

Государственное образовательное учреждение высшего
профессионального образования
УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВИАЦИОННЫЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Кафедра промышленной электроники

ТРАНЗИСТОРНЫЕ КЛЮЧИ

**Лабораторный практикум по дисциплине
«Электронные цепи и микросхемотехника»**

УФА
2010 г.

Составитель: Андреев И.Б.

УДК

ББК

Транзисторные ключи. Лабораторный практикум по дисциплине “Электронные цепи и микросхемотехника”/Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т; Сост.: Андреев И.Б. – Уфа, 2010.- 26 с.

Приведены краткие теоретические сведения по изучаемым темам, примеры расчета, задания на самостоятельную работу, список литературы для самостоятельной работы.

Предназначено для студентов по направлению подготовки 210100 (550700) «Электроника и микроэлектроника» и может быть использовано студентами других специальностей, изучающими основы электроники.

© Уфимский государственный
авиационный технический университет, 2010

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2.	
ТРАНЗИСТОРНЫЕ КЛЮЧИ	
1. Цель работы	5
2. Задачи работы	5
3. Описание лабораторной установки	5
4. Краткие теоретические сведения	6
5. Программа выполнения работы	10
6. Требования к оформлению и содержанию отчета	12
7. Критерии результативности выполнения работы	12
8. Контрольные вопросы	13
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	28
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	29

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторный практикум составлен в соответствии с учебной программой по дисциплине "Электронные цепи и микросхемотехника". Дисциплина относится к циклу специальных дисциплин Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по направлению подготовки бакалавров 210100 "Электроника и микроэлектроника", по направлению подготовки дипломированных специалистов 654100 (210100) "Электроника и микроэлектроника" специальности 200400 (200106) "Промышленная электроника".

Целью данной дисциплины является изучение основ схемотехники и методов анализа типовых электронных схем. Лабораторный практикум позволяет приобрести навыки изучения работы электронных устройств, снятия основных характеристик с использованием современных аппаратных и аппаратно-программных (компьютерных) измерительных приборов и систем.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ТРАНЗИСТОРНЫЕ КЛЮЧИ

1. Цель работы

Изучение схемотехники и исследование характеристик ключевых каскадов на базе различных типов транзисторов.

2. Задачи работы

Основными задачами работы являются:

2.1. Изучение теоретических основ схемотехники и приобретение опыта работы с современным техническим оборудованием и компьютерными измерительными приставками.

2.2. Получение навыков работы с электронным оборудованием на базе транзисторной техники.

2.3. Исследование характеристик ключевых каскадов на биполярных и полевых транзисторах.

3. Описание лабораторной установки

Оборудование, используемое для выполнения работы, включает: персональный компьютер, осциллографическую приставку, генератор сигналов низких частот универсальный, лабораторный стенд. Схема лабораторной установки состоит из нескольких блоков.

Блок ключа на биполярном транзисторе представляет собой каскад с общим эмиттером в ключевом режиме. В базовую цепь транзистора может быть включена форсирующая емкость (рис. 1.1).

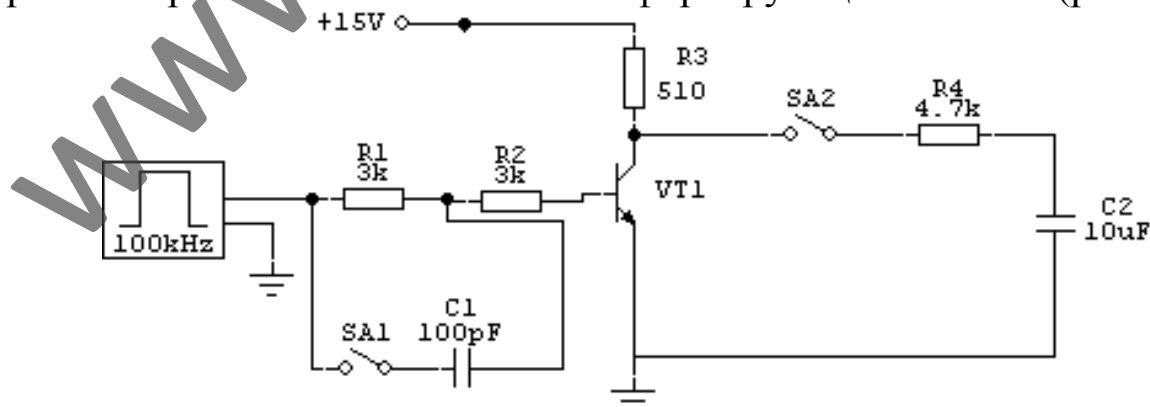


Рис. 1.1 – Принципиальная схема ключа на БТ

Блок ключей на полевых транзисторах (рис. 1.2) представляет собой ключ на одиночном МДП-транзисторе и ключ на комплементарной паре МДП-транзисторов.

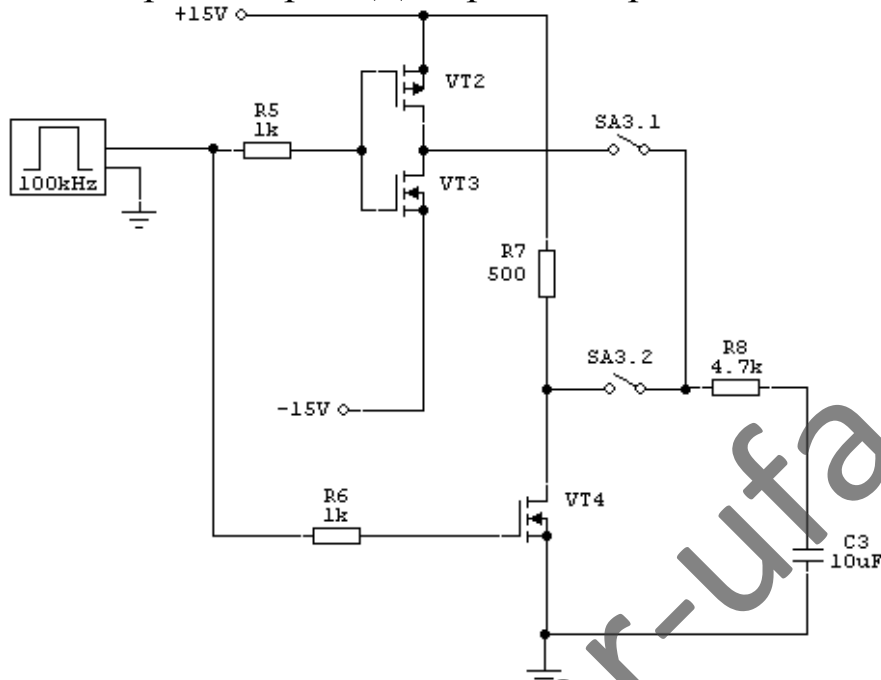


Рис. 1.2 – Принципиальная схема блока ключей на МДП транзисторах

Блок ключа на биполярном транзисторе с изолированным затвором (IGBT) представляет собой простейшую схему ключа с использованием IGBT (рис 1.3).

