
**ИССЛЕДОВАНИЕ ЭДД (ЭКВИВАЛЕНТА ДВУХБАЗОВОГО ДИОДА)
НА ТРАНЗИСТОРАХ.****Введение*.**

Основными материалами для изготовления транзисторов пока являются германий и кремний. Валентность этих элементов равна четырем. В кристалле каждый из атомов стремится образовать парно-электронные связи с четырьмя другими атомами и структура этих кристаллов такова, что каждый атом имеет четыре ближайших соседей. Связь между ближайшими атомами ковалентная. В идеальном ковалентном кристалле, при достаточно низких температурах, все электроны прочно связаны и не могут принимать участие в проводимости. Естественно. Такой кристалл является изолятором.

Проводимость в кристалле возникает только в том случае, если часть валентных электронов свободна. Полупроводники тем и отличаются от настоящих изоляторов, что энергия валентных связей относительно невелика, и тепловое движение уже при комнатной температуре способно разорвать некоторые связи. Освобождающиеся электроны, вследствие теплового движения, будут беспорядочно перемещаться в кристалле.

Если приложить электрическое поле, эти электроны будут дрейфовать в направлении приложенной силы и создавать электрический ток – возникает электронная проводимость. Однако существует и так называемая дырочная проводимость.

Дыркой называется свободная связь, образовавшаяся в результате отрыва электрона.

Эта свободная связь может быть вновь заполнена одним из валентных электронов соседних атомов, в результате чего данная дырка ликвидируется, но образуется новая дырка у соседнего атома. Получается, что дырка тоже может хаотически перемещаться по кристаллу. Если приложить электрическое поле, то движение дырки примет направленный характер и возникает электрический ток. Конечно, при дырочной проводимости также перемещаются электроны, только весь путь проходит не один свободный электрон, как это имеет место при электронной проводимости, а большое число электронов поочередно заменяют друг друга в связях.

Проводимость, осуществляемая за счет нарушения валентных связей основных атомов кристалла, называется собственной проводимостью. Собственная проводимость осуществляется равным количеством электронов и дырок, но роль электронов в проводимости несколько больше, ибо они двигаются быстрее дырок.

Одновременно с образованием электронов и дырок, в результате разрыва валентных связей, т.е. “генерацией носителей” существует и обратный процесс “рекомбинации носителей”, который, грубо говоря, состоит в том, что электроны сталкиваются с дырками, т.е. попадают на свободные места в валентной связи и больше в проводимости не участвуют. Процессы генерации и рекомбинации

**) Студенты, хорошо знакомые с транзисторами, могут это введение опустить.*

обычно находятся в равновесии.

Если полупроводниковый кристалл содержит примеси, то его проводимость сильно увеличивается, а состав носителей тока меняется, в то время как в собственной проводимости участвует равное число свободных электронов и дырок, примесная проводимость, в зависимости от свойств примесей, осуществляется, в основном, либо электронами, либо дырками.

Полупроводник, проводимость которого, в основном, обусловлена наличием свободных электронов, называется полупроводником n – типа (от negative), а полупроводник, проводимость которого вызывается движением дырок, называется полупроводником p – типа (от positive).

Тот или иной тип полупроводника определяется валентностью атомов примеси. Например, при добавлении сурьмы ее атомы замещают атомы германия или кремния в кристаллической решетке, и четыре из пяти валентных электронов образуют ковалентные связи с четырьмя ближайшими атомами, а пятый легко становится свободным. Индий имеет три валентных электрона. Введенный в кристаллическую решетку он образует три ковалентные связи, одно же место для валентного электрона остается пустым – образуется дырка. Конечно, эта дырка может уйти от примесного атома, но сам факт ее существования останется.

