

## ОБРАТНЫЕ ТОКИ ИЗОЛИРОВАННЫХ ПЕРЕХОДОВ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ СТАБИЛЬНОСТИ МАЛОМОЩНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ

В. А. ДОБРУСКИН

(Представлена научно-техническим семинаром НИИ АЭМ)

Стабильность работы транзисторных пороговых устройств в значительной степени определяется стабильностью свойств транзисторов. Критерием качества и стабильности свойств транзистора являются обратные токи изолированных коллекторного и эмиттерного переходов  $I_{ко}$  и  $I_{эо}$ .

Идеализированное уравнение вольт-амперной характеристики (ВАХ) р—п-перехода имеет вид

$$I = I_0(e^{U/\varphi} - 1), \quad (1)$$

где  $U$  — напряжение на переходе,

$\varphi$  — температурный потенциал ( $\varphi = 0,025$  в при температуре 300°K).

Из (1) следует, что ток через обратно смещенный переход достигает значения  $I_0$  уже при  $U = 0,1—0,2$  в. С дальнейшим ростом напряжения этот ток равен  $I_0$  и не зависит от величины напряжения. Определенный по ВАХ ток является объемным (температурным) током перехода.

В реальных транзисторах, кроме объемной, существует поверхностная составляющая обратного тока перехода (ток утечки  $I_y$ ). Увеличение обратного тока перехода из-за поверхностной проводимости носит канальный или ионный характер.

При канальной проводимости влага и примеси создают на поверхности базы пространственные заряды, которые как бы увеличивают площадь перехода. Образуется дополнительный канал, через который увеличивается ток неосновных носителей  $I_0$ . ВАХ канальной составляющей имеет вид [1]

$$I_{ку} = \sqrt{\frac{2I_0}{s_B} \ln 2 \cdot U}, \quad (2)$$

где  $I_{ку}$  — канальная составляющая тока утечки,

$s_B$  — постоянная, зависящая от влажности.

$I_{ку}$  как и температурный ток зависит от полярности напряжения на переходе.  $I_{ку}$  делает обратный ток зависимым от величины напряжения на переходе.

При ионной проводимости влага и примеси создают утечку по поверхности, сопротивление которой становится сравнимым с сопротивлением обратно смещенного, а иногда и прямо смещенного перехода. Ион-



ная составляющая  $I_y$  эквивалентна току через сопротивление, шунтирующее переход. При этом  $I_y$  пропорционален напряжению на переходе и не зависит от его полярности.

Для выяснения причин отличий в стабильности уровней переключения полупроводниковых реле на различных типах транзисторов были экспериментально определены ВАХ обратного смещенного перехода транзисторов МП16Б, П416Б, 1Т321В, МП104. ВАХ наиболее типичных образцов транзисторов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Тип транзистора	$I_{э0}$ , мка, при $V_{эб.обр}, в$				
	0,25	0,5	1,0	1,5	5,0
МП16Б	2,00	2,00	2,00	2,00	2,02
П416Б	0,08	0,09	0,11	0,14	—
1Т321В	2,80	2,90	3,12	3,25	—
МП104 после хранения	0	0	0	0	0

Наибольшая нестабильность в процессе непрерывной работы уровней переключения была обнаружена в реле на транзисторах МП104. Для исследования причин последние были подвергнуты токовой тренировке ( $I_k = 18 ма$ ,  $I_б = 2 ма$  в течение 20 час).

