

Министерство образования и науки Российской Федерации
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. А.Н.ТУПОЛЕВА

Кафедра радиоэлектроники и информационно-
измерительной техники

ОСНОВЫ МИКРОЭЛЕКТРОНИКИ

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ТРАНЗИСТОРОВ ИС
В РЕЖИМЕ КЛЮЧА

Методические указания к лабораторной работе N 211

Казань-2010

УДК 621.38.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ТРАНЗИСТОРОВ ИС В РЕЖИМЕ КЛЮЧА.

Методические указания к лабораторной работе N 211 «Исследование работы транзисторов ИС в режиме ключа», И.К. Насыров, Л.И. Климова, Л.М. Урманчев, Н.Б.Куншина. Казанский гос. техн. ун-т, Казань, 2010, 17с.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ - экспериментальное изучение характеристик и параметров ключей ИМС.

Простейшие транзисторные ключи лежат в основе построения цифровых схем.

Ключи характерны двумя устойчивыми состояниями: разомкнутым и замкнутым.

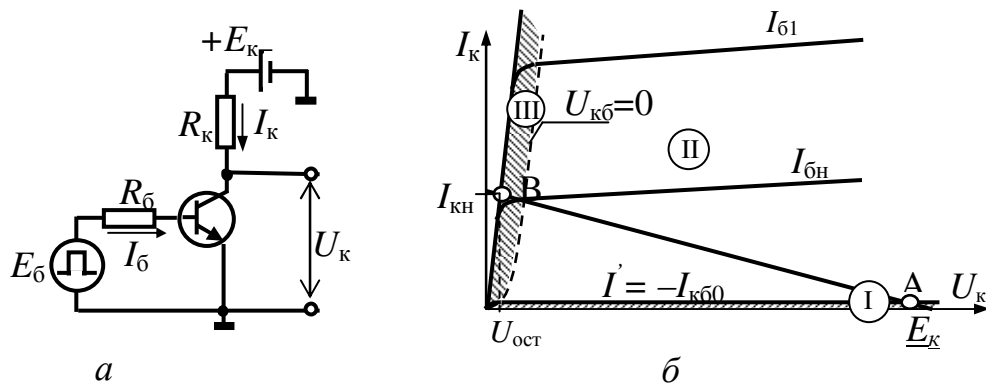


Рис. 1

На рис.1,а показана схема простейшего транзисторного ключа. Управляемой (прерываемой) является коллекторная цепь с источником питания E_k и нагрузкой в виде резистора.

На рис.1б показаны рабочие точки ключа А и В на выходных характеристиках транзистора. Точка А находится в области отсечки (выключения) I, когда эмиттерный и коллекторный переходы смещены в обратном направлении, токи малы и можно считать, что $U_{бэ}=E_{б}$ и $U_{кэ}=E_k$. Точка В – в области насыщения (включения) III, когда оба перехода смещены в прямом направлении и транзистор работает в режиме двойной инжекции. В ключевых схемах транзистор находится в активном режиме (область II), когда эмиттерный переход смещен в прямом направлении, коллекторный в обратном, лишь в переходном состоянии. Граница между областями II и III определяется условием $U_{кб}=0$. На рис. 1б показана выходная характеристика при токе базы $I_{бн}$, соответствующей этой границе.

Для перевода транзистора в режим насыщения необходимо выполнить условие $I_{б} \geq I_{бн}$, где $I_{бн}$, отпирающий ток базы, соответствующий границе режима насыщения:

$$I_{бн} = \frac{I_{кн}}{\beta} \approx \frac{E_k}{\beta R_k}, \left(I_{кн} \approx \frac{E_k}{R_k} \right),$$

где β (заглавная буква «бета») – коэффициент передачи тока базы в режиме большого сигнала.

Отдельные ключи используются главным образом в аналоговых схемах. Для цифровых схем характерна совместная работа нескольких ключей – *ключевые цепочки*.

Свойства ключей удобно пояснить с помощью передаточных характеристик, описывающих зависимость выходного напряжения от входного. На рис.2 показана типичная передаточная характеристика инвертирующего ключа, у которой низким входным напряжениям соответствуют высокие выходные. Характеристика неинвертирующей схемы, у которой низким входным напряжениям соответствуют низкие выходные, выглядит зеркально отраженной. Участок передаточной характеристики между точками «а» и «b» соответствует активному режиму транзистора, режиму усиления. В точке А ключ разомкнут и на нем падает большое напряжение, у одиночного ключа близкое к напряжению питания E_K , (уровень логической единицы U^1), а в точке В ключ замкнут и падение напряжения $U_{ост}$ на нем мало (уровень логического нуля U^0).

