление, ПТ имеют большую емкость затвор-исток. Это требует применения мощных драйверов для управления транзистором на высоких частотах.

4. Низкое максимально допустимое напряжение затвора (около 20 В) и чувствительность его к статическим зарядам.

Транспортировка и хранение ПТ требует специальных мер - соединения затвора с истоком или помещения в антистатическую тару. В схемах на ПТ требуются защитные элементы в цепи затвора, предотвращающие выбросы напряжения.

На рис. 9 приведена схема ключа на полевом МОП-транзисторе с индуцированным каналом включенном по схеме с общим истоком.

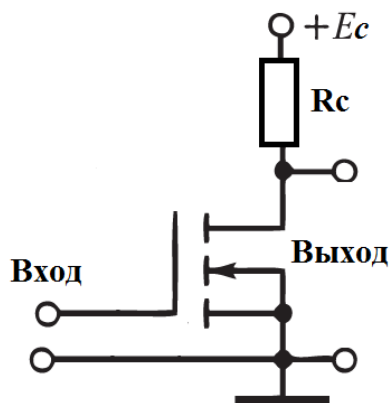


Рис. 9. Схема ключа на МОП-транзисторе

Режимы работы ключа на МДП-транзисторе показаны на рис. 10. Нагрузочная прямая проводится через точки E_c/R_c на оси токов и E_c на оси напряжений. Состояние ТК задается при помощи подачи на затвор напряжения $U_{зи}$.

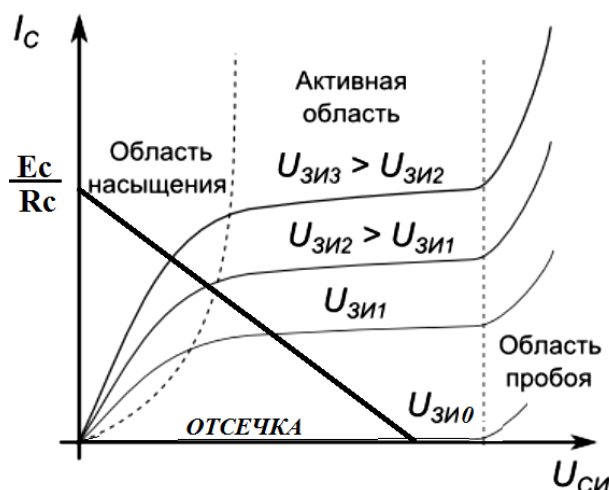


Рис. 10. Режимы работы ключа на МОП-транзисторе

Большое распространение получили транзисторные ключи на комплементарных парах МОП (КМОП). Схема ключа КМОП показана на рис. 11 [1, с. 134]. Достоинством КМОП ключей является низкое энергопотребление.

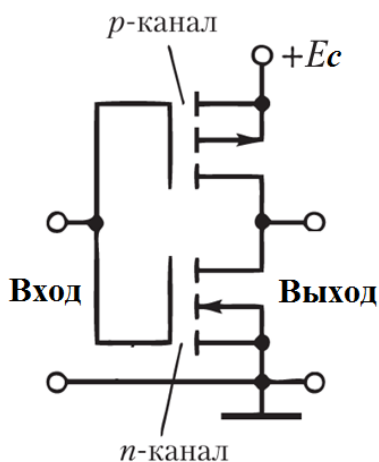


Рис. 11. Схема ключа на КМОП

3. ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Модуль **ТРАНЗИСТОРЫ**, модуль **МУЛЬТИМЕТРЫ**, модуль **ДИОДЫ**, модуль **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР** на стендах **ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОНИКИ – 2**

2. Цифровой двухканальный осциллограф.

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1. Исследование ТК на биполярном транзисторе

Исследование ТК на биполярном транзисторе производится по схеме, показанной на рис.12.