Очевидно, что интенсивность процессов рекомбинации пропорциональна произведению числа свободных электронов на число дырок. Поэтому, увеличение числа свободных электронов, при добавлении пятивалентной примеси, пропорционально уменьшает число дырок, а добавление трехвалентной примеси приводит к увеличению числа дырок и уменьшению числа свободных электронов также в одинаковое число раз. Таким образом, полупроводник любого типа содержит оба вида носителей, только в полупроводнике p – типа больше дырок (в этом случае дырки называются основными носителями, а свободные электроны – неосновными), а полупроводник n – типа больше свободных электронов. Здесь электроны называются основными носителями, а дырки – неосновные.

Первостепенную важность для работы диодов транзисторов имеет граница между полупроводниками разных типов – так называемый p - n переход. Способы изготовления кристаллов с p - n переходами могут быть различными. Сплавным методом это делается так: берется пластинка германия, например, n – типа и на нее помещается маленькая таблетка индия, пластинка нагревается, индий расплавляется и диффундирует в кристалл германия, потом пластинка охлаждается. Там, куда проникли атомы индия, образуется полупроводник p – типа. При этом число примесей в p – области, конечно больше, т.е. больше число неосновных носителей.

По законам диффузии дырки из p – области будут попадать в n – область, а свободные электроны, наоборот, из n – области в p – область. В результате p – область получает отрицательный заряд, а n – область – положительный. Между полупроводниками разных типов возникает электрическое поле. Если

к кристаллу не приложено никаких внешних напряжений, то существует динамическое равновесие токов через р-п переход: ток неосновных носителей (возникшее в области р-п перехода электрическое поле не препятствует движению неосновных носителей) полностью компенсирует ток основных носителей. Первый ток невелик, так как неосновных носителей мало, второй ток также небольшой, ибо основным носителям приходится преодолевать тормозное электрическое поле, чтобы пересечь р-п переход. Область самого перехода обеднена носителями. Прибор, содержащий один р-п переход, получил название плоскостного диода (бывают точечные диоды, изготавливаемые по другой технологии).

Если к диоду приложить внешнее напряжение, то эффект будет разным в зависимости от полярности прикладываемой ЭДС. Если присоединить “плюс” к п – области, “минус” к р – области (по существу все напряжение будет приложено к р-п переходу, ибо сопротивление самого полупроводника невелико), то тормозящее электрическое поле еще более увеличится, ток основных носителей полностью прекратится. Останется ток неосновных носителей. Этот ток называется обратным током диода. Если же к диоду приложить напряжение противоположной полярности (“плюсом” к р – области), то это напряжение уменьшит тормозящее электрическое поле в области р-п перехода и через диод пойдет большой ток основных носителей. Величина этого тока зависит от величины прикладываемой ЭДС и от площади р-п перехода. У маломощных диодов при напряжениях, не превышающих 1 вольта, ток достигает несколько десятков или сотен миллиампер. Мощные же диоды могут пропускать токи до 1000 А.

Плоскостные биполярные транзисторы представляют собой систему из двух р-п переходов, находящихся в одном кристалле и расположенных очень близко друг к другу. Бывают транзисторы двух типов р-п-р и п-р-п. В р-п-р транзисторах полупроводник в области между переходами имеет проводимость п – типа, а в п-р-п транзисторах – р – типа.

В дальнейшем мы будем рассматривать, в основном, р-п-р транзисторы. Поэтому там, где это специально не оговорено, имеется в виду именно р-п-р транзисторы. Сплавным методом транзисторы делаются так же, как и диоды, только таблетка примеси, например, индия, накладывается с двух сторон исходной пластинки. Образующиеся р – области делают неодинаковыми по размерам. Меньшую из них называют эмиттером, большую коллектором, среднюю же область – базой (рис. 1). Ко всем трем областям припаиваются выводы.

В усилительном режиме к переходу база-эмиттер прикладывают напряжение, уменьшающее тормозящее поле в области этого перехода, т.е. для р-п-р транзистора напряжение прикладывается минусом к базе, а для п-р-п транзистора – плюсом к базе. К переходу база-коллектор прикладывается напряжение, запирающее переход, т.е. плюсом к базе для р-п-р транзистора. На рис.2а транзисторы изображены так, как они обычно рисуются на схемах, а на рис.