К выходу каждого ключа может быть подключена RC цепочка для исследования влияния емкостной нагрузки на характеристики ключа.

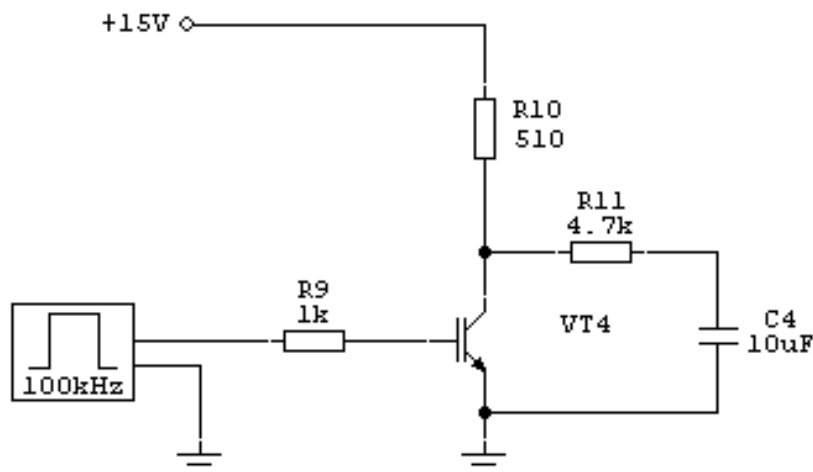


Рис. 1.3. Принципиальная схема ключа на IGBT

4. Краткие теоретические сведения

В элементной базе ЭВМ биполярные транзисторы, как правило, работают в ключевом режиме. Схема простейшего ключа приведена на рис. 1.4.

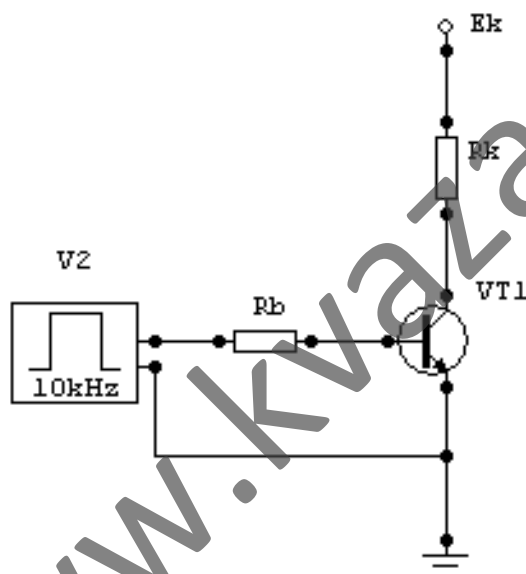


Рис. 1.4. Принципиальная схема ключа на биполярном транзисторе.

Транзистор может находиться либо в режиме отсечки (оба перехода закрыты), либо в режиме насыщения (оба перехода открыты). При переключении транзистора из режима отсечки в режим насыщения (или наоборот) транзистор попадает в активный режим. Все переходные процессы в биполярном транзисторе (БТ) происходят при переключении его из насыщенного состояния в закрытое или наоборот. В режиме отсечки через коллектор протекает

обратный ток коллекторного перехода I_{KO} , который в базе создаёт ток $-I_{KO}$. При этом на коллекторе БТ напряжение равно

$$U_{K.OTS} = E_K - R_K I_{KO} \approx E_K$$

При подаче на базу БТ прямого напряжения транзистор открывается и переходит в режим насыщения. Поэтому выходное напряжение ($U_{K.НАС}$) становится близким к нулю и равно

$$U_{K.НАС} = E_K - R_K I_{K.НАС}$$

В режиме насыщения оба перехода – эмиттерный и коллекторный открыты и в базу начинается инжекция (в случае транзистора *n-p-n* типа) электронов. При этом в базе накапливаются избыточные неосновные заряды (электроны). Процессы накопления и рассасывания этих избыточных зарядов оказывают существенное влияние на форму выходного импульса транзистора.