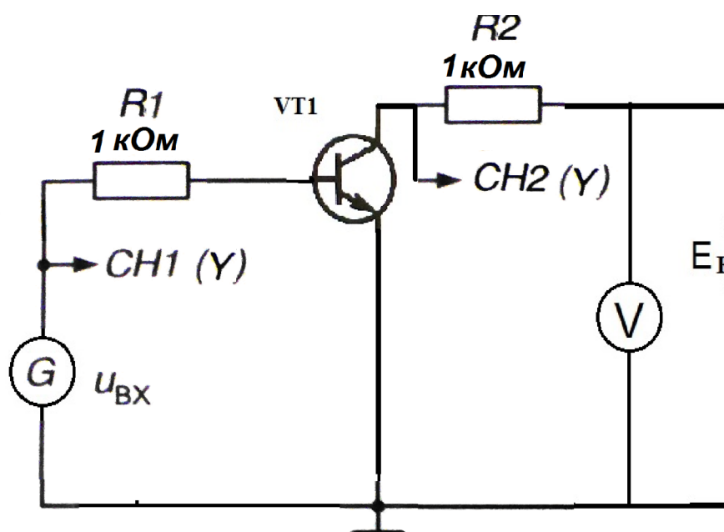


Рис. 12. Схема исследования ТК на биполярном транзисторе

Для выполнения работы необходимо осуществить следующие действия:

1. Модуль питания стенда (220 В) **QF1** установить в положение **ВЫКЛЮЧЕНО**. В модуле **ТРАНЗИСТОРЫ** выключить питание.
2. В модуле **ТРАНЗИСТОРЫ** извлечь из гнезд все перемычки (рис. 13).

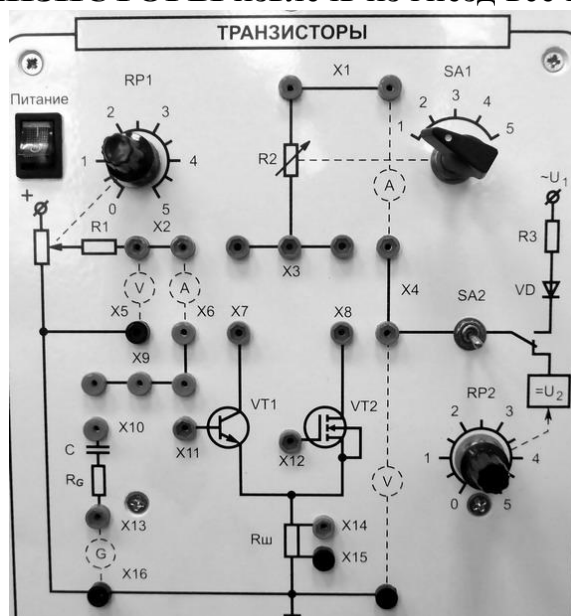


Рис. 13. Вид модуля **ТРАНЗИСТОРЫ** перед началом работы

3. В модуле **ДИОДЫ** извлечь из гнезд все перемычки.
4. Ручку потенциометра **RP2** повернуть против часовой стрелки до упора.
5. На модуле **МУЛЬТИМЕТРЫ** установить переключатели режима измерения для левого и правого мультиметров в положение **постоянное напряжение 20 В** (рис. 14).

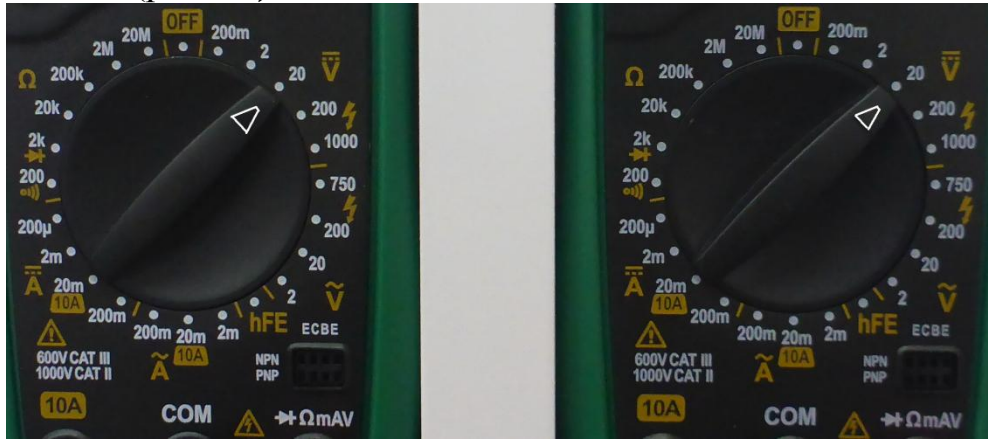


Рис. 14. Вид модуля **МУЛЬТИМЕТРЫ** перед началом работы

10. Красный щуп правого мультиметра вставить в гнездо разъема **X4**.
11. Черный щуп правого мультиметра вставить в гнездо разъема **X15**.
12. Соединить перемычкой гнезда разъемов **X4** и **X1** модуля **ТРАНЗИСТОРЫ**.
13. Соединить перемычкой гнезда разъемов **X3** и **X7** модуля **ТРАНЗИСТОРЫ**.
14. В модуле **ТРАНЗИСТОРЫ** установить переключатель **SA1** в положение **1** (крайнее левое).
15. Соединить перемычкой гнезда разъемов **X11** модуля **ТРАНЗИСТОРЫ** и **X5** модуля **ДИОДЫ**.
16. Соединить перемычкой гнезда разъемов **X1** модуля **ДИОДЫ** и гнездо разъема **Выход** в модуле **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР** (рис. 15)