На рис. 1 приведены ВАХ тех транзисторов МП104, у которых в процессе тренировки  $I_{э0}$  возрос до 2—6 мка. У них  $I_{э0}$  достигает установившегося значения при 4—6 в, что свидетельствует о наличии токов утечки, во много раз превышающих температурный ток перехода. Нелинейная зависимость  $I_{э0}$  от  $U_{эб.обр}$  свидетельствует

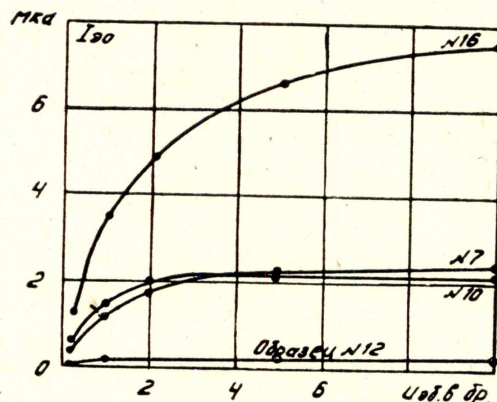


Рис. 1

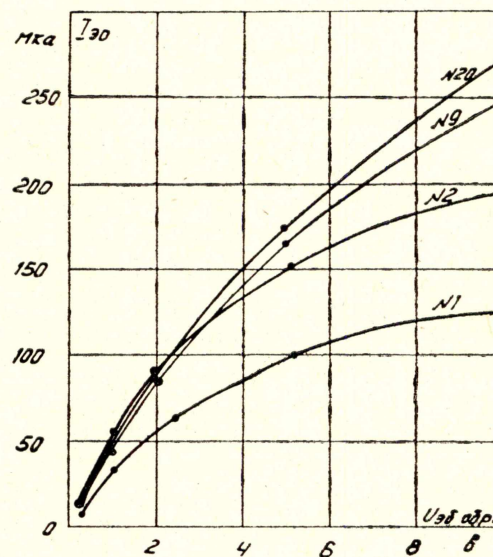


Рис. 2

ует о наличии у них канальной составляющей тока утечки.

На рис. 2 приведены ВАХ тех транзисторов МП104, у которых в процессе тренировки  $I_{э0}$  резко увеличился. У них  $I_{э0}$  изменяется во всем диапазоне изменения напряжения. Линейная в широком диапазоне напряжений ВАХ свидетельствует о наличии значительной ионной составляющей тока утечки.



Влияние предшествующего состояния транзисторов МП104 на ВАХ эмиттерного перехода иллюстрируется результатами испытаний одного из транзисторов МП104 (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Последовательные состояния транзисторов, при которых производились измерения	$I_{э0}$ , мкА, при $V$ эб. обр, в				
	0,5	1,0	2,0	5,0	10,0
После тренировки при +20°C	13	45	88	164	245
Температура +60°C	10	36	62	126	183
Температура +100°C	10	28	50	87	108
Температура +120°C	2,5	6	10	11	13
Охлаждение до +20°C	1	1	1	1	1
Повторная тренировка при +20°C	11	41	75	145	210

У испытанных экземпляров транзисторов отсутствует типичная для полупроводников температурная зависимость  $I_{э0}$ , которая является показателем качества транзисторов. После многократных тренировок значения  $I_{э0}$  у транзисторов, как правило, не повторяются.

Аналогичные результаты получены и для  $I_{к0}$ .

### Выводы

1. При проектировании схем пороговых устройств необходимо избегать применения транзисторов с повышенными и зависимыми от напряжения (при  $U \geq 0,2-0,5$  в) обратными токами изолированных переходов.

2. При применении таких транзисторов надлежит учитывать шунтирующее действие ионной составляющей тока утечки, которая существенно изменяет режим работы схемы и является источником неустойчивости параметров устройства.

3. Надежной гарантией отсутствия ионной составляющей тока утечки является нормирование в технических условиях на транзисторы обратных токов изолированных переходов (или одного из них) в нормальных условиях и при максимальной температуре окружающей среды. Причем обратные токи переходов в нормальных условиях не должны существенно отличаться от значений, вычисленных по токам при максимальной температуре с учетом теоретической температурной зависимости обратного тока перехода (снижение  $I_0$  вдвое на каждые 9—12°C для германиевых транзисторов и на каждые 6—8,5°C для кремниевых транзисторов).

### ЛИТЕРАТУРА

И. Ф. Николаевский. Эксплуатационные параметры и особенности применения транзисторов. Связьиздат, 1963.