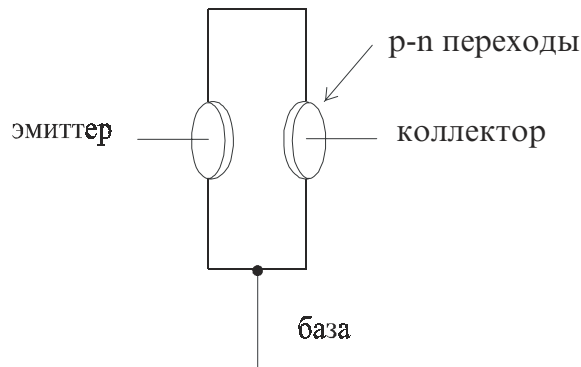


Рис.1.

Конструкция сплавного транзистора.

2б приведено распределение потенциала в транзисторе (тонкой линией без внешних напряжений, толстой линией – с напряжениями, соответствующими рис. 2а.)

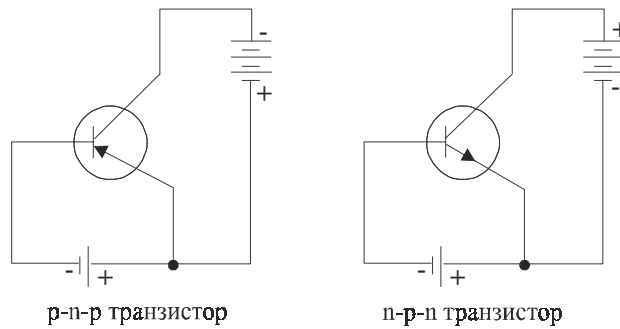


Рис.2а.



Рис.2б.

Распределение потенциала в транзисторе.

Если внешнее напряжение E_1 уменьшило в достаточной степени потенциальный барьер в области перехода эмиттер-база, то дырки, являющиеся носителями в эмиттере, легко преодолевают p-n переход и попадают в базу. Электрическое поле в базе транзистора, изготовленного по сплавной технологии, отсутствует. Поэтому дырки, попавшие в базу, будут приходить к переходу база-коллектор только за счет диффузии.

Электрическое поле, препятствующее проникновению дырок из коллектора

в базу, будут только способствовать перемещению дырок из базы в коллектор. Поэтому, дырки, достигшие перехода база-коллектор, будут втягиваться в коллектор.

Таким образом, основной ток возникает в цепи эмиттер-коллектор. Однако, ток коллектора всегда меньше тока эмиттера, так как часть дырок рекомбинирует со свободными электронами в базе. Кроме того, электроны из базы могут проникать в эмиттер, точно так же, как дырки проникают из эмиттера в базу. Этот ток невелик, так как свободных электронов немного – база делается из полупроводника с малым количеством примесей. Ток, вызываемый этими электронами, складывается с током дырок из эмиттера в базу (хотя носители движутся в противоположных направлениях, но знаки их зарядов также разные). В создании тока база-коллектор электроны базы не участвуют, так как не могут преодолеть большого тормозящего поля в области этого перехода.

Уменьшение числа электронов в базе компенсируется потоком электронов от источника питания через базовый вывод. Ток базы в установившемся режиме равен разности эмиттерного и коллекторного токов.

Отношение коллекторного тока к базовому является важнейшим параметром транзистора. Обозначается оно буквой β . Обычное значение β для современных транзисторов лежит в пределах 20 - 200. Чем больше β , тем, вообще говоря, транзистор лучше, ибо, меняя сравнительно малый ток базы, можно получить гораздо большие изменения тока коллектора, т.е. получить больший коэффициент усиления по току.

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ ТРАНЗИСТОРА В КЛЮЧЕВОМ РЕЖИМЕ.

а) Запертое состояние.