Рис. 15. Вид модуля **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР**

17. Соединить перемычкой гнездо разъема **X16** модуля **ТРАНЗИСТОРЫ** и гнездо разъема **⊥** в модуле **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР**.

18. В модуле **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР** в секции **Частота** установить переключатель **множитель $\times 100$** , регулятор **f, Гц** в положение **100**.

19. В модуле **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР** в секции **Форма** установить переключатель в крайнее левое положение (**П**).

20. Красный щуп 1 канала осциллографа подключить к гнезду разъема **X3** модуля **ТРАНЗИСТОРЫ**.

21. Черный щуп 1 канала осциллографа подключить к гнезду разъема **X15** модуля **ТРАНЗИСТОРЫ**.

22. Красный щуп 2 канала осциллографа подключить к гнезду разъема **Выход** в модуле **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР**.

23. Черный щуп 2 канала осциллографа подключить к гнезду разъема **⊥** в модуле **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР**.

24. Выключатель модуля питания стенда (220 В) **QF1** установить в положение **ВКЛЮЧЕНО**.

25. Выключатель модуля **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР (Сеть)** установить в положение **ВКЛЮЧЕНО**.

26. Выключатель модуля **ТРАНЗИСТОРЫ (Питание)** установить в положение **ВКЛЮЧЕНО**.

27. Поворачивая ручку потенциометра **RP2** модуля **ТРАНЗИСТОРЫ** установить напряжение на коллекторе транзистора $E_K=10\text{В}$ (показания правого мультиметра).

28. Включить осциллограф.

29. На передней панели осциллографа нажать кнопку **ИЗМЕР** (рис.16).

Должны быть подсвечены кнопки на передней панели **КАН1**, **КАН2**, **ИЗМЕР** (если нет нажать соответствующую кнопку).

30. На передней панели осциллографа нажать кнопку **МЕНЮ ВКЛ/ВЫКЛ** (рис. 15). Должны быть подсвечены кнопки на передней панели **КАН1**, **КАН2**, **ИЗМЕР** (если нет нажать соответствующую кнопку).



Рис. 16. Вид передней панели осциллографа

31. На передней панели осциллографа нажать кнопку **МЕНЮ ВКЛ/ВЫКЛ**. Вид экранного меню показан на рис. 17.

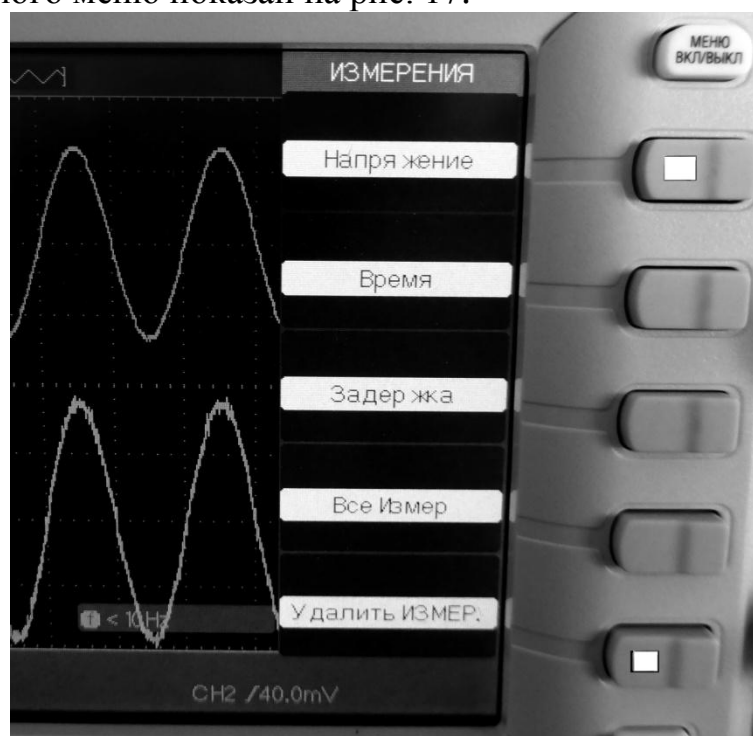


Рис. 17. Вид экранного меню осциллографа

32. Нажать кнопку экранного меню **Удалить ИЗМЕР.**

33. Нажать кнопку экранного меню **Напряжение**. Вид экранного меню **Напряжение** показан на рис. 18.

