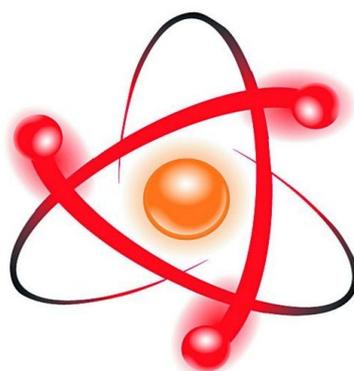


НПО УЧЕБНОЙ ТЕХНИКИ «ТУЛАНАУЧПРИБОР»

МЕТОДИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО ПО ВЫПОЛНЕНИЮ  
ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ



**РТИПЛ-1**

**ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ И ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ  
СХЕМ ЛИНЕЙНЫХ СТАБИЛИЗАТОРОВ  
ПОЛОЖИТЕЛЬНОГО И ОТРИЦАТЕЛЬНОГО  
НАПРЯЖЕНИЙ.**

Тула, 2010 г.

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА.

## ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ И ПРИНЦИПОВ ПОСТРОЕНИЯ СХЕМ ЛИНЕЙНЫХ СТАБИЛИЗАТОРОВ ПОЛОЖИТЕЛЬНОГО И ОТРИЦАТЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЙ.

Цель работы: исследовать теоретические принципы построения схем линейных стабилизаторов постоянного напряжения, экспериментально изучить основные характеристики стабилизаторов.

### ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ.

#### Введение.

Практически вся радиоэлектронная аппаратура (РЭА) нуждается в одном или нескольких источниках питания (ИП). Большое число фирм проводят исследования в области первичных и вторичных источников электропитания, производят их в значительных объемах и поставляют на рынок. В настоящее время, как правило, не представляет затруднений приобретение необходимого источника электропитания. В тоже время при разработке той или иной радиоаппаратуры разрабатывается свой источник питания.

Все ИП можно разделить на две группы: источники первичного электропитания и источники вторичного электропитания. РЭА может иметь в своем составе: ИП первой группы; ИП второй группы; ИП первой и второй групп одновременно.

#### Источники первичного электропитания.

К данной группе ИП относятся:

- 1) химические источники тока (гальванические элементы, батареи и аккумуляторы);
- 2) термобатареи;
- 3) термоэлектронные преобразователи;
- 4) фотоэлектрические преобразователи (солнечные батареи);
- 5) топливные элементы;
- 6) биохимические источники тока;
- 7) атомные элементы;
- 8) электромашинные генераторы.

Химические источники тока (ХИТ) широко используются для питания маломощных устройств и аппаратуры, требующей автономного питания. Батареи и аккумуляторы являются также вспомогательными и (или) резервными источниками энергии в устройствах, питающихся от сети переменного тока. Выходное напряжение таких источников практически не содержит переменной составляющей (пульсаций), но в значительной степени зависит от величины тока, отдаваемого в нагрузку, и степени разряда. Поэтому в устройствах, критичных к напряжению питания, химические источники тока используются совместно со стабилизаторами напряжения.

Термобатареи состоят из последовательно соединенных термопар. Термобатареи используются в качестве ИП малой мощности, например для

питания радиоприемников. В простейшем виде термоэлектрический генератор представляет собой батарею термопар, у которых одни концы спаев нагреваются, а другие имеют достаточно низкую температуру, благодаря чему создается термо-ЭДС и во внешней цепи протекает ток. Каждая термопара может состоять из двух разнородных полупроводников или из проводника и полупроводника. Большая теплопроводность металлических термопар не позволяет создавать значительную разность температур спаев, а следовательно, не дает возможность получить большую термо-ЭДС. Лучшие результаты дает использование в термогенераторах полупроводниковых термопар, или комбинированных, состоящих из проводника и полупроводника.

В термопаре, состоящей из полупроводников с *n*- и *p*-проводимостями, при нагревании спаев количество электронов в полупроводнике *n*-типа и число дырок в полупроводнике *p*-типа увеличивается. Электроны и дырки вследствие диффузии в полупроводниках движутся от горячего слоя термопары к холодному. Перемещение дырок приводит к тому, что горячий конец полупроводника *p*-типа заряжается отрицательно, а холодный конец - положительно. В полупроводнике *n*-типа электроны, переходя от горячего конца к холодному, так же как, и в металле, заряжают горячий конец положительно, а холодный конец - отрицательно. Термо-ЭДС полупроводниковой термопары значительно больше термо-ЭДС металлической пары.