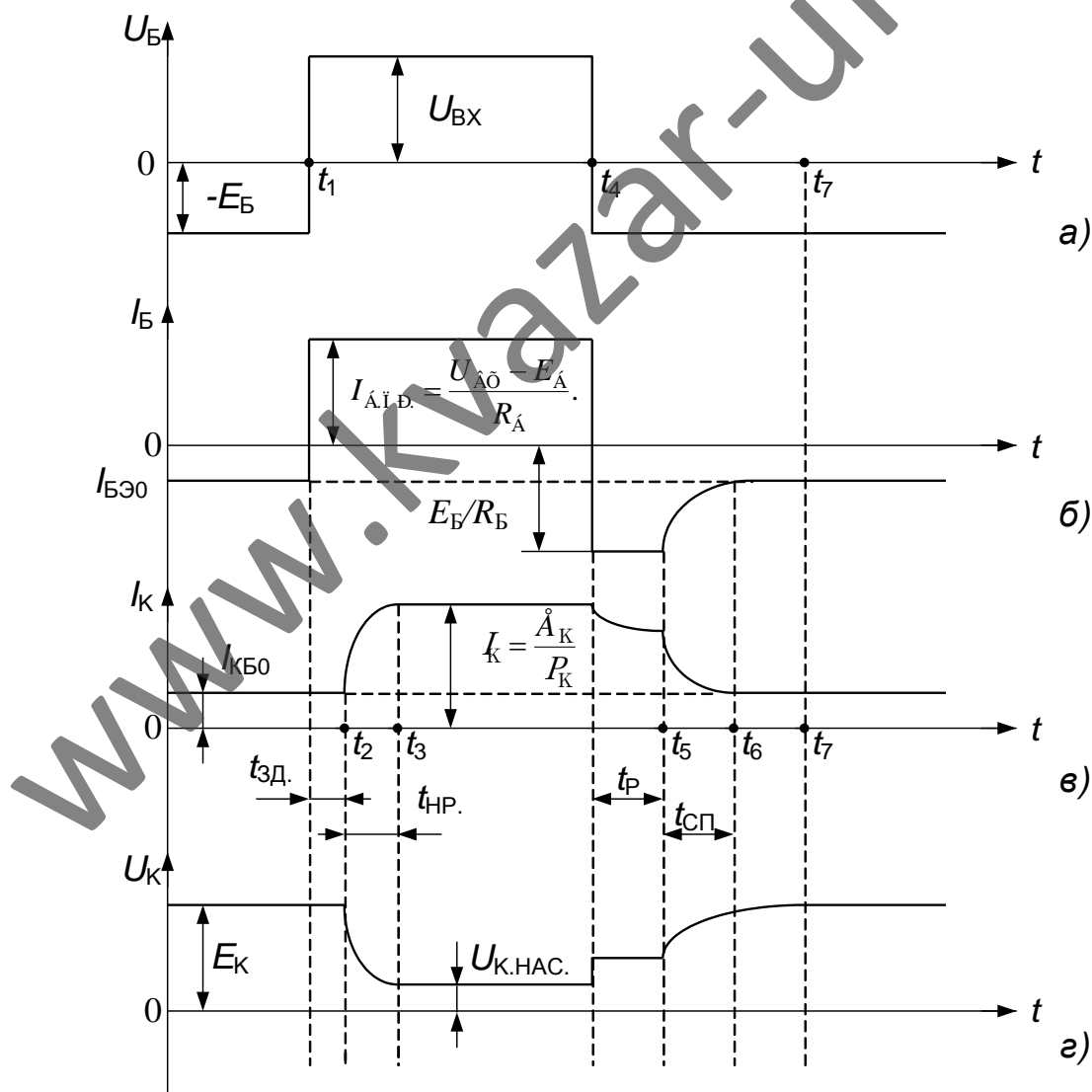


Рис. 1.5. Временная диаграмма напряжений и токов биполярного транзистора в ключевом режиме: *a* – напряжение базы; *б* – ток базы; *в* – ток коллектора; *г* – напряжение коллектора.

Графики токов и напряжений на входе и выходе БТ в ключевом режиме приведены на рис 1.5.

При отсутствии входного импульса (временной интервал от 0 до t_1) транзистор закрыт за счёт запирающего напряжения источника смещения – E_B (рис. 1.5, *a*). Об этом свидетельствуют значения тока коллектора $I_K = I_{KB0}$ и $U_K = E_K$. При поступлении на вход БТ идеального прямоугольного импульса положительной полярности напряжения U_{BX} в цепи базы начинает протекать прямой ток базы

$$I_{B.пр.} = \frac{U_{BX} - E_B}{R_B}.$$

После окончания входного импульса (момент t_4), ток базы будет иметь большое значение $I_{B.обр.} = E_B / R_B$. По мере рассасывания неравновесного заряда в базе обратное сопротивление эмиттерного перехода возрастает и ток базы стремится к установившемуся значению $I_{BЭ0}$ (рис. 1.5, *б* момент времени t_6).

При действии переднего фронта входного импульса (момент t_1 рис. 1.5, *a*) импульс выходного тока I_K (рис. 1.5, *в*) появляется с небольшой задержкой, которая на графике обозначена как $t_{зд}$. Эта задержка определяется временным перемещением инжектированных из эмиттера в базу электронов до коллекторного перехода, а также временем заряда паразитной ёмкости перехода. С момента времени t_2 (рис. 1.5, *в*) транзистор переходит в активный режим, коллекторный ток начинает возрастать по экспоненциальному закону, достигая установившегося значения за время $t_{НР}$.

Чтобы уменьшить время $t_{ВКЛ}$ необходимо увеличивать граничную частоту транзистора (брать его более высокочастотным) и увеличивать входной ток I_B , вызывая глубокое насыщение транзистора.

С момента t_4 в цепи базы транзистора протекает запирающий ток $I_{B.обр.}$, но коллекторный ток при этом остаётся практически постоянным. Это происходит на протяжении времени t_p (времени

рассасывания t_4-t_5) (рис. 1.5, в). Поэтому время рассасывания (t_p) иногда называют временем задержки выключения транзистора.

Время рассасывания тем меньше, чем больше значение запирающего тока базы и чем ближе подходит уровень тока насыщения I_{KH} к уровню кажущегося тока $I_{KAЖ}$. А это может быть в том случае, когда меньше степень насыщения транзистора во включенном состоянии. В это время концентрация неравновесных зарядов в базе выше равновесной и коллекторный переход вследствие этого продолжает оставаться открытым.

Как только неравновесный заряд у коллекторного перехода рассосется за счёт ухода электронов из базы и рекомбинации, ток коллектора начинает по закону экспоненты уменьшаться, достигая за время спада $t_{СП}$ (рис. 1.5, в, t_5, t_6) установившегося значения I_{KB0} .

На этом этапе происходит два процесса: уменьшение тока коллектора до тока его отсечки I_{KB0} (интервал t_5-t_6 рис.1.5, в) и заряд коллекторной барьерной ёмкости C_K через резистор R_K от источника питания E_K . Процесс уменьшения коллекторного тока I_{KH} до I_{KB0} близкого к нулю, происходит весьма быстро, особенно при большом запирающем токе базы. Длительность этого процесса составляет малую долю от времени $t_{СП}$ спада. Существенно большую длительность имеет процесс заряда барьерной ёмкости коллекторного перехода C_K . После отсечки коллекторного тока эта ёмкость продолжает заряжаться от источника E_K через R_K .

Таким образом время выключения $t_{ВЫКЛ}$ равно сумме времени рассасывания и спада:

$$t_{ВЫКЛ} = t_p + t_{СП}$$

Временные параметры $t_{ВКЛ}$ и $t_{ВЫКЛ}$ являются основными в ключевых схемах, которые в свою очередь являются основой элементной базы вычислительной техники. По ним определяется быстродействие элементов и ЭВМ в целом.

Одной из основных проблем при повышении быстродействия ключевых схем является уменьшение времени рассасывания t_p . Для этого нужно уменьшить ток базы, т.е. – степень насыщения $n = I_B / I_{Б.НАС.}$. Но при этом возрастает время $t_{НР}$.

