

Лабораторная работа № 2 Полупроводниковый стабилизатор напряжения

Цель: изучение работы диодного и транзисторного стабилизаторов и их характеристик и параметров.

Напряжения источников питания радиоэлектронной аппаратуры всегда в большей или меньшей степени не постоянны. Напряжения гальванических и аккумуляторных батарей снижаются по мере их разряда; колеблется величина напряжения, поступающего на аппаратуру из электросети. Увеличение и уменьшение величины тока, потребляемого аппаратурой от источника электропитания, также ведет к изменениям напряжения на его зажимах, причем эти изменения тем значительнее, чем больше внутреннее (выходное) сопротивление источника. Вместе с тем для нормальной работы аппаратуры зачастую требуются напряжения более стабильные, чем могут обеспечить обычные источники тока.

Улучшения устойчивости величины питающего напряжения достигают, применяя стабилизаторы напряжения. При питании аппаратуры с транзисторами используют преимущественно полупроводниковые стабилизаторы, которые характеризуются малыми размерами, массой и большим сроком службы, постоянной готовностью к действию, малым сопротивлением, а стабилизаторы с транзисторами, помимо того, высоким КПД (до 60-70%). Транзисторы и стабилизаторы применяют также в аппаратуре с электронными лампами; в устройствах промышленной электроники и для других целей.

При использовании полупроводниковых стабилизаторов постоянного напряжения в устройствах с питанием от электросетей переменного тока стабилизаторы одновременно способствуют сглаживанию пульсаций выпрямленных напряжений.

Стабилизаторы напряжения характеризуются нижеследующими параметрами:

ВЫХОДНОЙ ТОК: $I_{\text{вых}}$ - ток от стабилизатора в нагрузку. Стабилизатор может быть рассчитан на постоянную ($I_{\text{вых}} = \text{const}$) либо на переменную нагрузку; в последнем случае параметрами стабилизатора являются максимальное $I_{\text{вых max}}$ и минимальное $I_{\text{вых min}}$ значения тока нагрузки (в частном случае $I_{\text{вых min}} = 0$).

ВХОДНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ: U_{ex} стабилизатора: нормальное U_{ex} , максимальное $U_{\text{ex max}}$ и минимальное $U_{\text{ex min}}$ - значения напряжения, поступающего на стабилизатор от источника его питания.

Кроме того, стабилизатор можно характеризовать допустимыми отклонениями величины выходного напряжения в сторону увеличения $\delta_{\text{в}}$ и в сторону уменьшения $\delta_{\text{н}}$; отклонения эти выражают в виде десятичных дробей (или в процентах). При этом имеет место следующие соотношения:

$$U_{\text{ex max}} = U_{\text{ex}}(1 + \delta_{\text{в}}), \quad U_{\text{ex min}} = U_{\text{ex}}(1 - \delta_{\text{н}}),$$

соответственно

$$\delta_{\text{в}} = \frac{U_{\text{ex max}}}{U_{\text{ex}}} - 1, \quad \delta_{\text{н}} = 1 - \frac{U_{\text{ex min}}}{U_{\text{ex}}}$$

КОЭФФИЦИЕНТ СТАБИЛИЗАЦИИ: $K_{\text{ст}}$ - (основной параметр, характеризующий стабилизатор напряжения) показывает, во сколько раз изменения напряжения на нагрузке стабилизатора, меньше изменений напряжения источника питания. Определяется $K_{\text{ст}}$ путем деления величины относительного приращения напряжения на входе стабилизатора на

величину относительного приращения напряжения на выходе стабилизатора при неизменном токе нагрузки, т.е.

$$K_{cm} = \frac{\Delta U_{\text{вх}} / U_{\text{вх}}}{\Delta U_{\text{вых}} / U_{\text{вых}}}.$$

ВЫХОДНОЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ СТАБИЛИЗАТОРА:
 $Z_{\text{вых}}$ - параметр, характеризующий степень постоянства выходного напряжения стабилизатора при изменениях тока нагрузки; определяется как соотношение величины, на которую понижается (повышается) напряжение на выходе стабилизатора, к вызвавшему это изменение увеличению (уменьшению) тока, идущего от стабилизатора на нагрузку, т.е.

$$Z_{\text{вых}} = \frac{\Delta U_{\text{вых}}}{\Delta I_{\text{вых}}}.$$

КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ СТАБИЛИЗАТОРА η - отношение мощности, потребляемой нагрузкой ($U_{\text{вых}} I_{\text{вых}}$), к мощности, поступающей на вход стабилизатора ($U_{\text{вх}} I_{\text{вх}}$) от источника питания.

ДИОДНЫЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ СТАБИЛИЗАТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ.

Простейший стабилизатор постоянного напряжения представляет собой делитель напряжения, состоящий из двух сопротивлений, одно из которых является резистором с практически линейной вольтамперной характеристикой, а другие с нелинейной, в качестве последнего используется полупроводниковый стабилитрон (рис. 1, а) или стабистор (рис. 1, б).

Такие стабилизаторы называют параметрическими, т.к. действие их основано на изменении параметров нелинейного элемента. Напряжение на нагрузку снимается с зажимов последнего. При достаточно большом сопротивлении резистора R и при соответствующем выборе рабочего режима стабилизатора (стабистора) падение напряжения на нагрузке будет мало зависеть от величины тока через неё.

СТАБИЛИТРОНЫ – специальные кремниевые диоды, стабилизирующее, действие которых основано на использовании большой крутизны участка пробоя обратной ветви вольтамперной характеристики, применяют в случаях, когда на нагрузке нужно иметь стабилизированное напряжение от нескольких вольт и выше.

СТАБИСТОРЫ – кремниевые, селеновые диоды, стабилизирующее, действие которых основано на использовании круто восходящей прямой ветви вольтамперной характеристики, используют в стабилизаторах, если нужно иметь стабилизированное напряжение величиной 0,7-0,8 В.

Заметим, что в качестве стабистора можно использовать кремниевый диод (выпрямительный, стабилитрон и т.п.) в прямом включении: если нужно иметь напряжение в целое число раз больше 0,7-0,8 В, диоды соединяют последовательно. (Стабистор типа 7ГЕ2А-С, состоящий из двух последовательно соединенных селеновых диодов, имеет нормальное напряжение стабилизации 1,4 В).

ВЫБОР ТИПА СТАБИЛИТРОНА И СТАБИСТОРА. Напряжение на выходе стабилизатора $U_{\text{вых}}$, т.е. на его нагрузке, равно напряжению стабилизации U_{cm} ,

примененного стабилитрона (стабистора). Поэтому нельзя получить напряжение $U_{вых}$ с любым желаемым значением, его приходится выбирать в пределах величин, обеспечиваемых тем или иным доступным типом стабилитрона. Так, например, если нужно иметь $U_{вых}=9$ В, то приходится применять стабилитрон типа Д809 (или Д814Б), напряжение стабилизации которого находится в пределах 8-9,5 В, либо стабилитрон Д810 (Д814В) с напряжением $U_{ст}=9-10,5$ В. Если нужно иметь напряжение $U_{вых}$ большей величины, чем позволяют получить имеющиеся стабилитроны, то их соединяют последовательно. При этом выходное напряжение стабилизируется на уровне суммы напряжений $U_{ст}$ используемых диодов.

Стабилизаторы напряжения работают эффективно при условии, что ток в нагрузке $I_{вых}$ меньше тока через стабилитрон (стабистор) VD. Вместе с тем, если ток через стабилизатор будет меньше некоторой величины $I_{ст\ min}$, характерной для стабилитрона данного типа, то изменения тока нагрузки $I_{вых}$ вызывают недопустимо большие изменения напряжения.