Если к переходам база-эмиттер и база-коллектор приложено напряжение, повышающее потенциальный барьер, то основные носители (дырки в коллекторе и эмиттере и электроны в базе р-п-р транзистора) не могут преодолеть его. В этих условиях токи в транзисторе обуславливаются неосновными носителями. Неосновных носителей больше всего в базе. Движение их происходит по диффузионным законам. Поэтому токи эмиттера и коллектора определяются вероятностью, с которой дырки базы оказываются вблизи р-п переходов база-эмиттер и база коллектор, соответственно. Потенциальные барьеры, препятствующие движению основных носителей, не мешают неосновным носителям. Конструкция транзисторов такова, что площадь р-п перехода

База- коллектор значительно больше площади перехода база-эмиттер. Поэтому основной ток протекает в цепи база-коллектор. В германиевых маломощных транзисторах величина этого тока составляет 1-10 мкА.

б) Насыщенное состояние

В усилительном режиме понижение потенциала на базе р-п-р транзистора ведет к увеличению тока базы и, соответственно, к увеличению тока коллектора.

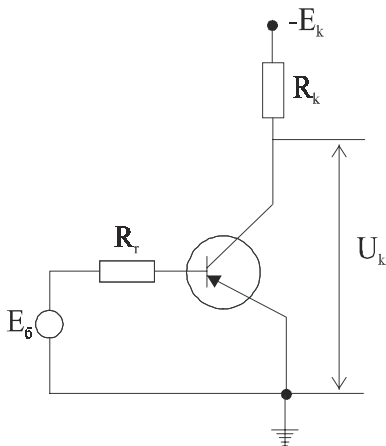


Рис. 3.

При наличии в коллекторной цепи сопротивления нагрузки (рис. 3) увеличение тока коллектора I_k ведет к повышению потенциала на коллекторе U_k , т.к.

$$U_k = -E_k + I_k R_k \quad (1)$$

(здесь $I_k > 0$). Если ток коллектора достаточно велик, то напряжение U_k оказывается близким к нулю. Переход база коллектор открывается и дырки в базу поступают не только из эмиттера, но и из коллектора. В таком режиме, называемом насыщенным, уменьшение потенциала базы не приводит к заметному росту коллекторного тока

(очевидно, что коллекторный ток не может превышать значения E_k/R_k), а лишь увеличивает встречные потоки дырок: один поток идет из эмиттера в базу и далее в коллектор, другой – из коллектора в базу. Количество дырок в базе в этих условиях весьма велико. Электроны базы быстро рекомбинируют. Их недостаток восполняется базовым током. Поэтому, ток базы в насыщенном состоянии также велик. Входные и выходные сопротивления тоже очень малы и на эквивалентных схемах транзистор часто изображают точкой, к которой подведены все три его вывода.

в) Переход от запертого состояния к насыщенному.

Переход от запертого состояния к насыщенному представляет довольно сложный процесс. Удобнее всего его рассмотреть, если считать, что в момент времени $t = 0$ включается постоянный базовый ток. В общем случае ток базы

I_6 (рис. 3) таков:

$$I_6 = \frac{E_6}{R_r + R_{вх}} \quad (2)$$

но при $R_r \gg R_{вх}$

$$I_6 \approx \frac{E_6}{R_r} \quad (3)$$

Таким образом, при постоянном значении E_k и ток базы будет приблизительно постоянным.

В момент времени $t = 0$ в базу начинают поступать дырки из эмиттера и электроны с базового вывода. Количество дырок и электронов практически одинаково и база в целом сохраняет электронейтральность. Так как дыркам нужно некоторое время, чтобы достичь база-коллектор, то при $t = 0$ ток коллектора равен нулю. Носители обоих знаков постепенно накапливаются в базе. Точное решение уравнения диффузии, описывающее движение носителей в базе, дает довольно сложное выражение для тока коллектора, как функции времени. Поэтому обычно используют разного рода аппроксимации этой зависимости. Наиболее простой и вместе с тем наиболее часто употребляемой является аппроксимация такого вида:

$$I_k = I_0 \beta \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_\beta}} \right) \quad (4)$$

Здесь τ_β - некоторая постоянная времени, характеризующая частотные свойства транзистора. Это выражение справедливо до тех пор, пока $I_k < \frac{E_k}{R_k}$.

