



### 1.11.1. СТАБИЛИТРОНЫ И СТАБИСТОРЫ

Источники опорного напряжения на стабилитронах компактны, дешевы, достаточно широко распространены. Стабилитроны выпускаются на целый ряд значений напряжений – от 2 – 2,5 В до 200 В с допустимой мощностью рассеивания от долей ватта до 50 Вт и допуском на напряжение стабилизации от 1 до 20%. ВАХ стабилитрона представлена на рис. 1.8.1.

При построении стабилитронных источников ОН необходимо иметь в виду:

- стабилитроны имеют конечный набор значений напряжения стабилизации и большой допуск на это напряжение (разумеется, кроме дорогих прецизионных приборов);
- стабилитроны создают значительный шум;
- напряжение стабилизации зависит от величины обратного тока стабилитрона (тока стабилизации) и температуры.

Стабилитрон (диод Зенера) – это полупроводниковый диод, функционирующий при обратном смещении в режиме пробоя. Пробой р-п-перехода, при котором работают стабилитроны, может быть лавинным или туннельным. Они являются электрическими и носят обратимый характер. То есть при отключении обратного смещения физико-химические свойства полупроводников восстанавливаются, и диод продолжает исполнять свои функции. График вольтамперной характеристики стабилитрона приведен на рисунке 1.11.1. Однако в случае стабилитронов условия возникновения пробоя создаются и поддерживаются искусственно. Лавинный и туннельный пробой – квантовые эффекты, наблюдаемые в кристаллической структуре полупроводника при возбуждении. При разной природе и механизмах данных процессов их последствия одинаковы – электроны приобретают энергию, достаточную для прохождения через р-п-переход. Возникает пробой, и через диод начинает протекать обратный ток. Именно в этом режиме и работает стабилитрон. Стабилитроны, функционирующие при лавинном пробое, при напряжении свыше 7 Вольт. В элементах, рассчитанных на напряжение стабилизации 3-7 Вольт, используется туннельный пробой. Для стабилизации более низких разностей потенциалов применяются стабисторы, в которых для стабилизации напряжений ниже 3В используют прямое смещение. В сильно легированном р-п-переходе дырки и электроны рекомбинируют таким образом, что



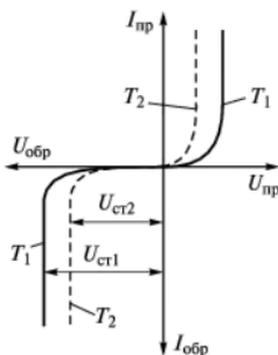
при значительном прямом токе наблюдается эффект стабилизации выходного напряжения на уровне 2,5-3 Вольт.

Основные параметры стабилизаторов:

- напряжение стабилизации;
- ток стабилизации;
- разброс напряжения стабилизации;
- температурный коэффициент напряжения стабилизации;
- временная нестабильность напряжения стабилизации;
- дифференциальное сопротивление;
- минимальный ток стабилизации;
- максимальный ток стабилизации;
- рассеиваемая мощность;
- максимально-допустимая температура корпуса;
- максимально-допустимая температура перехода.

Из рис.1.11.2 видно, что стабилизаторы со значениями  $U_{ст}$ , находящимися в окрестности значения 6 В, обладают значительно меньшим дифференциальным сопротивлением, по сравнению с приборами на другие значения напряжения стабилизации.

Следует также отметить, что температурный коэффициент напряжения стабилизации стабилизаторов зависит как от напряжения стабилизации, так и от величины обратного тока (рис.1.8.3). Как видно из рис.1.11.4, изменяя значения обратного тока стабилизатора можно в определенных пределах «подстроить температурный коэффициент» и строить источники ОН практически нечувствительные к температуре (конечно применяя дополнительные диоды или стабилизаторы, включенные в прямом смещении, рис.1.11.5). Значение напряжения стабилизации  $U_{ст}$  у различных типов стабилизаторов находится в пределах от десятых долей вольта до нескольких сотен вольт при токах стабилизации от долей миллиампера до единиц ампера.



**Рис. 1.11.1.** Изменение ВАХ стабилитрона при изменении температуры перехода ( $T_1 > T_2$ )

Одной из основных характеристик стабилитрона является его температурный коэффициент напряжения (ТКН)  $\alpha_n$ , %/°C. На рис. 1.11.1. показано смещение ВАХ стабилитрона при изменении температуры. При прямом токе (первый квадрант ВАХ) повышение температуры p-n-перехода от  $T_1$ , до  $T_2$ . приводит к смещению ВАХ и снижению падения напряжения от  $U_{пр1}$  до  $U_{пр2}$ . В этом случае абсолютный температурный коэффициент напряжения, мВ/°C, отрицателен:

$$\alpha_{абс} = \frac{U_{пр1} - U_{пр2}}{T_1 - T_2}.$$

Относительный ТКН, %/°C, равен:

$$\alpha_{отн} = \frac{U_{пр1} - U_{пр2}}{T_1 - T_2} \cdot 100.$$

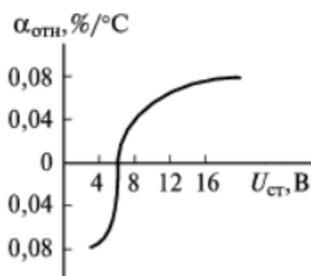
При обратном токе имеем:

$$\alpha_{абс} = \frac{U_{ст1} - U_{ст2}}{T_1 - T_2};$$

$$\alpha_{отн} = \frac{U_{ст1} - U_{ст2}}{T_1 - T_2} \cdot 100.$$



Характерная зависимость относительного ТКН от напряжения стабилизации приведена на рис. 1.11.2. Для стабилитронов со значением  $U_{ст} = 2,4...5,6$  В ТКН имеет отрицательное значение, а для значений  $U_{ст} > 6$  В ТКН имеет положительное значение. При значении  $U_{ст}$  около 6 В ТКН имеет переменный знак. Положительные значения ТКН при напряжении свыше 6 В объясняются особенностями пробоя р-п-перехода при ударной ионизации. С повышением температуры подвижность неосновных носителей в области р-п-перехода уменьшается, в связи с чем, для поддержания ударной ионизации требуется повышение напряженности электрического поля.

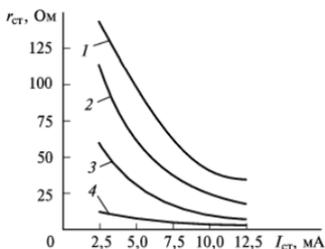


**Рис. 1.11.2.** Зависимость относительного ТКН от напряжения стабилизации

Другой важной характеристикой стабилитрона является дифференциальное сопротивление, Ом, которое можно определить из выражения:

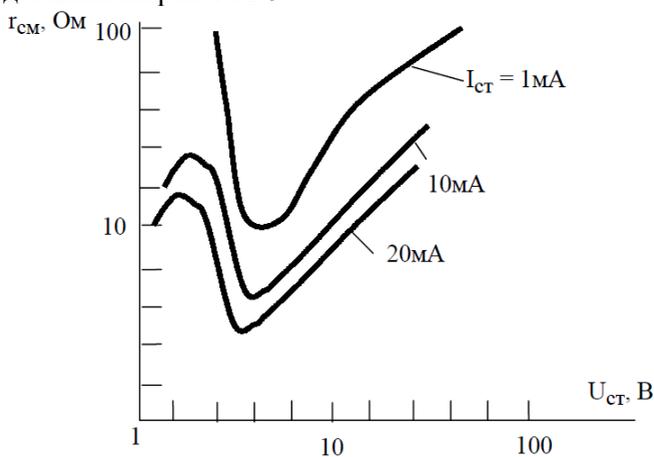
$$r_{ст} = \frac{U_{ст1} - U_{ст2}}{I_{ст1} - I_{ст2}}$$

Для различных типов стабилитронов характер изменения дифференциального сопротивления от тока различен. На рис. 1.11.3 приведены зависимости дифференциального сопротивления от тока для некоторых типов стабилитронов при  $T = -60^{\circ}\text{C}$ .



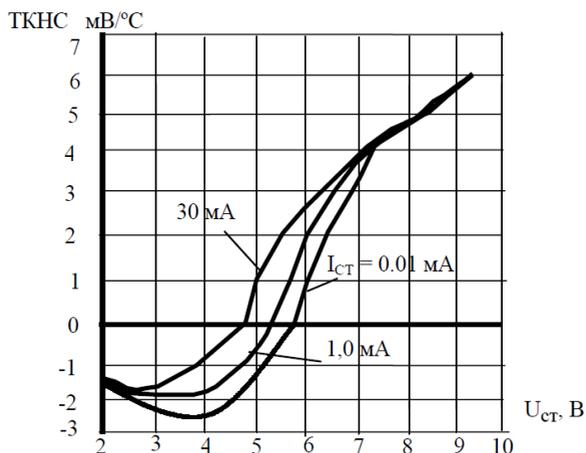
**Рис. 1.11.3.** Зависимости дифференциального сопротивления от тока для различных типов стабилизаторов: 1 – 2С1133А; 2 – 2С147А; 3 – 2С156А; 4 – 2С168А [17]

**Задание тока стабилизации.** Установление и поддержание значения тока стабилизации на постоянном уровне значительно улучшает параметры источника ОН. Так, например, для стабилизатора общего назначения 1N821A ( $U_{ст} = 6,2 \text{ В} \pm 5\%$ ,  $r_{ст} = 15 \text{ Ом}$  при  $I_{ст} = 7,5 \text{ мА}$ ) изменение тока на  $1 \text{ мА}$  изменяет  $U_{ст}$  примерно в три раза сильнее, чем изменение температуры от  $-40$  до  $+1000^\circ\text{С}$ . Поэтому для обратного смещения стабилизаторов прецизионных ИОН используют источники стабильного тока. Зависимость дифференциального сопротивления стабилизаторов от напряжения стабилизации представлена на рис. 1.11.4 не линейна и зависимость температурного коэффициента напряжения стабилизации стабилизаторов от напряжения стабилизации и тока стабилизации, один из примеров представлен на рис.1.11.5.