Параллельное соединение стабилитронов и стабисторов не применяют, т.к. вследствие различия их сопротивлений ток распределится между ними неравномерно. В результате стабилитрон с меньшим сопротивлением окажется перегруженным, и стабилитрон будет ненадежен в работе.

Коэффициент стабилизации возрастает с увеличением сопротивления резистора R, однако, при этом приходится повышать напряжение источника питания. Практически целесообразно иметь отношение $U_{вх}/U_{вых}=4-6$; при таких соотношениях можно получить $K_{ст}=10-20$. При большом отношении $U_{вх}/U_{вых}$ стабильность выходного напряжения улучшается незначительно, но КПД стабилизатора делается очень низким.

СГЛАЖИВАНИЕ ПУЛЬСАЦИЙ. Благодаря тому, что стабилизатор реагирует на быстрые изменения подводимого напряжения, т.е. является системой малоинерционной, он эффективно сглаживает пульсации напряжения. Коэффициент сглаживания пульсаций стабилизатора близок по величине к коэффициенту стабилизации.

ТРАНЗИСТОРНЫЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ СТАБИЛИЗАТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ.

Основными частями транзисторного стабилизатора являются: датчик стабилизированного напряжения, выполняемый обычно на основе кремниевого стабилитрона малой мощности. Регулирующий элемент, роль которого выполняет транзистор, подключенный выводами коллектора и эмиттера параллельно нагрузке («параллельная схема»), либо последовательно с нагрузкой («последовательная схема»). Ниже рассматриваются только схемы с последовательным включением регулирующего транзистора, поскольку в них можно применять менее мощные транзисторы, эти схемы обладают лучшим КПД и поэтому имеют почти исключительное применение в аппаратуре, хотя и обладают недостатками: при коротком замыкании выхода стабилизатора регулирующий транзистор как правило, выходит из строя.

В последовательной схеме через оба перехода регулирующего транзистора проходит весь ток нагрузки. Чем больше этот ток, тем мощнее должен быть транзистор. При очень больших токах нагрузки применяют параллельное включение двух или большего количества однотипных мощных транзисторов.

Используя в регулирующем элементе составной транзистор, коэффициент стабилизации можно несколько повысить. Учитывая, что перегрузка транзистора

недопустима, в стабилизаторы вводят устройства защиты от коротких замыканий и перегрузок.

ПРОСТЕЙШИЙ ТРАНЗИСТОРНЫЙ СТАБИЛИЗАТОР НАПРЯЖЕНИЯ (рис. 3).

Ток базы регулирующего транзистора VT1 вместе с током стабилитрона VD1 течет по балластному резистору R1. Стабилизирующее действие схемы основано на том, что при неизменном напряжении смещения базы транзисторов ($U_{бэ}$), величина тока эмиттера ($I_э = I_{вых}$) почти не изменяется при изменениях напряжения между коллектором и эмиттером $U_{кэ}$. Так как напряжение смещения базы стабилизировано с помощью напряжения $U_{ст}$ ток через транзистор, а следовательно, и напряжение на нагрузке $U_{вых}$ изменяются в относительно небольших пределах.