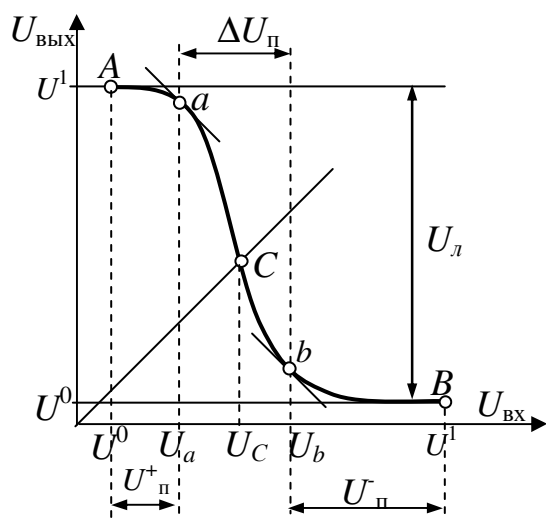


Рис. 2

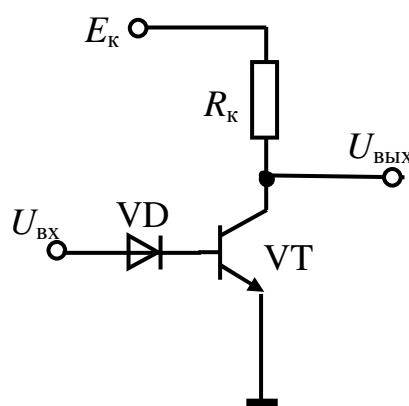


Рис. 3

Основные статические параметры ключа следующие:

U_C – порог чувствительности (переключения) – напряжение в точке пересечения биссектрисы координатного угла с характеристикой передачи при одинаковых масштабах на осях координат. В этой точке $U_{ВЫХ} = U_{ВХ}$;

U^0, U^1 – потенциалы, соответствующие логическому нулю и логической единице;

$U_л = U^1 - U^0$ – логический перепад напряжения при переключении;

U_a, U_b – границы активного режима, определяемые по условию

$$K = \frac{\partial U_{ВЫХ}}{\partial U_{ВХ}} = 1$$

$\Delta U_п$ – ширина активной зоны переключения, $\Delta U_п = U_b - U_a$.

$P_{пот}^0, P_{пот}^1, P_{пер}$ – потребляемая мощность в состоянии логического нуля, логической единицы на выходе и при переключении;

$$P_{пот\ ср} = \frac{P_{пот}^1 + P_{пот}^0}{2} \text{ – средняя потребляемая мощность;}$$

$U_п^+, U_п^-$ – максимальная величина положительной и отрицательной помехи, не вызывающей ложного переключения: $U_п^+ = U_a - U^0, |U_п^-| = U^1 - U_b$,

Нечувствительность ключа к паразитным сигналам, могущим вызвать ложное переключение, называют помехозащищенностью или помехоустойчивостью. Помехоустойчивость ключа принято измерять абсолютной величиной помехи (в вольтах), не вызывающей ложного переключения ключевой схемы. Помехоустойчивость по отношению к сигналам положительной и отрицательной полярности может быть существенно разной. При анализе помехоустойчивости предполагается, что ключ работает в последовательной ключевой цепочке.

Если сигнал положительной помехи будет меньше U_a , то коэффициент усиления $K < 1$ и входной сигнал ослабляется, и нет опасности ложного переключения. Если же $U_{вх} = U^0 + U_{п}^+ > U_a$, то сигнал попадает в область, где $K > 1$ и «верхушка» импульса $U_{вх} - U_a$ усиливается, что при наличии обратных связей может привести к ложному переключению. Все вышесказанное справедливо и для отрицательной помехи. Отрицательная помеха действует на вход замкнутого ключа, на который подано $U_{вх} = U^1$, и «верхушка» импульса помехи не должна попадать в область активного режима, т.е. должно быть $U^1 - U_{п}^- \geq U_b$, отсюда $|U_{п}^-| = U^1 - U_b$.

Критерий помехоустойчивости: малая – $U_{п} \approx 0,2 \div 0,3В$; средняя – $U_{п} \approx 0,5 \div 1В$; большая – $U_{п} \geq 1В$.

Для увеличения помехозащищенности схемы могут быть использованы ключи с диодом в цепи базы (рис. 3). Включение диода увеличивает $U_{п}^+$ на величину напряжения открытого кремниевого $p-n$ -перехода $U^* = (0,6 \div 0,7)В$

Типичным для ключевых схем ИМС является сочетание последовательного и параллельного соединения ключей (рис.4).

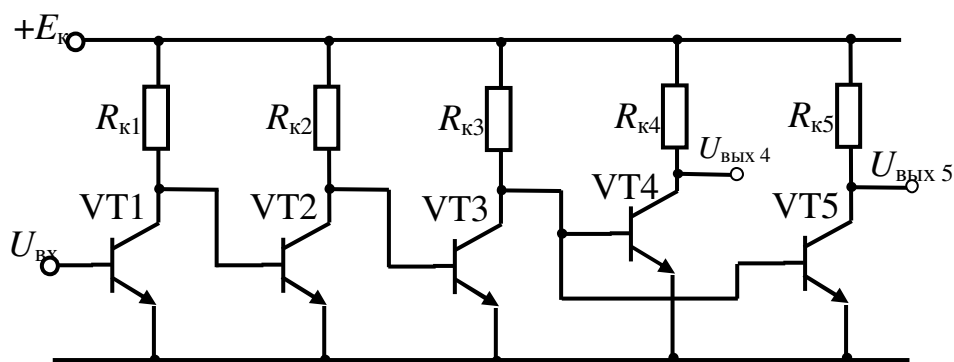


Рис. 4

При последовательном соединении каждым ключом управляет предыдущий и сам он, в свою очередь, управляет последующим. Для последовательной цепочки характерно чередование открытых и закрытых ключей. Например, если транзистор VT1 открыт и насыщен, то потенциал $U_{к1}$ и равный ему потенциал $U_{б2}$ близки к 0 и транзистор VT2 заперт. Тогда в базу транзистора VT3 протекает ток от источника E_k через резистор R_k и транзистор VT3 открыт. Ключевая цепочка должна работать как единое целое: изменение состояния первого ключа должно приводить к переключению всех остальных, для этого входной

сигнал должен превысить порог чувствительности U_C , иначе сигналы в цепочке “затухают” и ключи, удаленные от первого, не меняют своего состояния.