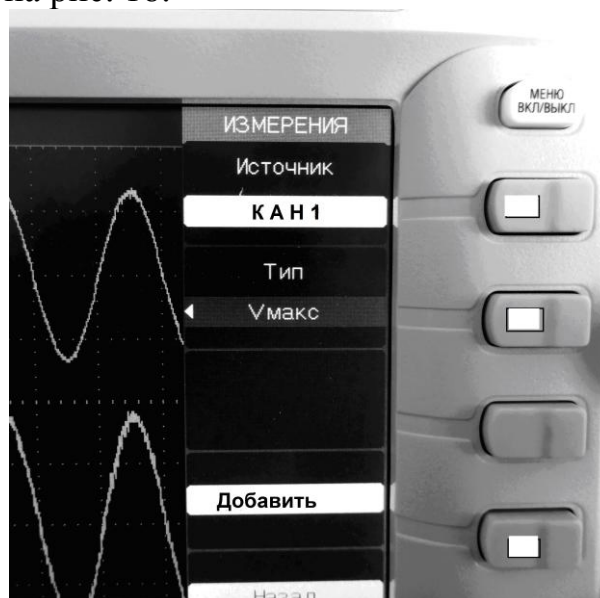


Рис. 18. Вид экранного меню **Напряжение**

34. Нажимая кнопку экранного меню **Источник**, выбрать **КАН1**
 35. Нажимая кнопку экранного меню **Тип**, выбрать **Vмин**.
 36. Нажать кнопку экранного меню **Добавить**.
 37. Нажимая кнопку экранного меню **Источник**, выбрать **КАН2**
 38. Нажимая кнопку экранного меню **Тип**, выбрать **Vмакс**.
 39. Нажать кнопку экранного меню **Добавить**.

Результаты измерения напряжений **V_{макс}** должны отображаться в левом нижнем углу экрана. Значение напряжения **V_{мин}** для 1 канала отображается желтым цветом, **V_{макс}** для 2 канала - синим.

42. Поворачивая ручку **Амплитуда**, на модуле **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР** и наблюдая осциллограмму 1 канала, установить напряжение, на входе ТК которое обеспечивает степень насыщения транзистора $Q \approx 1$ (при необходимости нажать кнопку **Авто**).

43. Занести в таблицу 1 параметры входного и выходного импульсов.

Таблица 1- параметры входного и выходного импульсов при $Q \approx 1$

U _{вх} ампл, В	U _{вых} ампл, В	U _{вых} мин, В	U _{вых} макс, В	t _{вх} имп. мкс	t _{вых} имп. мкс	t _{вых} фр. мкс	t _{вых} сп. мкс	t _{вых} зад. мкс

44. Сохранить на носитель (сфотографировать) вид экрана осциллографа.

45. Поворачивая ручку **Амплитуда**, на модуле **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР**, установить напряжение на входе ТК в 3 раза больше, которое обеспечивает степень насыщения транзистора $Q \approx 3$

46. Занести в таблицу 2 параметры входного и выходного импульсов.

Таблица 2- параметры входного и выходного импульсов при $Q \approx 3$

U _{вх} ампл, В	U _{вых} ампл, В	U _{вых} мин, В	U _{вых} макс, В	t _{вх} имп. мкс	t _{вых} имп. мкс	t _{вых} фр. мкс	t _{вых} сп. мкс	t _{вых} зад. мкс

47. Сохранить на носитель (сфотографировать) вид экрана осциллографа.