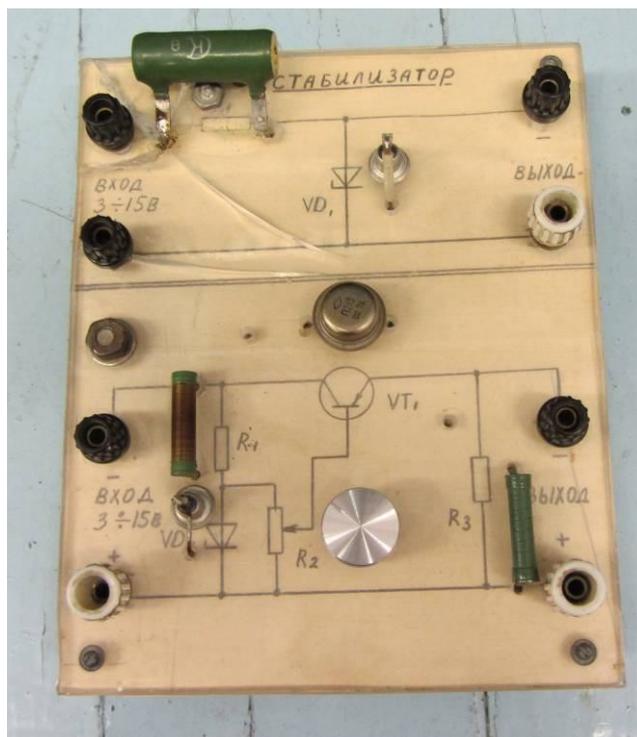
Как и в диодном параметрическом стабилизаторе, коэффициент стабилизации напряжения тем больше, чем меньше динамическое сопротивление диода и чем больше сопротивление резистора.

ТОК И НАПРЯЖЕНИЕ НА НАГРУЗКЕ. Величина максимально допустимого тока нагрузки стабилизатора определяется типом примененного транзистора, а при переменной нагрузке, кроме того, зависит от параметров стабилитрона. Номинальная величина напряжения на нагрузке $U_{вых}$ равна напряжению стабилизации $U_{ст}$ примененного стабилитрона за вычетом малого напряжения между эмиттером и базой $U_{бэ}$. Поскольку величина последнего не превышает десятых долей вольта, то обычно считают, что $U_{вых} = U_{ст}$.

Температурный коэффициент напряжения транзисторных стабилизаторов напряжения обычно положителен; при этом, когда применяются стабилитроны в $U_{ст} = 7-15$ В, напряжение на нагрузке изменяется не более чем на 30-70 мВ при изменении температуры на каждые 10 °С.