Длительность переключения можно уменьшить схемотехническими методами - с помощью ускоряющих конденсаторов или применяя отрицательную обратную связь.

Применение ускоряющей емкости. Для повышения быстродействия транзисторных ключей резистор R_1 шунтируют ускоряющей емкостью C (рис. 1.6). Из-за наличия в схеме емкости C при подаче на вход схемы отпирающего сигнала в базовой цепи в первый момент протекает значительный ток. Начальное значение этого тока равно $I_{б0}(0) \approx E_{б1} / r_{вх}$, где $r_{вх}$ - входное сопротивление открывающегося транзистора. По мере заряда конденсатора C ток базы уменьшается и стремится к уровню $I_{б0\infty} \approx E_{б1} / (R + r_{вх})$. При подаче запирающего напряжения конденсатор C разряжается и способствует увеличению запирающего тока, что и приводит к ускорению процессов рассасывания заряда в базе и сокращению длительности выключения транзистора. Емкость конденсатора C небольшая и составляет десятки или сотни пикофард, чтобы за время действия входного отпирающего импульса конденсатор полностью зарядился.

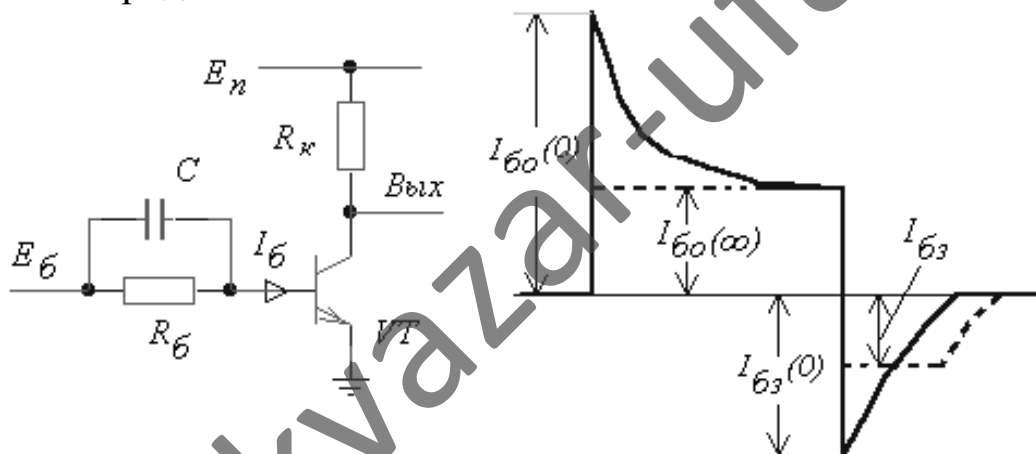


Рис. 1.6. Ключ с ускоряющей (форсирующей) емкостью

Применение нелинейной отрицательной обратной связи. Сокращение длительности переключения может быть достигнуто, если предотвратить сколько-нибудь существенное насыщение открытого транзистора. Эта задача решается введением в схему ключа нелинейной отрицательной обратной связи (НООС). Такая схема показана на рис. 1.7. Для устранения насыщения транзистора параллельно переходу база – коллектор включен диод Шоттки VD . Диод Шоттки представляет собой переход металл (обычно алюминий) – полупроводник. В интегральных схемах диод Шоттки вместе с транзистором составляет единую структуру – *транзистор Шоттки*. Когда транзистор выключен или работает в активном режиме, напряжение $U_{бк}$ отрицательно. Поэтому VD закрыт и не

влияет на работу транзистора. При включении транзистора большим входным током напряжение $U_{бк}$ становится положительным и диод VD открывается, так как пороговое напряжение диода Шоттки равно (0,2...0,3)В. В результате, значительная часть входного тока начинает протекать по цепи диод – коллекторная цепь транзистора. Базовый ток уменьшается и ограничивается примерно на уровне $I_{б гр}$.

Поэтому практически можно считать, что в транзисторе Шоттки отсутствует избыточный заряд в базе и, следовательно, отсутствует задержка на рассасывание избыточного заряда при выключении транзистора.

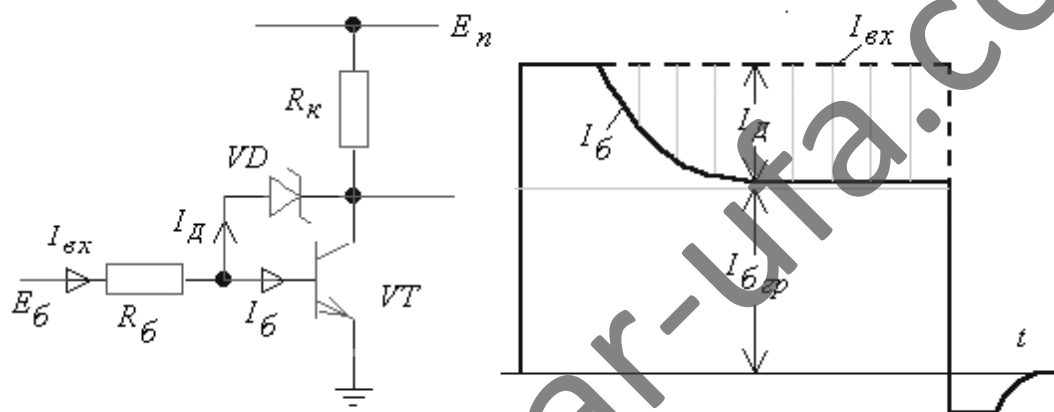


Рис. 1.7. Ключ на транзисторе Шоттки

Ключи на биполярных транзисторах, наряду со своими преимуществами, имеют и недостатки. Одними из наиболее серьезных являются наличие остаточного выходного напряжения ключа в замкнутом состоянии и малое входное сопротивление биполярного транзистора. Эти недостатки отсутствуют у полевых, в частности МДП-транзисторов. Например, в статическом режиме входное сопротивление МОП-ключей очень большое ($R_{вх}=10^{12}$ Ом и более). Указанные преимущества, в совокупности с технологичностью (плотность упаковки полевых транзисторов при изготовлении интегральных схем превышает этот параметр для биполярных транзисторов) определили широкое применение МДП транзисторов в импульсной и цифровой технике. Практически, единственно приемлемой схемой включения транзистора в цифровом ключе является схема с общим эмиттером или с общим истоком для МОП-транзисторов. Однако, в отличие от биполярного ключа, в МОП-ключах существует достаточно много разновидностей схем.