Термоэлектронные преобразователи представляют собой вакуумные или газовые приборы с твердыми нагреваемыми катодами. Преобразование тепловой энергии в электрическую осуществляется за счет использования термоэлектронной эмиссии нагретых тел. Эмитированные катодом электроны движутся к аноду под действием разности температур. Для обеспечения этой разности температур необходимо охлаждение анода. В зависимости от температуры нагрева катода термоэлектронные преобразователи делятся на низкотемпературные (1200 – 1600°С) и среднетемпературные (1900 – 2000°С). У среднетемпературных преобразователей КПД достигает 20%, что более чем в 2 раза превышает КПД термобатарей.

Фотоэлектрические преобразователи осуществляют преобразование тепловой и световой энергии солнечных лучей в электрическую. Солнечные батареи представляют собой ряд фотоэлементов, соединенных между собой определенным образом. Фотоэлектрические преобразователи используются в качестве источника электрической энергии для питания маломощной радиоаппаратуры, а также для питания радиотехнической и телеметрической аппаратуры на спутниках Земли и на автоматических межпланетных станциях. Солнечные батареи просты, имеют очень большой срок службы и работают в большом диапазоне изменения температур.

Топливные элементы осуществляют непосредственное преобразование энергии химических реакций в электрическую энергию. Действие таких элементов основано на электрическом окислении вещества (топлива), которое

подобно реакции горения топлива. Однако в отличие от горения в этих элементах окисление топлива и восстановление кислорода происходит на разных электродах. Поэтому энергия выделяется в нагрузке без промежуточного преобразования в энергию иного вида, что обеспечивает высокий КПД преобразователя. В топливных элементах химическая реакция протекает при взаимодействии активных веществ, которые в твердом, жидком или газообразном состоянии непрерывно поступают к электродам.

Биохимические источники тока можно рассматривать как разновидность топливных элементов, так как в них протекают подобные окислительно-восстановительные процессы. Отличие биохимических элементов от топливных состоит в том, что активные вещества (или одно из них) создаются с помощью бактерий или ферментов из различных углеводов и углеродов.

Атомные элементы применяются для питания маломощных устройств. Конструкция таких ИП различна в зависимости от принципа их действия.

В элементах, использующих  $\beta$ -излучение, на внутреннем электроде размещается радиоактивный изотоп стронция 90. Вторым электродом является металлическая оболочка. Между электродами находится твердый диэлектрик или вакуум. Под действием  $\beta$ -лучей на электродах создаются заряды. Напряжение в таких элементах может достигать нескольких киловольт, а внутреннее сопротивление очень велико (порядка  $10^{13}$  Ом). Разрядный ток не превышает одного миллиампера. Достоинством таких элементов является очень большой срок службы.

В элементах, использующих контактную разность потенциалов, применяются электроды в виде пластинок из различных материалов. Одна из пластин покрыта двуокисью свинца, другая изготовлена из алюминия. Между электродами находится смесь инертного газа и радиоактивного трития. Под действием излучения происходит образование ионных пар. Напряжение между электродами определяется контактной разностью потенциалов. Под действием этого напряжения положительно и отрицательно заряженные ионы перемещаются к электродам.

В элементах с облучаемыми полупроводниками радиоактивное вещество наносится на поверхность полупроводника (кремния). Излучаемые электроны, имеющие большую скорость, выбивают из атомов полупроводника большое количество электронов. В результате односторонней проводимости между полупроводником и коллектором, приваренным к нему, возникает ЭДС величиной нескольких десятых долей вольта. Внутреннее сопротивление таких элементов 100 – 1000 Ом, КПД может достигать нескольких процентов. Недостатком является малый срок службы вследствие разрушения полупроводника под действием радиации.

Электромашинные генераторы преобразуют механическую энергию в электрическую. Они делятся на генераторы постоянного и переменного тока. Машины переменного тока могут быть как однофазными, так и

многофазными. Наиболее широкое применение нашли трехфазные синхронные и асинхронные генераторы, действие которых основано на использовании вращающегося магнитного поля. В синхронных машинах процесс преобразования энергии происходит при синхронной частоте, то есть когда частота вращения ротора равна частоте вращения магнитного поля. В асинхронных машинах процесс преобразования энергии происходит при асинхронной частоте, то есть когда частота вращения ротора отличается от частоты вращения магнитного поля.

### **Источники вторичного электропитания.**

Источники вторичного электропитания представляют собой функциональные узлы РЭА или законченные устройства, использующие энергию, получаемую от системы электроснабжения или источника первичного электропитания и предназначенные для организации вторичного электропитания радиоаппаратуры.

Источники вторичного электропитания можно классифицировать по следующим параметрам:

#### 1. По типу питающей цепи:

1.1 ИП, использующие электрическую энергию, получаемую от однофазной сети переменного тока;

1.2 ИП, использующие электрическую энергию, получаемую от трехфазной сети переменного тока;

1.3 ИП, использующие электрическую энергию автономного источника постоянного тока.