Как только коллекторный ток достигает указанной величины, транзистор входит в режим насыщения. В результате коллекторный ток перестает меняться, но накопление носителей в базе продолжается, до тех пор, пока их количество не достигнет такой величины, что число рекомбинировавших электронов не будет в точности равно числу электронов поступивших с базового вывода. Можно показать, что суммарный заряд носителей одного знака равен $I_0 \tau_\beta$. Время накопления носителей также определяется τ_β и обычно его считают равным $3\tau_\beta$ (за это время заряд достигает 0,95 своего стационарного значения).

з) Переход от насыщенного состояния к запертому.

Если в момент времени $t=t_n$ напряжение E_0 меняется с отрицательного на положительное, то это не приводит к немедленному изменению тока коллектора. Ток базы меняет свое направление – электроны начинают уходить из базы через базовый вывод, а поступление дырок из эмиттера прекращается. Одновременно, конечно, продолжается и процесс рекомбинации носителей. Но пока дырок в базе достаточно, коллекторный ток практически не меняется.

Только тогда, когда количество дырок уменьшится до величины $\frac{E_k}{R_k \beta \tau_\beta}$, начнется убывание коллекторного тока и через некоторое время он достигает некоторого малого значения, определяемого неосновными носителями базы. Транзистор входит в запертое состояние. Режим, в котором основную часть времени транзистор находится либо в насыщенном, либо в запертом состоянии, называется ключевым.

д) высокочастотные транзисторы.

Транзисторы, изготавливаемые по сплавной технологии, имеют сравнительно толстую базу (20-30 микрон) и носители из эмиттера попадают к переходу база-коллектор только за счет диффузии. Все это обуславливает довольно большую величину τ_β и переход из запертого состояния в насыщенное и обратно совершается долго. Поэтому, в тех случаях, когда нужно обеспечить быстрый переход из одного состояния в другое, используются, так называемые, дрейфовые транзисторы. База у этих транзисторов гораздо тоньше (1-2 микрона), кроме того, распределение примеси неравномерно – примесей больше у границы с эмиттером, чем с коллектором. В результате, в базе существует электрическое поле, вызывающее дрейф носителей, пришедших из эмиттера к коллектору. Отсюда и название – дрейфовые транзисторы.

Технология изготовления дрейфовых транзисторов бывает различной. Одна из них состоит в следующем: исходная пластина германия или кремния является не базой, а коллектором. Для получения р-п-р транзистора на поверхности пластины диффузией из газовой среды наносится слой донорской примеси. Этот слой образует базу и концентрация примесей в базе убывает по мере продвижения внутрь пластины. Когда база готова тем или иным способом (например, распыляя алюминий), на ее поверхность наносят акцепторную примесь – образуется эмиттер.

Сочетание тонкой базы и направленного дрейфа носителей позволяет получить значения τ_{β} в 100 – 1000 раз меньше, чем у сплавленных транзисторов. Из-за такого малого значения τ_{β} в дрейфовых транзисторах становится существенным влияние межэлектродных емкостей, хотя сами по себе и эти емкости гораздо меньше, чем у сплавленных транзисторов (наиболее существенная емкость база-коллектор у сплавленных транзисторов имеет величину порядка 50 пф, а у дрейфовых 2-10 пф).

Из-за высокой концентрации примесей в базе, вблизи эмиттера, р-п переход база эмиттер оказывается очень тонким. Если к этому переходу приложить запирающее напряжение, величиной 2-3 вольта, то он легко пробивается. При наличии достаточно большого сопротивления во внешней цепи, пробой не приводит к разрушению транзистора, однако, возможность его возникновения следует учитывать при построении импульсных схем.

§2 Двухбазовый диод.