МОП ключ с линейной нагрузкой. Схема такого ключа на МОП транзисторе с индуцированным каналом р-типа приведена на рис.1.8.

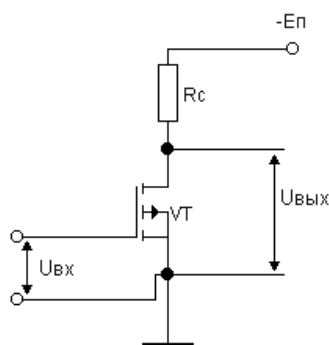


Рис.1.8.МОП-Ключ с линейной нагрузкой.

При низком входном напряжении $U_{вх} < U_{зипор}$ (оно часто определяется как напряжение, соответствующее логическому 0 - в положительной логике $U_{вх0}$) транзистор заперт, ток $I_c = 0$ и выходное напряжение $U_{вых} = +E$ т. е. соответствует высокому напряжению логической 1 в положительной логике $U_{вых1}$.

При подаче на вход высокого потенциала, соответствующего лог. 1, $U_{вх1} > U_{зипор}$ транзистор открывается, падение напряжения $I_c \cdot R$ уравнивает большую часть ЭДС питания и на выходе схемы напряжение снижается до $U_{вых0}$. Таким образом, как и схема с биполярным транзистором, рассмотренная ключевая схема является инвертором, реализующим операцию **НЕ**.

МОП ключ с динамической нагрузкой. В интегральной схемотехнике в качестве нагрузочного сопротивления R целесообразно использовать МДП-транзистор того же типа, что и транзистор, выполняющий роль ключа (рис. 1.9). Это позволяет сделать элементы схем идентичными, сократить число технологических операций при изготовлении микросхем и снизить их стоимость.

Чтобы транзистор заменял резистор, необходимо, чтобы напряжение между его затвором и истоком всегда было бы больше порогового, т. е. чтобы канал транзистора всегда оставался открытым и его сопротивление оставалось бы более или менее постоянным. Осуществить это просто, если соединить затвор транзистора VT_2 , заменяющего резистор в схеме, с его стоком. При таком включении напряжение $U_{зи}$ этого транзистора равно падению напряжения между его истоком и источником E , поэтому оно всегда остается

положительным, хотя изменяется вместе с изменением падения напряжения на транзисторе VT_2 . В результате транзистор VT_2 представляет нелинейное сопротивление. В итоге напряжения на выходе в замкнутом и разомкнутом состояниях ключа несколько уменьшатся, но схема по-прежнему будет выполнять функцию инвертора, реализующего операцию **НЕ**.

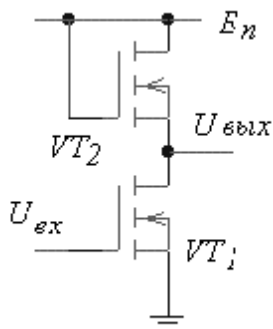


Рис. 1.9. МДП-ключ с динамической нагрузкой

Комплементарный ключ. В случае использования транзисторов с противоположным типом канала схема инвертора останется прежней; изменятся лишь на противоположные полярности источника питания, входного и выходного сигналов (рис. 1.10).

В схеме рис.1.10 при лог. 0 на выходе, дырки, втянутые в p -канал большим по абсолютному значению отрицательным потенциалом на затворе, откроют транзистор $T1$ и потенциал его стока (то есть $U_{вых}$) станет близким к потенциалу корпуса (как всегда принятому за нулевой отсчет напряжения), т. е. окажется высоким (лог. 1) по отношению к низкому (лог. 0) напряжению $U_{вх}$. Таким образом, и при отрицательных потенциалах ключевая схема реализует логическую операцию **НЕ**.

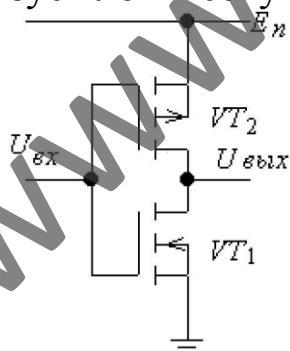


Рис. 1.10. Комплементарный МДП-ключ.

Преимуществом комплементарных МДП (КМДП) ключей является отсутствие сквозного тока в статическом состоянии (и при лог. 0 и при лог. 1 на входе схема практически не потребляет ток от

источника питания. Есть и недостаток (точнее неприятная особенность) – при некотором промежуточном значении сигнала на входе схемы, оба транзистора могут оказаться в открытом состоянии, что приводит к короткому замыканию источника питания. В микросхемах с КМДП транзисторами эта проблема успешно решена, но о ней необходимо помнить при построении схем на дискретных ключах.

Биполярный транзистор с изолированным затвором (IGBT - *Insulated Gate Bipolar Transistors*) - полностью управляемый полупроводниковый прибор, в основе которого трёхслойная структура. Его включение и выключение осуществляются подачей и снятием положительного напряжения между затвором и истоком.

IGBT являются продуктом развития технологии силовых транзисторов со структурой металл-оксид-полупроводник, управляемых электрическим полем (MOSFET-*Metal-Oxid-Semiconductor-Field-Effect-Transistor*) и сочетают в себе два транзистора в одной полупроводниковой структуре: биполярный (образующий силовой канал) и полевой (образующий канал управления). Таким образом, IGBT имеет три внешних вывода: эмиттер, коллектор, затвор (рис 1.3). Сочетание двух приборов в одной структуре позволило объединить достоинства полевых и биполярных транзисторов: высокое входное сопротивление с высокой токовой нагрузкой и малым сопротивлением во включённом состоянии.

Процесс включения IGBT можно разделить на два этапа: после подачи положительного напряжения между затвором и истоком происходит открытие полевого транзистора (формируется n - канал между истоком и стоком). Движение зарядов из области n в область p приводит к открытию биполярного транзистора и возникновению тока от эмиттера к коллектору. Таким образом, полевой транзистор управляет работой биполярного.

Для IGBT с номинальным напряжением в диапазоне 600-1200 В в полностью включённом состоянии прямое падение напряжения, так же как и для биполярных транзисторов, находится в диапазоне 1,5-3,5 В. Это значительно меньше, чем характерное падение напряжения на силовых MOSFET в проводящем состоянии с такими же номинальными напряжениями.

