

К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ КРЕМНИЕВЫХ СТАБИЛИТРОНОВ В СХЕМАХ ОГРАНИЧЕНИЯ

Г. И. ЗАЙДМАН, С. А. ЗАЙДМАН

(Представлена научно-техническим семинаром кафедры радиотехники)

В измерительной и импульсной технике для ограничения импульсов используются нелинейные элементы, имеющие резкий излом вольт-амперной характеристики.

Среди известных характеристик элементов, используемых в целях ограничения (электривакуумный диод, триод, полупроводниковый диод, триод, термосопротивления и др.), значительный интерес представляет обратная ветвь кремниевых стабилитронов.

В литературе нами не обнаружены количественные данные по вольт-амперной характеристике стабилитронов в области изгиба и изменений ее с температурой именно в этой области. В данной работе проводятся некоторые экспериментальные исследования по затронутому вопросу.

Измерительная аппаратура и методика измерений вольт-амперных характеристик

Нами были исследованы наиболее распространенные в схемах ограничения стабилитроны типа Д-808, Д-810, Д-811, Д-813, а также отечественные температурно-скомпенсированные стабилитроны типа Д-818Е.

Для количественной оценки хода излома обратных ветвей стабилитронов использовалась специальная собранная измерительная схема, представленная на рис. 1.

В качестве источника питания был применен стабилизированный электронный выпрямитель ВС-12. К выпрямителю подключался параметрический стабилизатор напряжения на сопротивлениях R_3 и R_4 и стабилитроне типа Д-813. Величина напряжений пульсаций на выходе параметрического стабилизатора напряжений составляла примерно 0,2 мВ.

Напряжение на стабилитроне вычислялось как

$$U_{ст} = U_{вх} - U_{R_5},$$

где

$U_{вх}$ — напряжение на делителе,

U_{R_5} — напряжение на образцовом сопротивлении R_5 .

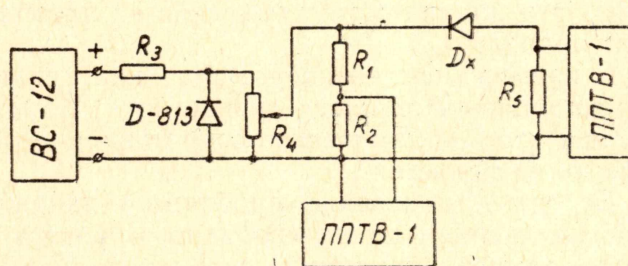


Рис. 1

При измерениях с целью исключения нестабильности источника питания (параметрический стабилизатор напряжения) производился одновременный отсчет напряжения с сопротивлений R_2 и R_5 с помощью потенциометров типа ППТВ-1. Чтобы исключить методическую ошибку, которая может возникнуть при использовании двух нормальных элементов, как опорных источников напряжений, для установления рабочего тока каждого потенциометра, использовался только один насыщенный нормальный элемент. Для исследования температурного хода начального участка обратной ветви стабилитрона использовался термостат №3. На рис. 2 температурный ход изгиба вольт-амперной характеристики стабилитронов показан штрих-пунктиром.

Из рис. 2, (кривая 1) видно, что наиболее резкий излом обратной ветви вольт-амперной характеристики соответствует стабилитронам

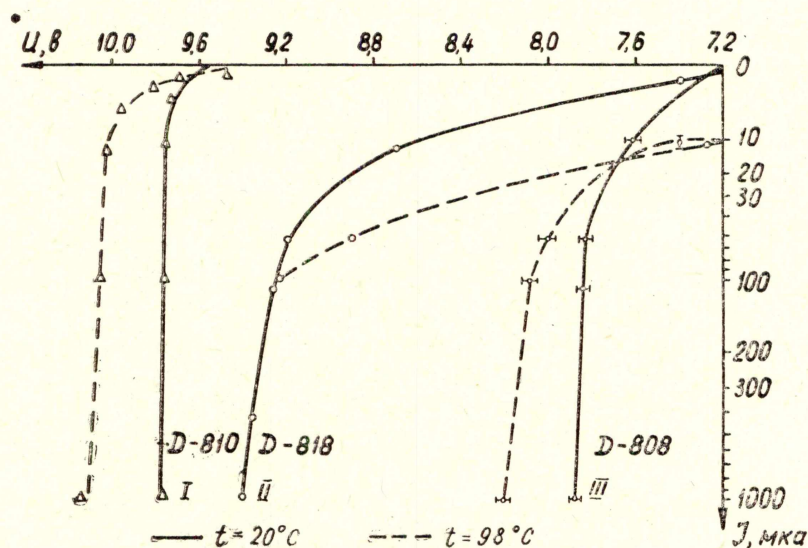


Рис. 2

Д-810. Это, по-видимому, объясняется преобладанием лавинного характера пробоя.

С повышением температуры, как видно из рис. 2, обратный ток в предпробивной области возрастает. Изменяется и напряжение пробоя, при этом динамическое сопротивление обратной ветви стабилитрона почти не меняется.

Вероятно, изменение пробивного напряжения с температурой вызвано изменением длины свободного пробега носителей заряда. С повышением температуры длина свободного пробега уменьшается.