4.2. Исследование ТК с ускоряющей емкостью

Исследование ТК на биполярном транзисторе с ускоряющей емкостью производится по схеме, показанной на рис.19

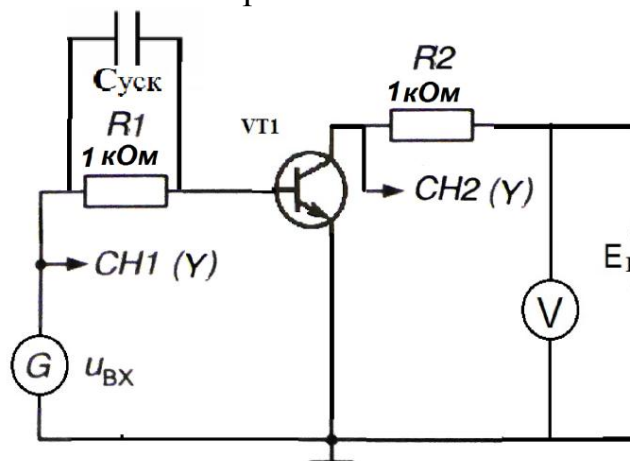


Рис. 19. Схема исследования ТК с ускоряющей емкостью

1. Соединить перемычкой с конденсатором гнезда разъемов **X1** и **X5** модуля **ДИОДЫ**.
2. Занести в таблицу 3 параметры входного и выходного импульсов (при необходимости нажать кнопку **Авто**).

Таблица 3- параметры импульсов в ТК с ускоряющей емкостью

$U_{ВХ}$ ампл, В	$U_{ВЫХ}$ ампл, В	$U_{ВЫХ}$ мин, В	$U_{ВЫХ}$ макс, В	$t_{ВХ}$ имп. мкс	$t_{ВЫХ}$ имп. мкс	$t_{ВЫХ}$ фр. мкс	$t_{ВЫХ}$ сп. мкс	$t_{ВЫХ}$ зад. мкс

3. Сохранить на носитель (сфотографировать) вид экрана осциллографа.

4.3. Исследование ТК на полевом транзисторе

Исследование ТК на полевом транзисторе производится по схеме, показанной на рис.20

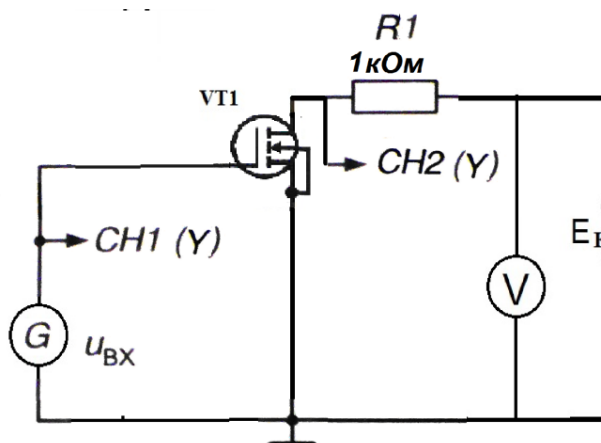


Рис. 20. Схема исследования ТК на полевом транзисторе

1. Повернуть ручку **Амплитуда** в модуле **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР** против часовой стрелки до упора.
2. Удалить перемычку с конденсатором, соединяющую гнезда разъемов **X1** и **X5** модуля **ДИОДЫ**.
3. Соединить перемычкой гнезда разъемов **X1** и **X5** модуля **ДИОДЫ**.
4. В модуле **ТРАНЗИСТОРЫ** переставить перемычку из гнезда **X7** в гнездо **X8**
5. В модуле **ТРАНЗИСТОРЫ** переставить перемычку из гнезда **X11** в гнездо **X12**
6. 42. Поворачивая ручку, **Амплитуда** в модуле **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР** и наблюдая осциллограмму 1 канала, установить напряжение на входе ТК, которое обеспечивает насыщение транзистора (при необходимости нажать кнопку **Авто**).
7. Занести в таблицу 4 параметры входного и выходного импульсов.

Таблица 4- параметры импульсов в ТК на полевом транзисторе

$U_{ВХ}$ ампл, В	$U_{ВЫХ}$ ампл, В	$U_{ВЫХ}$ мин, В	$U_{ВЫХ}$ макс, В	$t_{ВХ}$ имп. мкс	$t_{ВЫХ}$ имп. мкс	$t_{ВЫХ}$ фр. мкс	$t_{ВЫХ}$ сп. мкс	$t_{ВЫХ}$ зад. мкс

8. Сохранить на носитель (сфотографировать) вид экрана осциллографа.

5. ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

1. Используя данные таблицы 1 рассчитать R_k и $R_{Rн}$ в режиме насыщения ТК.
2. Используя данные таблиц 1 и 2 сделать выводы о влиянии степени насыщения ТК на его динамические характеристики.
3. Используя данные таблиц 2 и 3 сделать выводы о влиянии ускоряющей емкости на динамические характеристики ТК.
4. Используя данные таблицы 1, принимая $U_{эб_{нас}}=0,6В$, рассчитать необходимую амплитуду входных импульсов для своего варианта Q (Приложение А).
5. Используя данные таблицы 1 рассчитать ток I_k в состоянии насыщения ТК для своего варианта R_k и E_k (Приложение А).
6. Используя данные таблицы 1, принимая $U_{эб_{нас}}=0,6В$, $Q=5$, рассчитать необходимую амплитуду входных импульсов для своего варианта R_B (Приложение А).
7. Используя данные таблицы 4 рассчитать R_c и $R_{Rн}$ в режиме насыщения ТК.
8. Используя данные таблицы 4 рассчитать ток I_c в состоянии насыщения ТК для своего варианта R_c и E_c (Приложение А).
9. Сделать выводы.

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА О ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Отчёт должен содержать:

- титульный лист;
- цель лабораторной работы;
- схемы экспериментов;
- таблицы результатов, осциллограммы;
- расчеты;
- выводы.

Отчёт по лабораторной работе должен быть выполнен в соответствии требованиями ГОСТ.

7. ПОРЯДОК ЗАЩИТЫ РАБОТЫ

Защита производится при наличии отчета и состоит в объяснениях полученных результатов и ответах на контрольные вопросы.

8. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каков принцип действия электронного ключа?
2. Каков принцип действия транзисторного ключа? Каково назначение элементов ТК?
3. Нарисуйте схему ТК с общим эмиттером.
4. Что такое область активного усиления, насыщения, отсечки?
5. Какие режимы работы для ТК являются основными?
6. Как рассчитать мощность, которая рассеивается на коллекторе ТК в открытом состоянии?
7. Что такое степень насыщения ТК?
8. На какие характеристики ТК влияет степень насыщения?

9. Как увеличить скорость открывания ТК на биполярном транзисторе?
10. Как увеличить скорость закрывания ТК на биполярном транзисторе?
11. В чем причина задержки выключения ТК?
12. Какие существуют способы уменьшения задержки выключения ТК?
13. Каков принцип действия ускоряющей емкости?
14. Каков принцип действия ТК с диодом Шоттки?
15. Какие преимущества имеет ТК на полевом транзисторе?
16. Какие недостатки имеет ТК на полевом транзисторе?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Миловзоров, О. В. Электроника: учебник для прикладного бакалавриата [Электронный ресурс] / О. В. Миловзоров, И. Г. Панков. — 6-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательство Юрайт, 2017. — 344 с. — (Серия: Бакалавр. Прикладной курс). — ISBN 978-5-534-00077-1. — Режим доступа: www.biblio-online.ru/book/F696F80B-830E-4E30-B5D5-46CD8BD69BCF.

2. Основы электротехники, микроэлектроники и управления в 2 т. Том 2: учебное пособие для академического бакалавриата [Электронный ресурс] / Ю. А. Комиссаров, Л. С. Гордеев, Г. И. Бабокин, Д. П. Вент. — 2-е изд., испр. и доп. — М.: Издательство Юрайт, 2017. — 313 с. — (Серия: Бакалавр. Академический курс). — ISBN 978-5-534-05432-3. — Режим доступа: <https://www.biblio-online.ru/book/8EC6B1A3-1738-41C8-9162-64040F1017F4>.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(обязательное)

№ Варианта	R _Б , кОм	E _К , E _С , В	R _С , R _К , кОм	Q
1	1,0	4	1	2
2	1,5	5	1,5	3
3	2,0	6	2	4
4	2,5	7	2,5	5
5	1,0	8	3	6
6	1,5	9	1	7
7	2,0	10	1,5	2
8	2,5	4	2	3
9	1,0	5	2,5	4
10	1,5	6	3	5
11	2,0	7	1	6
12	2,5	8	1,5	7
13	1,0	9	2	2
14	1,5	10	2,5	3
15	2,0	4	3	4
16	2,5	5	1	5
17	1,0	6	1,5	6
18	1,5	7	2	7
19	2,0	8	2,5	2
20	2,5	9	3	3
21	1,0	10	1	4
22	1,5	4	1,5	5
23	2,0	5	2	6
24	2,5	6	2,5	7
25	1,0	7	3	2

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНЗИСТОРНЫХ КЛЮЧЕЙ

Методические указания

Составитель: **Осадченко** Александр Евгеньевич

В авторской редакции

Изд. №199/19. Объем 1,5 п.л.
РИИЦМ ФГАОУ ВО "Севастопольский государственный университет"