С другой стороны, MOSFET с номинальными напряжениями 200 В и меньше имеют более низкое значение напряжения во включённом состоянии, чем IGBT, и остаются непревзойдёнными в этом отношении в области низких рабочих напряжений и коммутируемых токов до 50 А.

По быстродействию IGBT уступают MOSFET, но значительно превосходят биполярные. Типичные значения времени рассасывания накопленного заряда и спада тока при выключении IGBT находятся в диапазонах 0,2-0,4 и 0,2-1,5 мкс, соответственно.

Область безопасной работы IGBT позволяет успешно обеспечить его надёжную работу без применения дополнительных цепей формирования траектории переключения при частотах от 10 до 20 кГц для модулей с номинальными токами в несколько сотен ампер. Такими качествами не обладают биполярные транзисторы, соединённые по схеме Дарлингтона.

5. Программа выполнения работы

5.1. Подключить выход генератора прямоугольных импульсов к входу ключа на БТ (нагрузка ключа – отключена, форсирующий конденсатор - отключен). Зафиксировать осциллограммы входного и выходного сигнала, произвести измерение параметров выходного прямоугольного импульса.

5.2. Изменяя частоту генератора, определить верхнюю частоту входного сигнала, при которой выходной сигнал имеет форму, близкую к идеальному прямоугольнику.

5.3. Изменяя выходное напряжение генератора, определить минимальную амплитуду сигнала, обеспечивающую работу ключа.

5.4. Повторить пункты 5.1 – 5.3 при включенном в схему форсирующем конденсаторе. Сравнить полученные результаты, сделать выводы.

5.5. Повторить пункты 5.1 – 5.3 при включенной нагрузке. Сравнить полученные результаты, сделать выводы.

5.6. Подключить выход генератора к входу ключа на одиночном МДП-транзисторе. Обеспечить работоспособность ключа изменением амплитуды импульсов генератора. Сравнить параметры выходных

импульсов ключей на БТ и МДП-транзисторе (на одной и той же частоте). Сделать выводы.

5.7. Сравнить работу МДП-ключа с емкостной нагрузкой и без нее. Определить максимальные частоты работы ключа в обоих случаях.

5.8. Выполнить действия, описанные в пп. 5.6 – 5.7 для комплементарного ключа. Сравнить параметры этого ключа с предыдущими вариантами.

5.9. Подключить к генератору IGBT ключ. Изменяя частоту и амплитуду входных импульсов, обеспечить форму выходного сигнала, максимально близкую к идеальному прямоугольному. (Учтите, что частота входного сигнала для IGBT не превышает 30-50 кГц).

5.10. Повторить действия, описанные в пп. 5.2 – 5.3 для IGBT-ключа. Сравнить этот ключ с предыдущими вариантами.

5.11. Выполнить п. 5.10 с включенной емкостной нагрузкой. Сравнить результаты с результатами, полученными при выполнении п. 5.10.

6. Требования к оформлению и содержанию отчета

Отчет должен содержать:

6.1. Исследуемую схему устройства по каждому пункту.

6.2. Характеристики исследуемого устройства (осциллограммы сигналов в характерных точках, основные параметры выходного сигнала).

6.3. Графики результатов исследований, в соответствии с заданием.

6.4. Выводы по результатам работы.

7. Критерии результативности выполнения работы

Результаты лабораторной работы считаются удовлетворительными, если студенты:

7.1. Выполнили в полном объеме программу работы и представили отчет, содержащий результаты измерений и проведенного моделирования.

7.2. Сумели объяснить представленные в отчете результаты.

7.3. Приобрели навыки работы с моделирующей программой на примерах схем усилителей без и с обратными связями.

7.4. Ответили на все контрольные вопросы.

8. Контрольные вопросы

8.1. Принцип работы транзисторного ключа.

8.2. Причины искажения формы импульса в ключе на биполярном транзисторе.

8.3. Методы повышения быстродействия ключей.

8.4. Преимущества полевых транзисторов в импульсной технике.

8.5. Особенности схемотехники МДП-ключей.

8.6. Транзисторы IGBT и ключи на их основе.

Список литературы

- 1 Гусев, В. Г. Электроника/ В. Г. Гусев, Ю. М. Гусев. – М.: Высшая школа, 2004 г.- 622 с.
- 2 Белов, Г. А. Электронные цепи и микросхемотехника; Учебное пособие для вузов/ Г. А. Белов, 2004г. – 780с.
- 3 Хоровиц, П.. Искусство схемотехники. Пер. с англ./ П. Хоровиц, У. Хилл. – М.: Мир, 2003г. – 598с.
- 4 Гальперин, М. В. Электронная техника/ М. В. Гальперин. – М.: Форум, 2004г. – 304с.
- 5 Волович, Г. И. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых устройств/ Г. И. Волович. М.- «Додэка-XXI», 2005г.-527с.
- 6 Быстров, Ю. А. Электронные цепи и микросхемотехника: Учебник/ Ю. А. Быстров, И. Г. Мироненко. - М.: Высшая школа, 2002.- 384с.
- 7 Быстров, Ю.А. Электронные приборы и устройства на их основе: Справочная книга/ Ю. А. Быстров и др. - М.: ИП Радио Софт, 2002- 656с.
- 8 Бобровников, Л. З. Электроника: Учебник/ Л. З. Бобровников. – СПб: Питер, 2004. - 560с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Инструкция по работе с осциллографической приставкой и генератором GFG-8219A

Осциллографическая приставка не имеет наружных органов настройки и представляет собой автоматическое программно управляемое устройство.

На передней панели приставки имеются разъемы для подключения осциллографических шнуров – два входа измерительных каналов (слева и справа) и вход внешней синхронизации (в середине), а также светодиод индикации включения.

Запуск программного обеспечения осциллографа производится иконкой Pc_Lab2000se на рабочем столе компьютера (рис. А.1).



Рис. А.1

На появившемся окне программы проверить соответствие параметров приведенному выше рисунку и кликнуть мышкой на кнопке OK.