Оборудование

Панель с диодным и транзисторным стабилизаторами



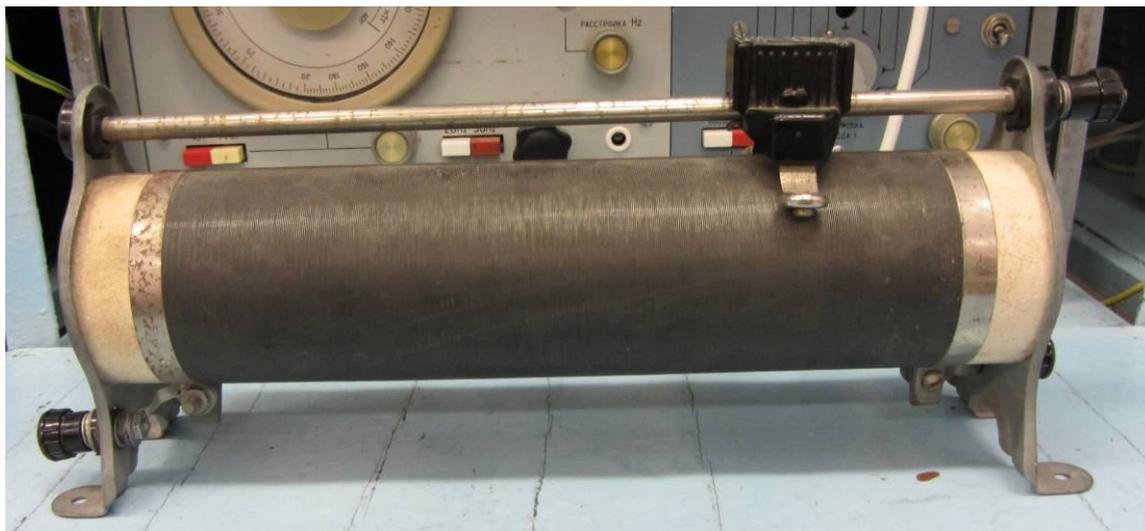
Источник питания



Мультиметры



Реостат 200 Ом



ХОД РАБОТЫ

1. Собрать схему диодного стабилизатора (рис. 2) (Вольтметр V1- вольтметр блока питания; V2, A1, A2- мультиметры).
2. Снять характеристику стабилизатора $U_{\text{вых}} = f(I_{\text{вых}})$; $U_{\text{вых}} = f(I_{\text{вх}})$ при различных напряжениях $U_{\text{вх}}$ (**Значения $U_{\text{вх}}$ из диапазона 6-10 В задает преподаватель**). Результаты измерений занести в таблицу 1.

Таблица 1.

№	$U_{\text{вх}} =$ В			$U_{\text{вх}} =$ В		
	$U_{\text{вых}}, \text{ В}$	$I_{\text{вых}}, \text{ мА}$	$I_{\text{вх}}, \text{ мА}$	$U_{\text{вых}}, \text{ В}$	$I_{\text{вых}}, \text{ мА}$	$I_{\text{вх}}, \text{ мА}$
1.						
2.						
3.						
4.						
5.						
6.						
7.						
8.						
9.						
10.						
11.						
12.						
13.						
14.						
15.						

3. Снять зависимость $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}})$ для различных токов нагрузки $I_{\text{вых}}$ (**Значения $I_{\text{вых}}$ задает преподаватель**). Результаты измерений занести в таблицу 2.

Таблица 2.

№	$I_{\text{вых}} =$ мА		$I_{\text{вых}} =$ мА	
	$U_{\text{вых}}, \text{ В}$	$U_{\text{вх}}, \text{ В}$	$U_{\text{вых}}, \text{ В}$	$U_{\text{вх}}, \text{ В}$
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
6.				
7.				
8.				
9.				
10.				
11.				
12.				
13.				
14.				
15.				

4. Результаты измерений, записанные в таблицах 1,2 представить графически.
5. Собрать схему транзисторного стабилизатора (рис. 3) (Вольтметр V1- вольтметр блока питания; V2, A1, A2- мультиметры).
6. Снять характеристику стабилизатора $U_{\text{вых}} = f(I_{\text{вых}})$; $U_{\text{вых}} = f(I_{\text{вх}})$ при различных напряжениях $U_{\text{вх}}$ (**Значения $U_{\text{вх}}$ из диапазона 6-10 В задает преподаватель**).
Результаты измерений занести в таблицу 3.

Таблица 3.

№	$U_{\text{вх}} = 6 \text{ В}$			$U_{\text{вх}} = 9 \text{ В}$		
	$U_{\text{вых}}, \text{ В}$	$I_{\text{вых}}, \text{ мА}$	$I_{\text{вх}}, \text{ мА}$	$U_{\text{вых}}, \text{ В}$	$I_{\text{вых}}, \text{ мА}$	$I_{\text{вх}}, \text{ мА}$
1.						
2.						
3.						
4.						
5.						
6.						
7.						
8.						
9.						
10.						
11.						
12.						
13.						
14.						
15.						

7. Снять зависимость $U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}})$ для различных токов нагрузки $I_{\text{вых}}$ (**Значения $I_{\text{вых}}$ задает преподаватель**). Результаты измерений занести в таблицу 4.

Таблица 4.

№	$I_{\text{вых}} = \text{ мА}$		$I_{\text{вых}} = \text{ мА}$	
	$U_{\text{вых}}, \text{ В}$	$U_{\text{вх}}, \text{ В}$	$U_{\text{вых}}, \text{ В}$	$U_{\text{вх}}, \text{ В}$
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				
6.				
7.				
8.				
9.				
10.				
11.				
12.				
13.				
14.				
15.				

8. Результаты измерений, записанные в таблицах представить графически.
9. Определить параметры диодного и транзисторного стабилизаторов- $K_{\text{ст}}$, Z , η .