Двухбазовый диод (иначе он называется однопереходным транзистором) конструктивно представляет собой пластину или нить из полупроводника, в котором на определенном расстоянии от одного из выводов сформирован точечный эмиттер из полупроводника другого типа. Такое устройство представляет собой полупроводниковый прибор с отрицательным сопротивлением.

Рассмотрим двухбазовый диод п-типа (рис. 4). На пластину однородного

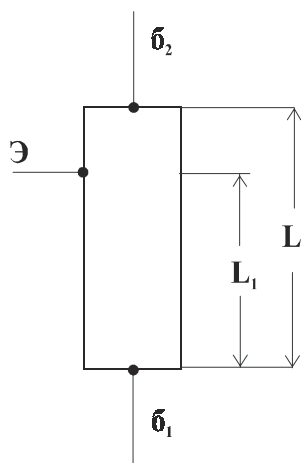


Рис. 4.

Конструкция двухбазового диода.

полупроводника *p*-типа, длиной L между выводами δ_1 и δ_2 подается напряжение питания E . На расстоянии L_1 от базового вывода δ_1 расположен точечный эмиттер \mathcal{E} из полупроводника *r*-типа. Напряжение E , приложенное между выводами базы, равномерно распределено вдоль пластинки, если потенциал эмиттера U_3 ниже потенциала пластины около эмиттера U_{L_1} . В этом случае (потенциал вывода базы δ_1 считается равным нулю, а потенциал вывода базы δ_2 равным $+E$):

$$U_{L_1} = E \frac{L_1}{L} \quad (5)$$

через пластину между выводами δ_1 и δ_2 течет ток:

$$I_0 = \frac{ES}{\rho L} \quad (6)$$

(S - сечение пластины, ρ - удельное сопротивление материала пластины), а через эмиттерный вывод идет только очень небольшой ток – обратный ток запятого *r*-*p* перехода.

Если постепенно увеличивать потенциал эмиттера, то до тех пор, пока $U_3 < U_{L_1}$, ни ток между выводами базы, ни ток эмиттера существенно не меняются. Однако, как только потенциал эмиттера достигнет потенциала U_{L_1} , так *r*-*p* переход откроется, и в пластину из эмиттера начнут поступать дырки. Под действием электрического поля в пластинке дырки будут двигаться к выводу δ_1 . Количество носителей в нижней части пластины возрастет. Ее сопротивление упадет, потенциал U_{L_1} , уменьшится, разность потенциалов $U_3 - U_{L_1}$ увеличится, поток дырок из эмиттера еще более увеличивается. Развивается лавинный процесс, заканчивающийся тем, что потенциал эмиттера падает почти до нуля, а ток между выводами δ_1 и δ_2 резко возрастает, достигая

величины:

$$I_{\max} \approx \frac{ES}{\rho(L - L_1)} \quad (7)$$

Входная вольтамперная характеристика такого прибора имеет такой вид, как изображено на рис. 5. Область характеристики между точками А и В

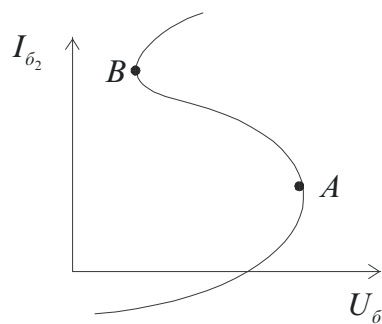


Рис. 5.

Входная вольтамперная характеристика.

имеет отрицательное дифференциальное сопротивление.

Входная характеристика двухбазового диода – это зависимость тока эмиттера от напряжения между эмиттером и выводом базы δ_1 при постоянном напряжении между выводами базы. Выходная характеристика – это зависимость тока, идущего через вывод базы δ_2 , от напряжения между выводами базы при постоянном напряжении на эмиттере или при постоянном токе эмиттера.