Напряжение на ключе, работающем в цепочке, меняется в более узких пределах, чем на отдельном ключе. Это обусловлено тем, что коллектор запертого транзистора соединен с базой следующего, открытого транзистора. Для интегральных транзисторов $U^1 = U^* \approx 0,7 \text{ В}$, $U^0 \approx 0,05-0,1 \text{ В}$.

При параллельном включении ключей (рис.4) общий ток I_B делится между базами степень насыщения уменьшается. Количество параллельно включенных ключей, которыми способен управлять данный ключ, называется нагрузочной способностью ключа (это количество обозначается через n).

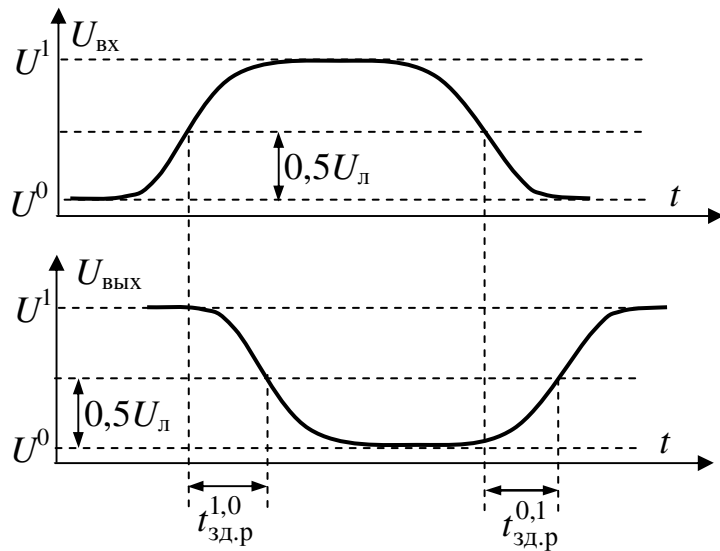


Рис. 5

Переходная характеристика ключа (рис. 5) показывает время перехода из состояния "1" в состояние "0" и наоборот и позволяет определить быстродействие схемы и задержку сигнала в ключевой схеме. Быстродействие оценивается средним временем задержки распространения, определяемого по формуле, $t_{зд.р.ср.} \approx 0,5(t_{зд.р.}^{1,0} + t_{зд.р.}^{0,1})$, где $t_{зд.р.}^{1,0}$, $t_{зд.р.}^{0,1}$ – время задержки распространения при переходе напряжения на выходе ключа от напряжения логической единицы "1" к напряжению логического нуля "0" и от напряжения логического нуля "0" к напряжению логической единицы "1", измеренное на уровне 0,5 логического перепада напряжения.

КЛЮЧ С НЕЛИНЕЙНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

Одной из главных проблем при повышении быстродействия ключей является уменьшение задержки выключения транзистора, т.е. времени-рассасывания накопленных неосновных носителей заряда в базе транзистора. Эта задача успешно решается в схеме ключа с нелинейной обратной связью (транзистор с барьером Шоттки) (рис.6). В этом транзисторе между областями базы и коллектора создан выпрямляющий контакт металл-полупроводник –

контакт Шоттки, который отпирается при меньшем напряжении (0,3-0,4 В), чем кремниевый *p-n*-переход: $U^* = 0,7$ В.

Когда транзистор заперт или работает в активном режиме, потенциал коллектора положителен относительно базы. Следовательно, диод находится под обратным смещением и не влияет на работу ключа. Когда в процессе отпира-

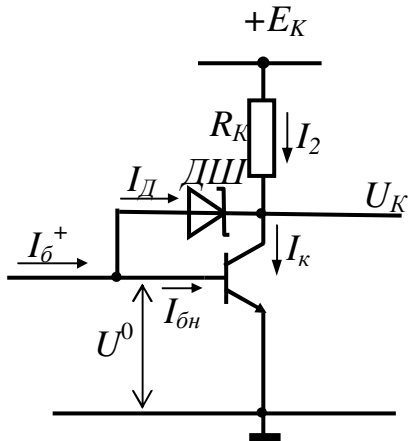


Рис. 6.

рания транзистора, потенциал коллектора относительно базы проходит через нуль и становится отрицательным, диод Шоттки открывается и избыточная часть входного тока $I_{б+} - I_{бн}$ ответвляется через открытый диод в цепь коллектора, ток базы уменьшается до значения, соответствующего границе режима насыщения $I_{бн}$, поскольку при прямых напряжениях 0,3-0,4 В инжекция из коллектора ничтожна. Таким образом, в базе практически не накапливаются неравновесные носители, и при обратном переключении отсутствует время рассасывания.

Остаточное напряжение на ключе с барьером Шоттки несколько больше, чем на обычном ключе: $U^0 = U_{ост} = U^* - U_{Д.} = 0,2 \div 0,3$ В.

Этот недостаток окупается более высоким быстродействием, поскольку транзистор все время работает в активном режиме.

ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЬ ТОКА

Переключателем тока называют симметричную схему, в которой заданный ток I_0 протекает через ту или иную ветвь в зависимости от потенциала U_B на одном из входов, потенциал E_0 на втором входе поддерживается неизменным (рис.7).

