

Лекция 6. Переходные процессы включения в диодах

Импульсными называют полупроводниковые диоды, используемые в качестве ключевых элементов в схемах при воздействии импульсов малой длительности (микросекунды, доли микросекунд). Вторым элементом обозначения импульсных диодов — буква «Д».

Из-за инерционности электрических процессов переключение импульсного диода из проводящего состояния в непроводящее и обратно происходит не мгновенно, а в течение некоторого времени, причем переходной процесс зависит от амплитуды входного сигнала (уровня инжекции) и внутреннего сопротивления генератора.

При малой амплитуде сигнала (уровень инжекции небольшой) можно процессами накопления и рассасывания носителей зарядов в базе пренебречь и считать, что на переходные процессы в диоде основное влияние оказывает процесс заряда барьерной емкости p - n -перехода. На рис. 3.13 показан график переходного процесса при подключении диода к генератору тока (сопротивление диода значительно больше внутреннего сопротивления генератора).

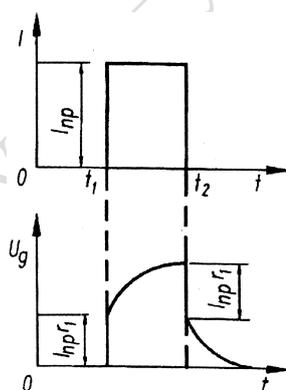


Рис. 3.13. Графики переходного процесса при подключении диода к генератору тока

В момент подачи импульса тока (t_1) сопротивление емкости $C_{зар}$ оказывается значительно меньше сопротивления перехода. Зарядный ток вызывает скачкообразное увеличение напряжения на диоде до $I_{np}r_1$. По мере заряда емкости $C_{зар}$ напряжение на диоде увеличивается. В момент времени t_2 действие импульса прекращается и напряжение на диоде скачком уменьшается на величину $I_{np}r_1$. После этого емкость $C_{зар}$ разряжается.

При подключении диода к генератору напряжения ток (рис. 3.14) в момент времени t_1 проходит максимальный ток заряда емкости $C_{зар}$ ограниченный

сопротивлением базы r_1 . По мере заряда емкости $C_{зар}$ ток уменьшается. В момент t_2 диод переключается с прямого направления на обратное и начинается перезарядка емкости $C_{зар}$. Ток перезаряда в момент t_2 максимален и ограничивается в основном сопротивлением r_1 . По мере перезаряда емкости $C_{зар}$ ток, проходящий через диод, уменьшается, стремясь к стационарному значению обратного тока диода.

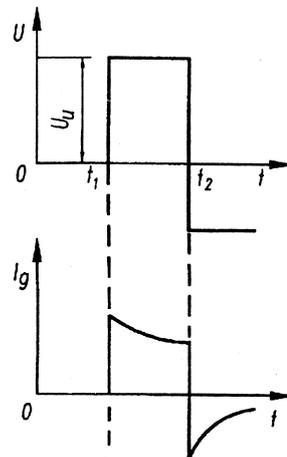


Рис. 3.14. Графики переходного процесса при подключении диода к генератору напряжения

Рассмотрим переходные процессы при высоком уровне инжекции (при больших амплитудах импульсов). Обычно сопротивление нагрузки значительно больше прямого сопротивления диода, и поэтому можно считать, что схема питается от генератора тока с амплитудой импульса тока $I_{пр}$. В момент включения импульса прямого тока сопротивление базы диода определяется равновесной концентрацией носителей заряда. Этому сопротивлению соответствует падение напряжения на диоде $U_{пр.и}$ (рис. 3.15).

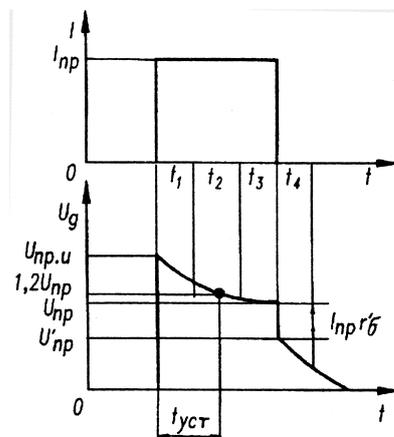


Рис. 3.15. Графики переходного процесса в диоде при высоком уровне инжекции

В результате возникшей инжекции в базе происходит накопление неосновных неравновесных носителей зарядов, снижающих сопротивление базы, что в первую очередь приводит к уменьшению падения напряжения на диоде до установившегося значения $U_{пр}$. Интервал времени от начала импульса до момента, когда напряжение на диоде упадет до $1,2 U_{пр}$, называется временем установления прямого напряжения и обозначается $t_{уст}$. При выключении прямого тока падение напряжения на сопротивлении базы становится равным нулю и напряжение на диоде скачком уменьшается до значения $U'_{пр}$. Напряжение $U'_{пр}$ обусловлено зарядами, накопленными в базе в процессе инжекции, и называется послеинжекционным. По мере рекомбинации концентрация инжектированных носителей уменьшается и напряжение на диоде падает.