Если эмиттер питается от источника с низким выходным сопротивлением, то снять этот участок не удастся. Как только мы, увеличивая напряжение на эмиттере, достигаем точки А, так сразу же наша система перескакивает в состояние выше точки В. При очень малом выходном сопротивлении источника, питающего эмиттер, прибор может совсем выйти из строя. Однако, если эмиттер питается от источника с высоким сопротивлением, то можно снять и участок характеристики между точками А и В.

Хотя двухбазовые диоды и выпускаются промышленностью, но вещь это сравнительно редкая. Поэтому чаще используют не двухбазовый диод, а его эквивалент, собранный на транзисторах. Эта схема так и называется – “эквивалент двухбазового диода” или сокращено ЭДД.

§3. Эквивалент двухбазового диода.

Транзисторный эквивалент двухбазового диода состоит из двух транзисторов, один из которых р-п-р типа, другой п-р-п типа, и делителя напряжения на сопротивлениях. Два варианта схемы ЭДД приведены на рис. 6. Питаются эти схемы от источника разной полярности. В остальном же эти схемы идентичны. Поэтому мы ограничимся рассмотрением схемы, изображенной на рис. 6а.

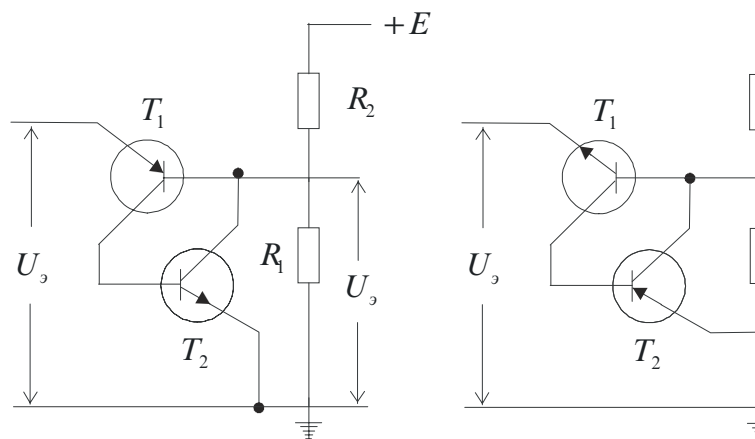


Рис. 6а.

Рис. 6б.

Эквивалент двухбазового диода (ЭДД) на транзисторах.

При выполнении равенства $U_0 > U_0$, где U_0 - напряжение в средней точке делителя без учета влияния транзисторов, транзистор Т1 будет закрыт, так как на его переходе база-эмиттер действует напряжение, повышающее потенциальный барьер. В коллекторной цепи транзистора Т1 протекает лишь ток неосновных носителей I_{k01} . Этот ток усиливается транзистором Т2 и в

коллекторной цепи Т2 протекает ток $\beta_2 I_{k01}$. Напряжение на выходе будет равно:

$$U_{\text{вых}} = \frac{(E - \beta_2 I_{k01} R_2) R_1}{R_1 + R_2} \approx E \frac{R_1}{R_1 + R_2} \quad I_{k01} \ll \frac{E}{\beta_2 R_2} \quad (8)$$

Если постепенно повышать напряжение на эмиттере Т1, то, как только U_3 станет намного больше $U_{\text{вых}} = U_0$, переход база-эмиттер Т1 откроется, возникнет коллекторный ток I_1 , этот ток усиливается транзистором Т2 и напряжение на выходе падает. Это приведет к еще большему открыванию транзистора Т1. При не очень большом сопротивлении источника U_3 разовьется лавинный процесс, в результате которого $U_{\text{вых}}$ падает до напряжения насыщения транзистора Т2, а напряжение на эмиттере Т1 лишь на несколько десятых вольта больше $U_{\text{вых}}$. При большом внутреннем сопротивлении источника U_3 лавинный процесс не развивается и можно снять участок характеристики с отрицательным сопротивлением. Для того чтобы вернуться в исходное состояние, напряжение на эмиттере нужно сделать меньше, чем $U_{\text{вых}}$.