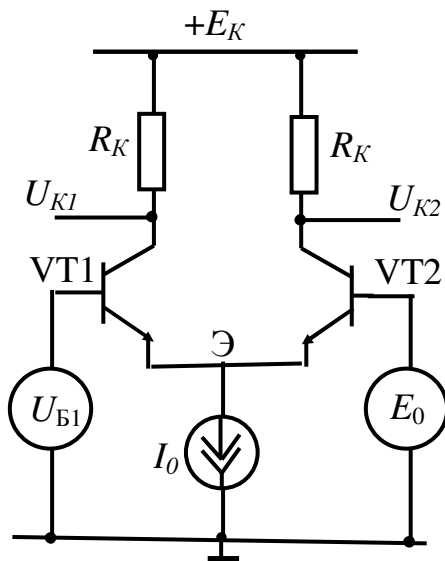


Рис. 7.

Первая особенность переключателя тока состоит в том, что управление осуществляется не током, а напряжением. Вторая особенность состоит в использовании ненасыщенного (активного) режима транзистора в открытом состоянии, что обесценивает повышенную скорость переключения в связи с отсутствием задержки на рассасывание.

Рассмотрим работу ключа. Положим сначала $U_{B1} = +E_0$. При этом открыты оба транзистора и в каждом протекает ток $I_1 = I_2 = 0,5I_0$. Потенциал эмиттера $U_Э = E_0 - U^*$. Если уменьшить потенциал базы U_{B1} на величину $-\Delta E \geq 0,1$ В то, поскольку потенциал $U_Э$ не меняется, так как генератор тока считаем идеальным, напряжение $U_{BЭ1}$ уменьшится на величину $-\Delta E$, при

этом ток коллектора I_1 уменьшится в десятки раз и транзистор VT1 запрется. Через транзистор VT2 будет протекать полный ток I_0 .

Если увеличить потенциал базы U_{B1} , на величину $+\Delta E$, то это равносильно увеличению потенциала эмиттера на $+\Delta E$, поскольку ток I_0 не меняется. Это вызовет уменьшение напряжения $U_{BЭ2}$, резко уменьшится ток коллектора I_2 , транзистор VT2 запрется, и весь ток потечет через транзистор VT1. Величины $E_b^- = E - \Delta E$ и $E_b^+ = E + \Delta E$ называются запирающим и отпирающим потенциалами соответственно.

Таким образом, перепад потенциала $\Delta E_{B1} = \pm \Delta E$ около средней величины E обеспечивает переключение тока I_0 из одного транзистора в другой.

МДП-ТРАНЗИСТОРНЫЕ КЛЮЧИ

Известны три разновидности МДП-транзисторных ключей: с резистивной нагрузкой, с динамической (транзисторной) нагрузкой и комплементарные (КМДП) ключи. В статическом режиме они характеризуются теми же параметрами, что и биполярные ключи: остаточным током в запертом состоянии и остаточным напряжением в открытом состоянии.

Ключ с резистивной нагрузкой.

На рис.8а показана схема ключа на транзисторе с индуцированным n-каналом и на рис.8б расположение рабочих точек на выходной характеристике. На рис.8а показана также емкость C_H , на которую нагружена выходная цепь

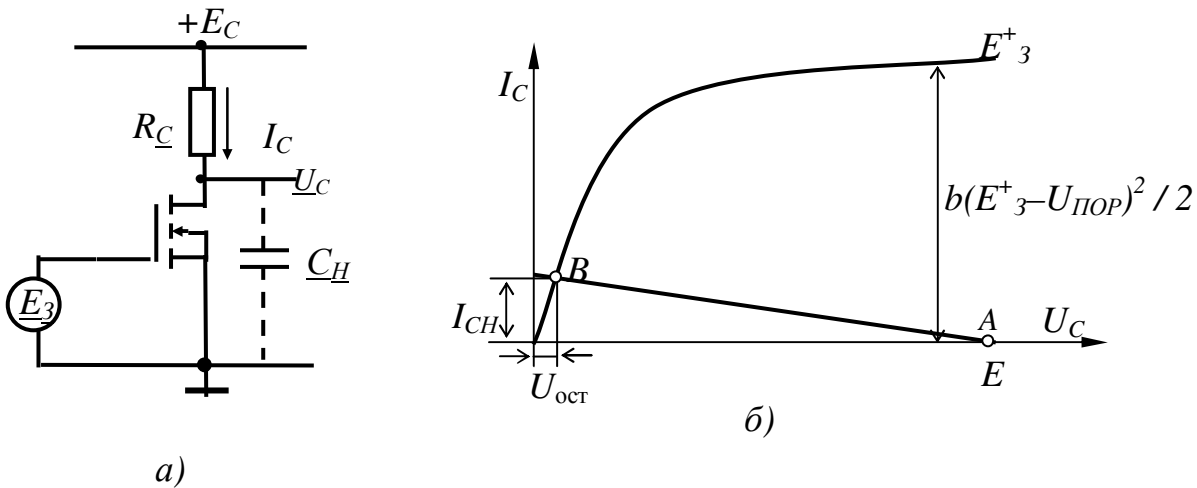


Рис.8

транзистора, которая определяет быстродействие ключа. В эту емкость кроме емкости нагрузки входит также емкость $C_{СП}$ самого транзистора. Этот ключ был рассмотрен ранее при анализе ключевого режима работы полевых транзисторов.