Рассмотрим случай, когда диод, через который проходит прямой ток, в момент времени t_0 включается в обратном направлении (рис. 3.16). После переключения в цепи будет проходить обратный ток, величина которого определяется концентрацией неосновных носителей зарядов, возникшая в базе при прямом включении диода, приводит к тому, что после переключения обратный ток значительно превышает свое стационарное значение $I_{обр}$. За счет рекомбинации и экстракции избыточная концентрация неосновных зарядов в базе уменьшается. Распределение зарядов для этого случая показано на рис. 3.17.

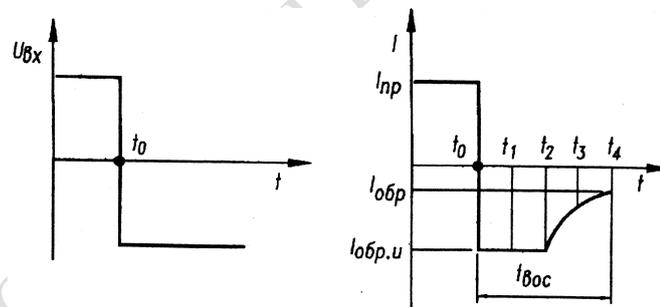


Рис. 3.16. Графики переходных процессов при переключении диода

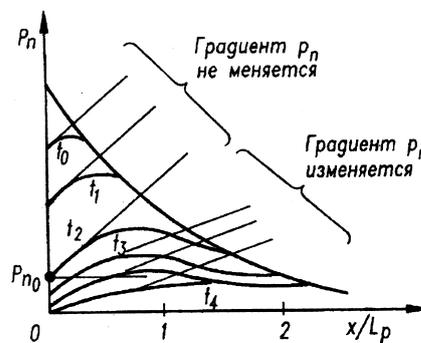


Рис. 3.17. График изменения концентрации носителей в базе при переключении диода

Значение обратного тока $I_{обр}$ сохраняется до тех пор, пока градиент концентрации избыточных носителей в базе у границы $p-n$ -перехода постоянен (кривые для t_0 , t_1 , t_2 на рис. 3.17). Когда избыточный заряд становится равным нулю, градиент концентрации начинает уменьшаться и обратный ток спадает до своего стационарного значения $I_{обр}$.

Промежуток времени от момента, когда ток, проходящий через диод, равен нулю, до момента достижения обратным током заданного низкого значения называется временем восстановления обратного сопротивления и обозначается $t_{вос}$.

Время установления прямого напряжения и время восстановления обратного сопротивления определяют быстродействие диода, поэтому их стремятся уменьшить различными технологическими способами.

В качестве импульсных успешно используются точечные и микросплавные диоды, быстродействие которых увеличивается путем подбора легирующей примеси, уменьшающей время жизни неосновных носителей. Такой примесью к полупроводнику n -типа может быть, например, золото.

Другим способом уменьшения времени $t_{вос}$ является использование базы с неравномерной концентрацией примеси. У таких диодов концентрация примеси в базе при приближении к $p-n$ -переходу уменьшается, поэтому неравномерной оказывается и концентрация основных носителей — электронов. За счет этого электроны диффундируют в сторону $p-n$ -перехода, оставляя вдали от него нескомпенсированный заряд положительных ионов. Это приводит к возникновению в базе электрического поля, направленного в сторону перехода. Под действием этого поля дырки, инжектированные в базу при включении диода в прямом направлении, концентрируются (накапливаются) у границы $p-n$ -перехода. Поэтому такие диоды называют диодами с накоплением заряда.

При переключении диода с прямого направления на обратное эти дырки под действием поля $p-n$ -перехода быстро уходят из базы в эмиттер, и время восстановления обратного сопротивления уменьшается. Для изготовления таких диодов широко используется мезо- и эпитаксиальная технология.

Еще большим быстродействием обладают диоды с барьером Шоттки, возникающим на границе металл-полупроводник. В отличие от $p-n$ -переходов перенос заряда в таких структурах осуществляется основными носителями. В них отсутствует инжекция и накопление зарядов при обратном включении. Инерционность диодов Шоттки в основном определяется емкостью выпрямляющего контакта, которая может быть меньше 0,01 пФ.

Иногда вместо $t_{вос}$ в справочниках приводя заряд переключения $Q_{пк}$, являющийся частью накопленного заряда, вытекающего во внешнюю цепь диода при изменении направления тока с прямого на обратное.

Внешнее оформление импульсных диодов мало отличается от оформления универсальных диодов.