Для того, чтобы при меньшей длине свободного пробега носитель приобрел энергию, достаточную для ионизации валентных связей, поле в переходе должно иметь большую величину. Следовательно, напряжение пробоя будет возрастать с ростом температуры [1].

Параллельный ход обратных ветвей вольт-амперных характеристик стабилитронов с ростом температуры можно объяснить следующим образом. По-видимому, увеличение ширины $p-n$ -перехода, обусловленное большим обратным напряжением с ростом температуры, приводит к уменьшению толщины базы. Поэтому, хотя и число свободных носителей заряда в базе с температурой возрастает, динамическое сопротивление обратной ветви стабилитрона меняется слабо (см. рис. 2, кривая 1).

Специально проведенные исследования показали, что отбракованные стабилитроны одного типа по напряжению пробоя при одном и том же рабочем токе имеют различное значение динамического сопротивления. Это объясняется наличием разброса параметров при их изготовлении.

На рис. 2 (кривая III) представлена обратная ветвь стабилитрона типа Д-808 при двух различных температурах. Видно, что напряжение пробоя в области изгиба при различных температурах носит не резко выраженный характер, вследствие чего динамическое сопротивление не меняется скачком. С повышением температуры угол наклона обратной ветви стабилитрона в области изгиба уменьшается. У стабилитронов типа Д-808 в отличие от стабилитронов типа Д-810—Д-813 с ростом температуры увеличивается динамическое сопротивление.

Исследование отечественных температурно-скомпенсированных стабилитронов Д-818 (рис. 2, кривая II) показало, что предпробивные участки и начало обратной ветви стабилитронов подвержены сильному температурному воздействию. Это объясняется тем, что для температурной компенсации положительного коэффициента напряжения ТКН используются кремниевые диоды, включенные встречно-последовательно с кремниевым стабилитроном. Как видно из рис. 2 (кривая II), термокомпенсированные стабилитроны также не имеют явно выраженного перехода в области пробоя. Динамическое сопротивление на этом участке повышено. Это объясняется тем, что прямая ветвь компенсирующего кремниевого диода, включенного последовательно со стабилитроном, имеет довольно большой пологий участок.

Исследуя экспериментально прямую ветвь нескомпенсированных стабилитронов, в частности, стабилитрона типа Д-811, было получено, что вольт-амперная характеристика имеет различный вид в зависимости от уровня инъеции.

Как известно, в общем случае

$$I_{пр} = I_s (e^{\frac{qV}{m k T}} - 1),$$

где m — число, определяемое как уровнем инъеции, так и структурой полупроводника. В нашем случае оказалось, что для очень малых токов $m = 2,56$, для токов средней величины $m = 1$ и, наконец, для больших токов $m = 1,6$. Следовательно, вид вольт-амперной характеристики меняется с ростом тока.

Собственные шумы стабилитронов

При использовании стабилитронов в измерительных схемах в качестве ограничителей амплитуды весьма важно учитывать собственные шумы.

В тех случаях, когда токи отсеченной части импульса (ограничение сверху) измеряются десятками или сотнями микроампер, собственные шумы стабилитронов приводят к сильному искажению формы ограниченного импульса. Поэтому учет амплитуды шумов чрезвычайно важен.

Экспериментальное исследование шумов проводилось нами по схеме, представленной на рис. 3. В качестве источника питания использовался электронный стабилизатор напряжения с амплитудой пульсации менее 0,3 мВ. Постоянное напряжение, по величине равное напряжению

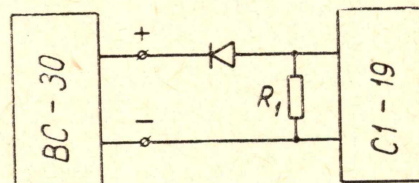


Рис. 3

пробоя, подавалось на цепь: исследуемый стабилитрон — сопротивление R_1 . Как показали измерения, проведенные с помощью осциллографа С1-19, шумы стабилитронов имеют белый спектр, причем их амплитуда непостоянна. Так, например, для стабилитронов типа Д-810 шумы появляются при токах через стабилитрон порядка 35—40 $\mu\text{ка}$ и достигают максимального значения при токах 120—130 $\mu\text{ка}$, затем амплитуда шумов падает. При токах через стабилитрон в несколько миллиампер шумы практически не наблюдаются. Было замечено, что амплитуда шумов стабилитронов понижается с уменьшением напряжения пробоя.

Выводы

1. Анализируя экспериментальные результаты, можно сказать следующее: что наиболее резкий излом обратных характеристик наблюдается у стабилитронов типа Д-810, Д-811.

2. Динамическое сопротивление и напряжение пробоя переходных участков вольт-амперных характеристик температурно-скомпенсированных стабилитронов изменяются с температурой.

3. При использовании стабилитронов в измерительных схемах в качестве ограничителей амплитуды следует учитывать их собственные шумы.

4. Отбраковка стабилитронов по напряжению пробоя не дает однозначного ответа о равенстве их динамических сопротивлений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Я. А. Федотов. Основы физики полупроводниковых приборов. «Советское радио», 1963, стр. 148.
-