Напомним статические параметры этого ключа:

Остаточный ток в запертом состоянии (в точке А) $I_{ост}$ составляет не более $10^{-9} - 10^{-10}$ А. При таких значениях остаточного тока падением напряжения $I_C R_C$ можно пренебречь и считать, что максимальное напряжение на запертом ключе $U_{max} = +E_C$. Для отпирания ключа на затвор подается напряжение больше порогового: $E_3^+ > U_{пор}$. Это напряжение должно быть достаточно большим, чтобы рабочая точка В соответствовала как можно меньшему остаточному напряжению, тогда рабочий ток открытого ключа (ток насыщения) определяется только внешними элементами схемы:

$$I_{CH} = (E_C - U_{ост}) / R_C \approx E_C / R_C.$$

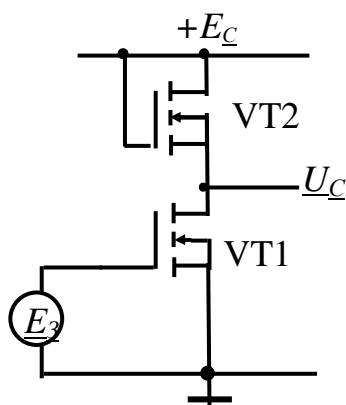
Остаточное напряжение открытого ключа $U_{ост}$ равно

$$U_{ост} = \frac{E_C}{b(E_3^+ - U_{пор})R_C},$$

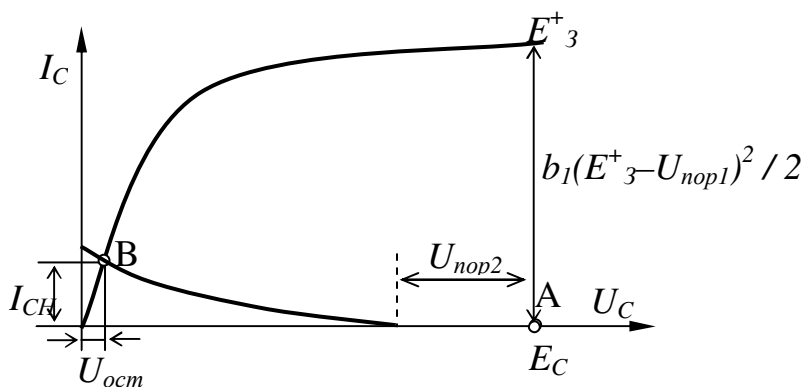
где b – удельная крутизна транзистора. Для уменьшения $U_{ост}$ необходимо увеличивать b , R_C и E_3^+ . Принципиальных ограничений на величину $U_{ост}$ нет, что является важным преимуществом МДП транзисторных ключей перед биполярными, у которых $U_{ост}$ принципиально ограничено напряжением $U_{КЭ}$. Однако и увеличение b , и увеличение R_C приводят к увеличению площади, занимаемой схемой, что в полупроводниковых ИС нежелательно. Поэтому на практике принимают компромиссное решение.

Ключ с динамической нагрузкой.

В этом ключе (рис.9а) в качестве динамической нагрузки используется



а)



б)

Рис.9

транзистор VT2, у которого затвор соединен со стоком и, таким образом, он является двухполюсником. Транзистор VT2 называется нагрузочным, VT1 – активным.

Транзистор VT2 работает на пологом участке выходной характеристики, в режиме насыщения, что видно из следующих соотношений:

$$U_{cu2} = U_{zu2} > U_{zu2} - U_{nop2} = U_{нас2}$$

Отсюда следует, что ВАХ нагруженного транзистора является нелинейной:

$$I_{C2} = \frac{b_2}{2} (U_{CH2} - U_{nop2})^2$$

Положение рабочих точек на выходной характеристике транзистора VT1 показано на рис.9б. В точке A подано запирающее напряжение $E_3^- < U_{nop1}$, остаточный ток имеет примерно то же значение, что и в ключе с резистивной нагрузкой ($10^{-9} - 10^{-10} A$), максимальное выходное напряжение близко к напряжению питания: $U_{max} = E_C$.

В открытом состоянии ключа на затвор подано напряжение $E_3^+ > U_{nop1}$. Транзистор VT2 начинает открываться, когда напряжение $U_{CH2} = E_C - U_C$ достигает значения U_{nop2} , рабочая точка B определяется точкой пересечения ВАХ транзистора VT2 с квазилинейным участком характеристики активного транзистора VT1. Ток насыщения и остаточное напряжение определяются уравнениями:

$$I_{CH} = b_1 (E_3^+ - U_{nop1}) U_{ост},$$

$$I_{CH} = \frac{b_2}{2} (E_C - U_{ост} - U_{nop2})^2 \approx \frac{b_2}{2} (E_C - U_{nop2})^2$$

Отсюда

$$U_{ост} = \frac{b_2 (E_C - U_{nop2})^2}{2b_1 (E_3^+ - U_{nop1})}.$$

На практике всегда выполняется условие $E_3^+ \leq E_C$, поэтому для того, чтобы остаточное напряжение было мало, должно выполняться соотношение $b_2 \ll b_1$, то есть отношение ширины канала к длине W/L должно быть для активного транзистора как можно больше, а для нагруженного как можно меньше. Здесь также нет принципиальных ограничений на величину $U_{ост}$. Однако увеличение W_1 и L_2 приводят к увеличению площади, занимаемой схемой, и здесь также принимается компромиссное решение. Если обеспечить $b_1 b_2 = 50 \div 100$, можно получить $U_{ост} = 50 \div 100$ мВ.