§4. Мультивибратор на ЭДД.

ЭДД может использоваться для построения различных схем. В частности, на нем можно построить мультивибратор с большой скважностью (скважность – это отношение периода повторения мультивибратора к длительности импульса, генерируемого им). Простейшая схема приведена на рис. 7.

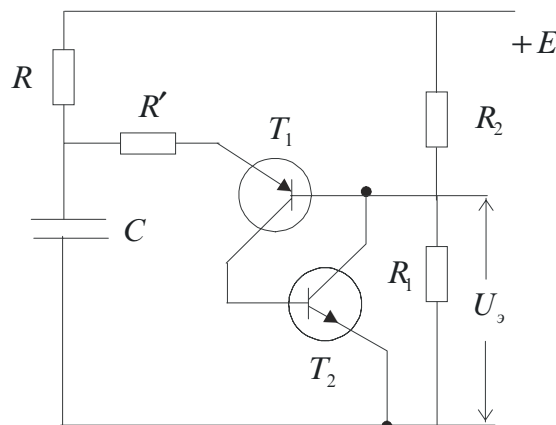


Рис. 7.

Мультивибратор на ЭДД.

Будем считать, что в исходном состоянии конденсатор C разряжен, тогда транзисторы Т1 и Т2 оказываются запертыми. Конденсатор C через сопротивление R будет заряжаться. Когда $U_c = U_3$ достигнет и станет немного больше $U_{\text{вых}}$, развивается лавинный процесс. Транзисторы откроются и конденсатор C будет разряжаться. Ток разряда будет идти через промежутки

Лабораторная работа №55

база-эмиттер транзистора Т1 и по цепи эмиттер Т1 – коллектор Т1 – база Т2 – эмиттер Т2. Сопротивление всех промежутков невелико и скорость разряда определяется, в основном, постоянной переменной времени RC .

Когда конденсатор достаточно разрядится и напряжение на эмиттере Т1 станет меньше выходного напряжения, транзистор Т1 закроется и конденсатор C снова станет заряжаться. При этом напряжение на выходе возрастет не сразу, ибо транзистору Т2 надо некоторое время на выход из насыщения. Возврат к исходному состоянию не имеет характера лавинного процесса, фронт импульса оказывается сравнительно пологим и его длительность, в основном, определяется частотными свойствами транзистора Т2.

§5. Описание макетов.

Макет эквивалента двухбазового диода позволяет снимать зависимость входного тока от входного напряжения $I_{\text{вх}} = f_1(U_{\text{вх}})$, зависимость выходного напряжения от входного $U_{\text{вых}} = f_2(U_{\text{вх}})$, а также использовать его для генерирования импульсов близких по форме к прямоугольным при разных значениях сопротивлений R_1 и R_2 . Схемы макетов выдаются в лаборатории при выполнении работ. Основное отличие макета №1 (ЭДД-1) от макета №2 (ЭДД-2) состоит в том, что макет №1 собран на низкочастотных сплавных транзисторах МП 42В и МП 38В, а макет №2 на высокочастотных транзисторах П 416В и КТ 301В. При снятии вольтамперных характеристик параллельно выходу в макете №2 подключен конденсатор емкостью 0.1 мкф для подавления паразитной генерации.

ЗАДАНИЕ.

1. Включить источник питания.
2. Изменяя напряжение на входе, построить зависимости

$$I_{\text{вх}} = f_1(U_{\text{вх}}) \text{ и } U_{\text{вых}} = f_2(U_{\text{вх}})$$

3. Перевести схему в режим генерации, подключив на вход цепочку RC . Наблюдать импульсы на осциллографе. Измерить длительность импульса, оценить длительность фронтов импульса, измерить период следования импульсов.

ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К ОТЧЕТУ.

Отчет должен содержать зависимости $I_{\text{вх}} = f_1(U_{\text{вх}})$ и $U_{\text{вых}} = f_2(U_{\text{вх}})$ и параметры импульсов, генерируемых мультивибратором.