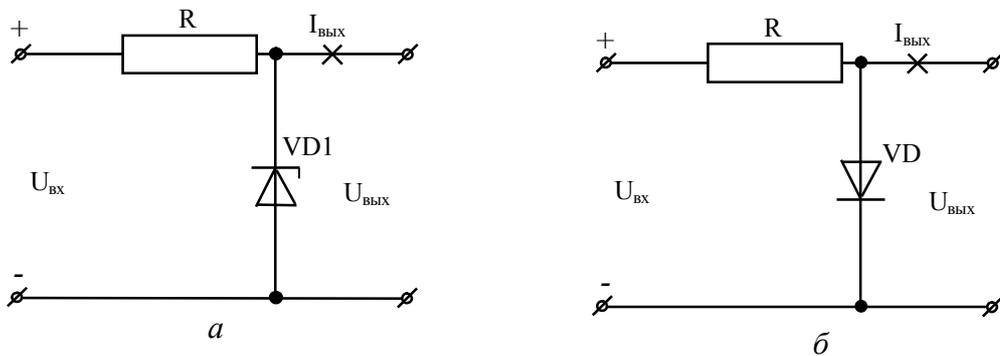


Рис. 1. Схемы а) стабилизатор на стабилитроне, б) стабилизатор на стабисторе.

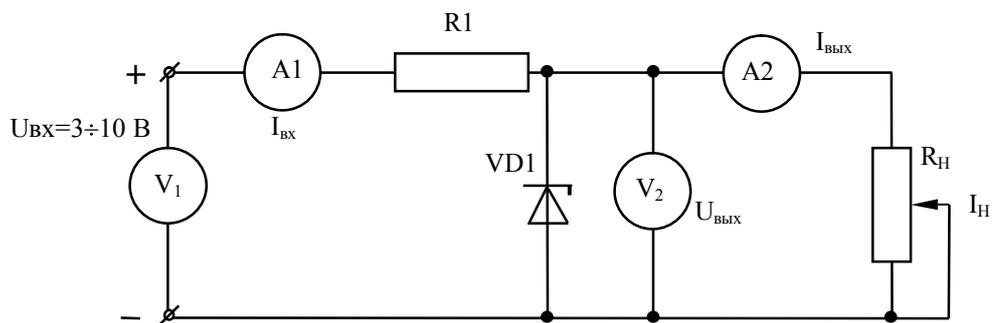


Рис. 2. Схема для изучения характеристик стабилизатора на стабилитроне.

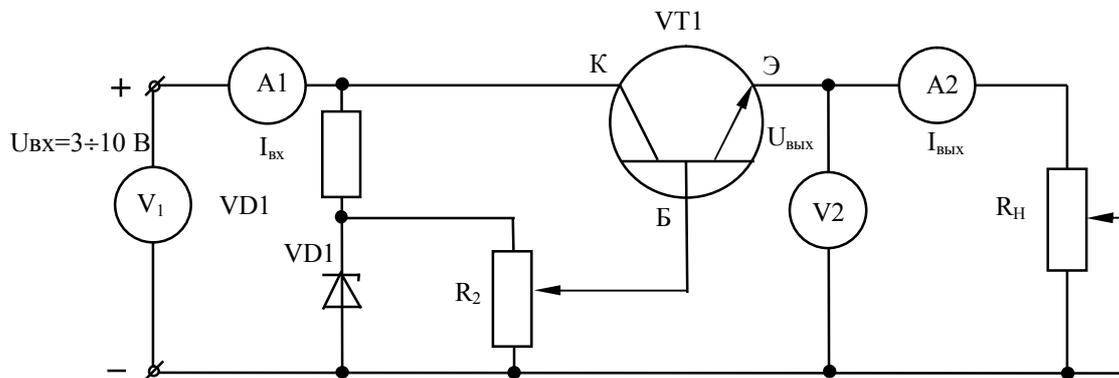


Рис. 3. Схема транзисторного стабилизатора.