Через несколько секунд должно появиться рабочее окно, имитирующее двухлучевой цифровой осциллограф (рис. А.2). Подсоединив входные шнуры (1 или 2, по необходимости, канала) к исследуемой схеме, нужно включить осциллограф нажатием кнопки RUN. При работе в однолучевом режиме, второй луч можно погасить,

отпустив кнопки ON над блоком вертикальной развертки соответствующего луча (нижняя часть панели управления – первый луч (зеленый) – слева, второй (желтый) – справа). Делитель напряжения – кнопочный, нажатая кнопка показывает чувствительность в вольтах на деление (одна клетка на экране).

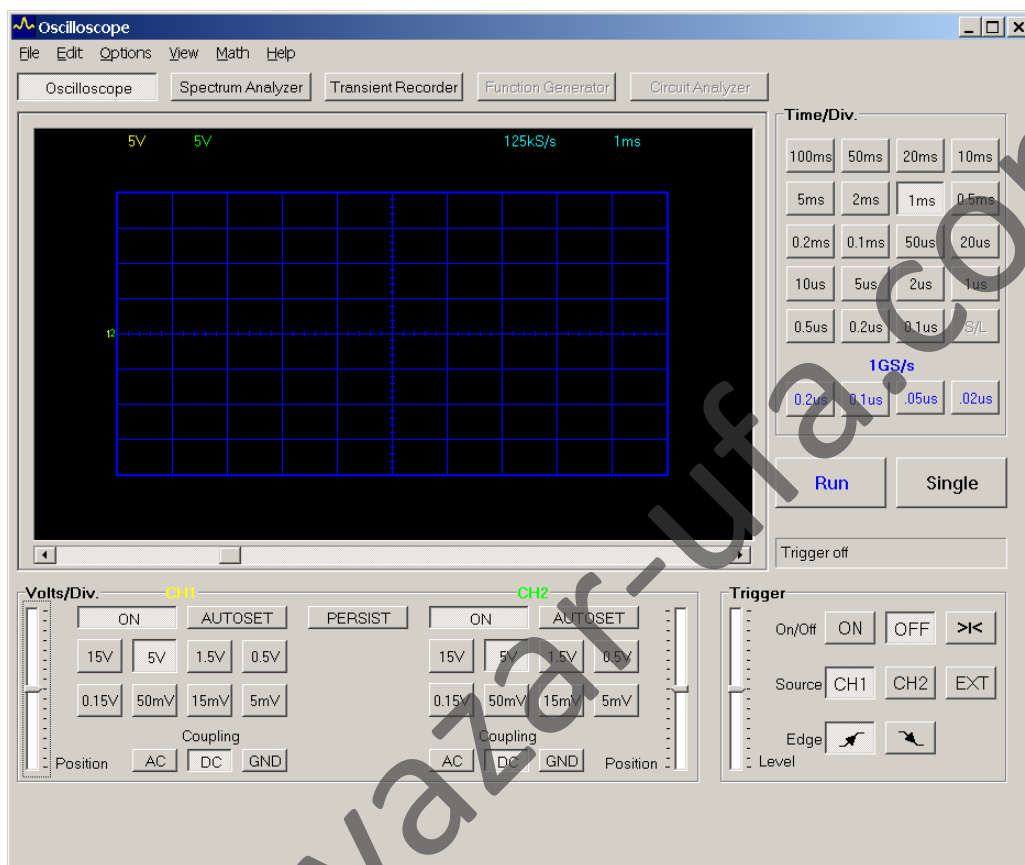


Рис. А.2

Предел измерения также указывается в верхней левой части экрана соответствующим цветом. При необходимости можно также изменить режим работы входа осциллографа нажатием одной из трех кнопок (открытый вход – DC, закрытый – AC, заземленный – GND).

Делитель горизонтальной развертки находится справа сверху на панели осциллографа, горизонтальная чувствительность (время/деление) также индицируется на экране осциллографа (справа сверху). В нижней правой части осциллографа – панель режима синхронизации (включение/ выключение – ON/OFF, выбор источника синхронизации – вход 1/вход 2/внешняя – CH1/CH2/EXT, выбор фронта уровня синхронизации).

При работе с осциллографом обычно необходимо выбрать развертку таким образом, чтобы растянуть изображение не менее, чем на 1/2 экрана по вертикали и обеспечить наблюдение 2-3 периодов исследуемого сигнала (рис. А.3).

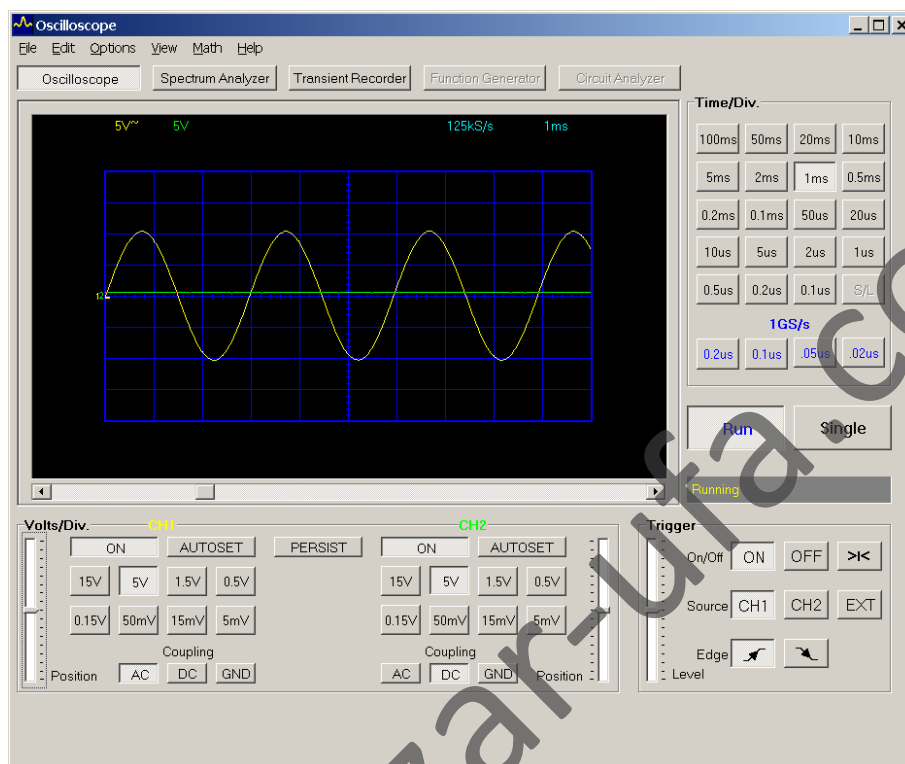


Рис. А.3

Кроме режима осциллографа можно выбрать режим анализатора спектра нажатием кнопки Spectrum Analyzer над экраном осциллографа. При этом на экране отображается не сам сигнал, а его спектр (рис.Б.4), временной делитель показывает диапазон измерения (3 кГц на всю ширину экрана в примере, т.е частота входного сигнала – чуть более 300 Гц).