Комплементарный (КМДП) ключ.

Схема такого ключа приведена на рис.10. Здесь используются транзисторы с разным типом проводимости канала (комплементарные): VT1 – с *n*-каналом и VT2 – с *p*-каналом, у которых затворы соединены между собой и на них подается управляющее напряжение.

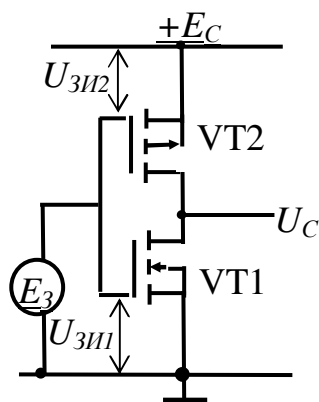


Рис.10

Если на затворы подано напряжение $E_3^- = 0$, то

$$U_{3И1} = 0, \quad U_{3И2} = -E_C$$

и *n*-канальный транзистор VT1 закрыт, а *p*-канальный транзистор VT2 открыт (считаем, что $E_C > |U_{nop2}|$). Ток в общей цепи определяется остаточным током запертого транзистора. Открытый транзистор T2 работает на квазилинейном участке характеристики и на нем падает напряжение, равное произведению I_{ocm1} на сопротивление канала:

$$|U_{СИ2}| = \frac{I_{ocm1}}{b_2(E_C - |U_{3И2}|)}.$$

Поскольку $I_{ocm1} \approx 10^{-9} \div 10^{-10}$ А это остаточное напряжение практически равно нулю (может составлять единицы мкВ) и выходное напряжение $U_C = E_C$.

При подаче напряжения $E_3^+ = E_C$

$$U_{3И1} = E_C, \quad U_{3И2} = 0,$$

и *n*-канальный транзистор VT1 открыт, а *p*-канальный транзистор VT2 закрыт, падение напряжения на открытом транзисторе практически равно нулю и $U_C = 0$.

Важнейшей особенностью комплементарных ключей является то, что они практически не потребляют мощности в обоих состояниях. Другим важным преимуществом является практически нулевое остаточное напряжение.

Приборы, используемые в работе:

- лабораторный макет;
- генератор синусоидальных колебаний;
- двухканальный осциллограф GOS-7630FC.