**Рис. 1.11.4.** Зависимость дифференциального сопротивления стабилитронов от напряжения стабилизации [1]



**Рис. 1.11.5.** Зависимость температурного коэффициента напряжения стабилизации стабилитронов от напряжения стабилизации и тока стабилизации [1]

Напряжение стабилизации стабилитронов лежит в диапазоне от 0,72 до 2,16 В в зависимости от материала: кремний или селен (рис.1.11.6). Современная тенденция развития ИП такова, что они строятся в основном с применением интегральных микросхем, а доля дискретных активных элементов в них постоянно уменьшается. Еще в 1967 была разработана микросхема линейного интегрального стабилизатора  $\mu$  А723, представляющая собой настоящий блок питания. Микросхема 723 содержит температурно-компенсированный источник опорного напряжения, дифференциальный усилитель, последовательно включенный проходной транзистор и схему защиты, обеспечивающую ограничение выходного тока. Современные стабилизаторы имеют лучшие электрические параметры, имеют широкий спектр функциональных возможностей, но построены на тех же принципах, что и  $\mu$ А723. Например, выходное напряжение недорогой отечественной микросхемы КР142ЕН12А может изменяться в пределах от +1,25 до +36 В с током нагрузки до 1,5 А

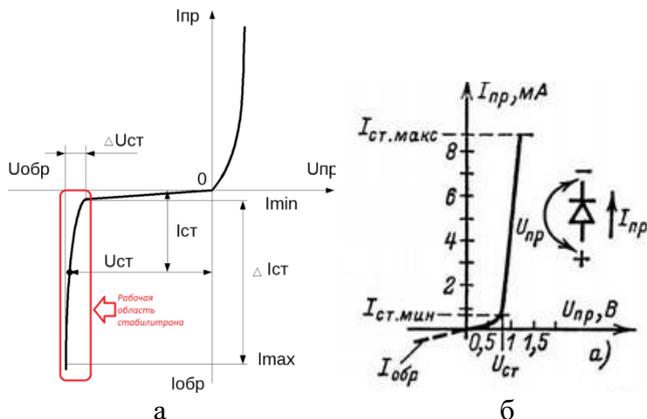


Рис. 1.11.6. ВАХ: а – стабилятора, б - стабистора

Стабилизаторные ИМС в основном двух выводные устройства, применяемые, так же, как и обычные стабилизаторы. Они в схемотехническом плане сложные устройства, содержащие кроме собственно стабилизатора целый ряд активных и пассивных компонентов, служащих для улучшения электрических параметров и характеристик (наиболее существенная из которых - постоянство напряжения стабилизации при заданном токе см. рис. 1.11.7). Температурная стабильность таких ИМС очень высокая. Так для ИМС 1009ЕН1 температурный коэффициент напряжения стабилизации составляет примерно 0,006% / 0С.

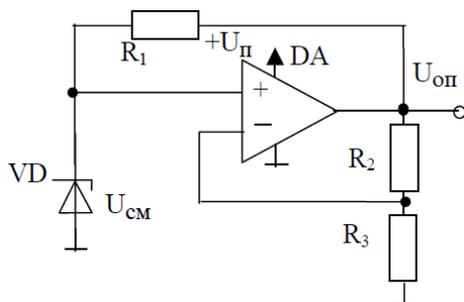
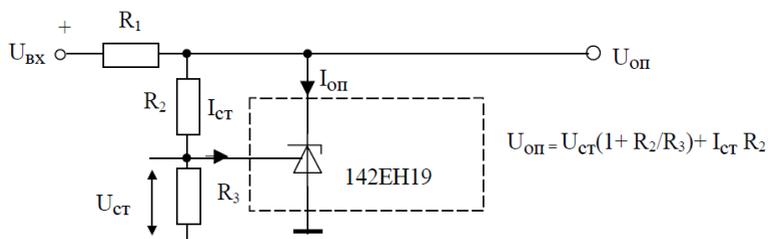


Рис.1.11.7. Стабилизация тока обратного смещения стабилизатора в источнике опорного напряжения.



**Рис. 1.11.8.** Регулирование опорного напряжения в схеме с трехвыводным интегральным ИОН.

Наряду с двухвыводными стабилизаторами ИМС выпускаются трехвыводные микросхемы. Благодаря третьему дополнительному выводу, появляется возможность изменения напряжения стабилизации. Так, например, регулируемый прецизионный отечественный стабилизатор 142EH19 имеет напряжение стабилизации, изменяемое в интервале от 2,5 до 36 В. Регулировка напряжения осуществляется с помощью внешнего резистивного делителя (рис.1.11.8), который образуют резисторы R2 и R3.