При проведении измерений нет необходимости отсчитывать величины сигналов по экрану. Для измерения необходимо активировать меню View/Markers(DSO), установить маркеры (два вертикальных и два горизонтальных) и снять результаты, отображаемые в нижней части экрана. (На рис. А.4 показан пример – двойной размах сигнала – 20,78 В, амплитуда верхней полуволны – 10,47 В, нижней – 10,31 В, период сигнала – 2,98 мс, частота – 335,57Гц).

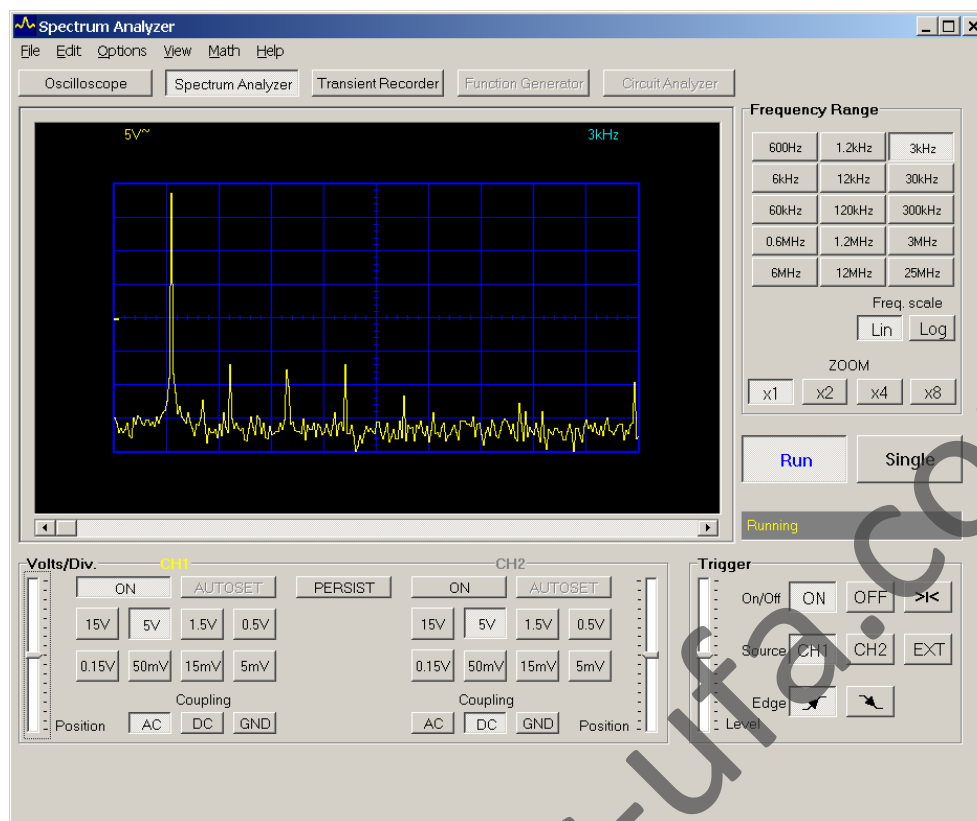


Рис. А.4

Для упрощения работы можно вызвать меню View/Waveform Parameters и в появившейся таблице выбрать нужные параметры сигнала (рис. А.5).

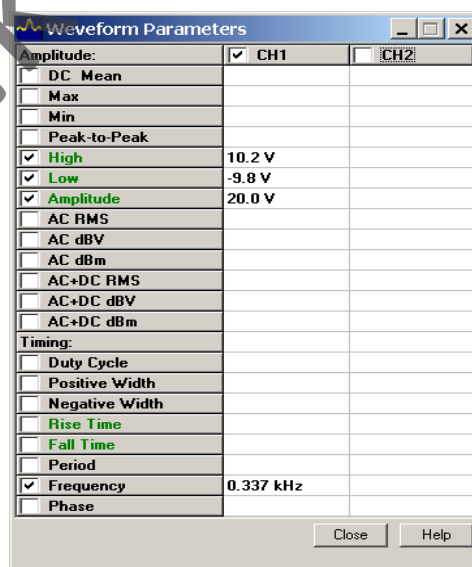


Рис. А.5

В этом случае необходимо учитывать, что в таблице появляются не параметры физического сигнала, а результаты математической обработки изображения на экране осциллографа, т.е. они меняются при изменении представления сигнала на экране, например, если на экране отображен не полный период сигнала, то и результаты измерения частоты будут некорректны.

Показания осциллографа могут быть сохранены в виде графических файлов – меню File/Save Image в специально выделенную папку для использования их при оформлении отчета по работе. Папку нужно сначала создать, чтобы не вызвать беспорядка в файловой системе компьютера. По окончании работы можно скопировать папку на флеш-карту или дискету средствами Windows.

Описание генератора (рис. А.6)

Генератор включается кнопкой POWER. Для работы наиболее часто нужны следующие регулировки:

Диапазон частоты (верхний ряд кнопок).

Частота сигнала (левая, самая большая ручка) FREQUENCY.

Амплитуда выходного сигнала (правая ручка) AMPL. Если ручку слегка выдвинуть на себя (без усилия, до щелчка), то выходной сигнал уменьшается примерно в 10 раз.



Рис. А.6

Форма выходного сигнала (три кнопки в нижнем ряду – прямоугольные импульсы, треугольный сигнал, гармонический сигнал).

ВНИМАНИЕ! При включении генератор автоматически устанавливает режим треугольного сигнала.

Аттенюатор – при нажатии самой правой кнопки в нижнем ряду сигнал уменьшается еще в десять раз.

ВНИМАНИЕ! Перед началом работы, чтобы обеспечить безопасность и для генератора и для схемы, кнопку нужно нажать, а ручку регулировки выдвинуть, т.е. установить самый малый уровень выходного сигнала.

ВНИМАНИЕ! При работе недопустимо даже кратковременное замыкание выходной цепи генератора. При изменении схемы генератор рекомендуется отключать!