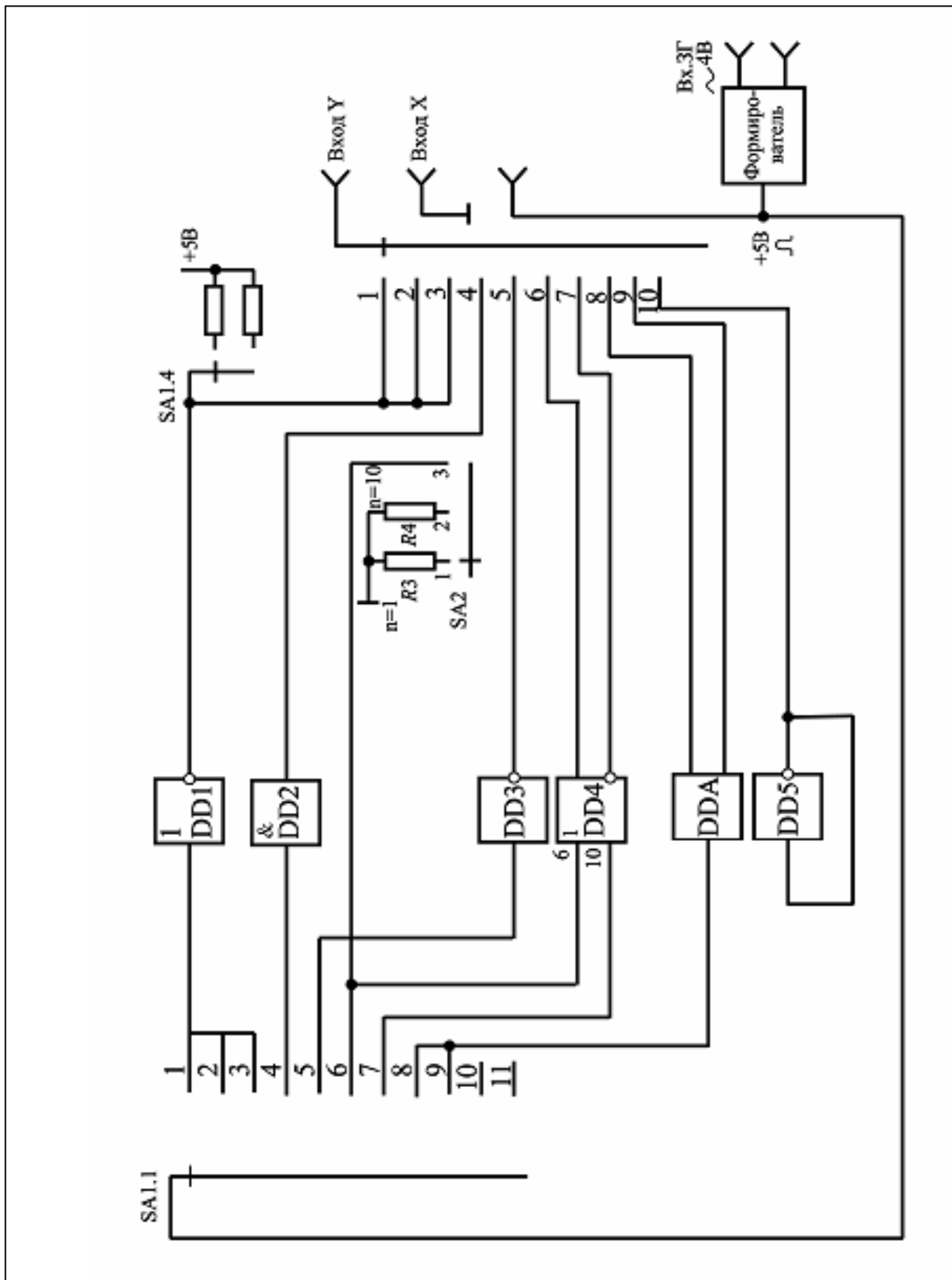


Рис. 11.

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО МАКЕТА

Функциональная схема дана на рис.11. С помощью переключателя SA1 производится выбор исследуемой схемы.

На вход исследуемой схемы поступает сигнал с формирователя напряжения, который из сигналов генератора звуковых частот формирует сигнал положительной полярности ограниченной амплитуды + 5В.

К выходу исследуемой схемы подключается вход второго канала осциллографа GOS-7630FC. К выходу "X" макета, куда поступает входной сигнал, подключается вход первого канала и осциллограф переводится в режим работы "X-Y". На экране получается изображение передаточной характеристики ключевой схемы: входное напряжение – по оси «X», выходное – по оси «Y».

При исследовании переключателя тока на вход схемы подается сигнал непосредственно с выхода звукового генератора.

Переключатель SA2 служит для выбора режима работы ключевой цепочки. Питание макета осуществляется от источника напряжения $\pm 5В$.

При включении развертки на экране получают временные диаграммы выходного напряжения (канал 2).

МЕТОДИКА СНЯТИЯ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КЛЮЧЕВЫХ СХЕМ

Собрать блок-схему (рис.12)

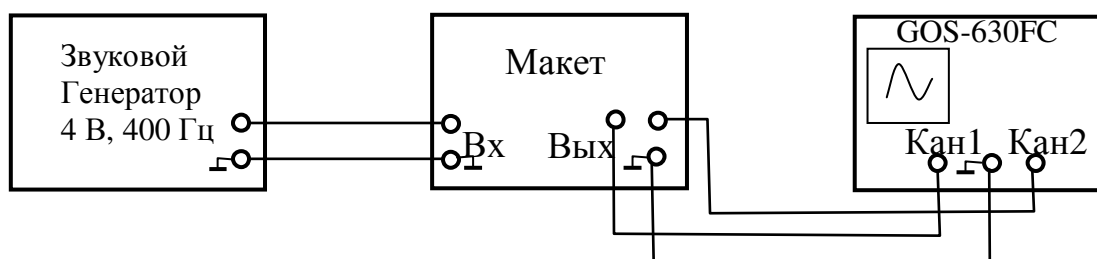


Рис. 12

Установить на звуковом генераторе частоту входного сигнала $f = 400Гц$, амплитуду $\sim 4В$. Тумблер "Нагрузка Ω " поставить в положение "600".

Перевести осциллограф в режим работы "X-Y", повернув ручку регулировки скорости развертки в крайнее положение против часовой стрелки. Усиление по вертикали установить в положение 1 В/см.

С помощью переключателя SA1 можно получить на экране осциллографа передаточные характеристики следующих ключевых схем (см. табл. 1)

Таблица 1.

Пол. SA1	Передаточная характеристика	Примечание
1	Инвертирующая ключевая схема на биполярном транзисторе.	В цепи коллектора сопротивление R_{K1}
2	-“-	-“- R_{K2}
3	Инвертирующая ключевая схема с диодом в цепи базы.	В цепи коллектора сопротивление R_{K1}
4	Неинвертирующая ключевая схема.	
5	Ключевая цепочка на биполярных транзисторах в режимах: $n = 1$ (SA2 в положении 1); $n = 10$ (SA2 в положении 2);	в режиме генерации (SA2 в положении 3);
6	Ключевая схема на МДП-транзисторе с пассивной нагрузкой.	
7	Ключ на комплементарной паре (КМДП) и транзисторах.	
8	Переключатель тока (вых.1)	
9	Переключатель тока (вых.2).	
10	Ключевая схема на транзисторе с барьером Шоттки	в режиме генерации

Примечание: размер изображения на осциллографе по вертикали соответствует амплитуде напряжения на выходе исследуемой схемы. Размер изображения по горизонтали соответствует амплитуде напряжения на входе исследуемой схемы.

Задание 1. Исследовать передаточную характеристику инвертирующего ключа. Снять две передаточные характеристики при различных сопротивлениях в цепи коллектора (R_{K1} и R_{K2}) SA1-1; 2.

Определить статические параметры

$U^0, U^1, \Delta U_{\Pi}, U_{\Pi}, U_{\Pi}^-, U_{\Pi}^+$, порог переключения U_C .

Сравнить, сделать выводы.

Задание 2. Исследовать передачную характеристику инвертирующего ключа с диодом в цепи базы. SA1-3. Определить статические параметры.

$U^0, U^1, \Delta U_{\Pi}, U_{\Pi}, U_{\Pi}^-, U_{\Pi}^+$, порог переключения U_C .

Задание 3. Исследовать передачную характеристику неинвертирующего ключа SA1-4. Определить статические параметры

$U^0, U^1, \Delta U_{\Pi}, U_{\Pi}, U_{\Pi}^-, U_{\Pi}^+$, порог переключения U_C .

Задание 4. Исследовать передачную характеристику ключевой цепочки. SA1-5

а) снять две передачные характеристики ключа, соответствующие нагрузкам $n = 1$, $n = 10$, подключая к выходу схемы нагрузочные эквиваленты.

Нагрузочные эквиваленты являются сопротивлениями, соответствующими сопротивлениям одной или десяти ключевых схем, подключенных к выходу данного ключа.

Подключение эквивалентов осуществляется в положении переключателя SA2→1 и 2:

- б) сравнить характеристики и сделать выводы;
- в) определить порог чувствительности;
- г) просмотреть выходные сигналы на коллекторах транзисторов VT1, VT2, VT3 ключевой цепочки (клеммы К1 ÷ К3). Ключевая цепочка состоит из 5 последовательно соединенных ключей (рис.13).

Задание 5. Определить среднее время задержки переключения ключевой схемы. Для инвертирующих схем $t_{зд.п.ср.} \approx 0,5(t_{зд.п.}^{1,0} + t_{зд.п.}^{0,1})$ можно определить экспериментально с помощью цепочки из нечетного числа k последовательно соединенных ключей, замкнутой в кольцо (рис. 13). Наличие обратной связи приводит к возникновению генерации. Поэтому такое соединение называется кольцевым генератором. Так как период генерируемых импульсов равен времени циркулирования по кольцу двух логических сигналов "0" и "1", то его длительность равна $T_{\Gamma} = 2kt_{зд.п.ср.}$.



Рис. 13

Таким образом, $t_{зд.п.ср.} = \frac{T_{\Gamma}}{2k} = \frac{1}{2kf_{\Gamma}}$, где $k = 5$.

Такой косвенный метод измерения $t_{зд.п.}$ обычно применяется, когда непосредственное измерение $t_{зд.п.}$ по осциллографу затруднено, вследствие большого быстродействия микросхемы.

Перевести SA2→3. Включив развертку осциллографа получить на экране временную диаграмму импульсов и определить частоту f_{Γ} или период T_{Γ} генерации. Определить $t_{зд.п.ср.}$

Задание 6. Исследовать передаточную характеристику МДП-транзистора с пассивной нагрузкой SA1→6. Определить статические параметры $U^0, U^1, \Delta U_{\Pi}, U_{\Pi}, U_{\Pi}^-, U_{\Pi}^+$.

Задание 7. Исследовать передаточную характеристику комплементарного (КМДП) ключа SA1→7.

Зарисовать передаточную характеристику КМДП – ключа, определить статические параметры $U^0, U^1, \Delta U_{\Pi}, U_{\Pi}, U_{\Pi}^-, U_{\Pi}^+$.

Задание 8. Исследовать передаточную характеристику переключателя тока SA1→ 8; 9. Переместить нуль входного напряжения в центр экрана (на вход подается разнополярное напряжение).

Зарисовать на одном графике передаточные характеристики с "вых.1" и "вых.2" ключа. Определить величину амплитуды входного сигнала $U_{ВХ}$, при которой схема переходит в режим ключа.

Задание 9. Определить среднее время задержки переключения ключа на транзисторе с барьером Шоттки. Результаты измерения $t_{зд.р.ср.}$ (SA1→10) сравнить с аналогичными, полученными в задании 5. Сделать выводы.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Блок-схема измерения.
2. Принципиальные схемы и передаточные характеристики исследуемых ключей.
3. Вычисленные статические и динамические параметры.
4. Выводы по каждому пункту задания.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Чем отличаются передаточные характеристики инвертирующих и неинвертирующих электронных схем?
2. Принцип работы простейшего транзисторного ключа.
3. Статические параметры ключа.
4. Передаточная характеристика ключа.
5. Покажите рабочие точки ключа на биполярном транзисторе на входных и выходных характеристиках транзистора.
6. Чем определяется остаточное напряжение простейшего ключа на биполярном транзисторе?
7. Дайте определение степени насыщения.
8. Каково влияние барьерной и диффузионной емкостей коллекторного перехода на переходные процессы в простейшем биполярном ключе?
9. Особенности работы ключей в ключевых цепочках.
10. Принцип работы ключа с барьером Шоттки.
11. Дайте сравнительную характеристику простейшего ключа на биполярном транзисторе и ключа с барьером Шоттки.
12. Чем обусловлено быстрое действие переключателя тока?
13. Как исключается насыщение транзисторов в переключателе тока?
14. Особенности ключевых схем на МДП-транзисторах.
15. Почему МДП-транзисторный ключ с динамической нагрузкой предпочтительнее ключа с резистивной нагрузкой?
16. Принцип работы и характеристики ключа на комплементарных МДП-транзисторах.
17. Какие параметры характеризуют помехоустойчивость ключей?
18. Проанализируйте простейший биполярный и МДП-транзисторный ключи с точки зрения помехоустойчивости.

ЛИТЕРАТУРА

Степаненко И.П. Основы микроэлектроники: Учеб. Пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп.– М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2001, с.282-326; 3-е изд., 2004.