#### 2. По напряжению на нагрузке:

2.1 ИП низкого (до 100 В) напряжения;

2.2 ИП среднего (от 100 до 1000 В) напряжения;

2.3 ИП высокого (свыше 1000 В) напряжения.

#### 3. По мощности нагрузки:

3.1 ИП малой мощности (до 100 Вт);

3.2 ИП средней мощности (от 100 до 1000 Вт);

3.3 ИП большой мощности (свыше 1000 Вт).

#### 4. По роду тока нагрузки:

4.1 ИП с выходом на переменном токе;

4.2 ИП с выходом на постоянном токе;

4.3 ИП с выходом на переменном и постоянном токе.

#### 5. По числу выходов:

5.1 одноканальные ИП, имеющие один выход постоянного или переменного тока;

5.2 многоканальные ИП, имеющие два или более выходных напряжений.

#### 6. По стабильности напряжения на нагрузке:

6.1 стабилизированные ИП;

6.2 нестабилизированные ИП.

Стабилизированные источники питания имеют в своем составе, по крайней мере, один стабилизатор напряжения (тока) и могут быть разделены:

а) по характеру стабилизации напряжения:

- ИП с непрерывным регулированием;
- ИП с импульсным регулированием.

б) по характеру обратной связи:

- параметрические;
- компенсационные;
- комбинированные;

в) по точности стабилизации выходного напряжения:

- ИП с низкой стабильностью выходного напряжения (суммарная нестабильность выходного напряжения более

2 – 5%);

#### **Линейные и импульсные источники вторичного электропитания.**

В линейных ИП переменное напряжение питающей сети преобразуется трансформатором, выпрямляется, подвергается низкочастотной фильтрации и стабилизируется (рис.1.1). В нестабилизированных ИП нагрузка подключается непосредственно к выходу фильтра низкой частоты.



Рис. 1.1. Упрощенная функциональная схема линейного стабилизированного источника питания.

В стабилизаторах линейных ИП осуществляется непрерывное регулирование: последовательно или параллельно с нагрузкой включается регулирующий элемент (транзистор), управляемый сигналом обратной связи, за счет чего выходное напряжение поддерживается на постоянном уровне.

Отличительная особенность линейных стабилизаторов напряжения заключается в том, что их выходное напряжение всегда ниже нестабилизированного входного напряжения. Кроме этого выходное напряжение  $U_{\text{вых}}$  всегда имеет одинаковую полярность с входным напряжением  $U_{\text{вх}}$ , а сам стабилизатор непрерывно рассеивает мощность  $P_{\text{рас}} \approx I_{\text{вых}}(U_{\text{вх}} - U_{\text{вых}})$ , где  $I_{\text{вых}}$  – выходной ток (ток нагрузки).

Импульсные ИП непосредственно выпрямляют и фильтруют напряжение питающей сети переменного тока без использования первичного силового трансформатора, который для частоты 50 Гц имеет значительные вес и габариты. Выпрямленный и отфильтрованный постоянный ток коммутируется мощным электронным ключом, затем преобразуется высокочастотным трансформатором, снова выпрямляется и фильтруется

(рис.1.2).

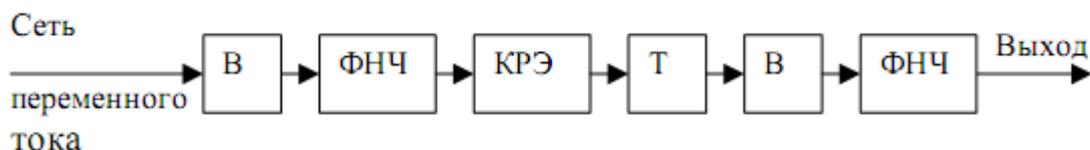


Рис. 1.2. Упрощенная функциональная схема импульсного источника питания В – выпрямитель; ФНЧ – фильтр низкой частоты; КРЭ – ключевой регулируемый элемент; Т – трансформатор.

Электронный ключ управляется специальным сигналом, формируемым схемой управления. В устройстве может быть обратная связь по напряжению, благодаря которой стабилизируется выходное напряжение (управляющий сигнал формируется в зависимости от разности напряжений выходного и опорного). Из-за высокой частоты переключения (от 20 кГц и выше), трансформаторы и конденсаторы фильтров имеют намного меньшие размеры, чем их низкочастотные (50 Гц) эквиваленты. Достоинством импульсных ИП является высокий КПД – 60 – 80% (КПД линейных ИП, как правило, не превышает 40 – 50%).

#### Стабилизаторы напряжения.

Для нормального функционирования большинства электронных устройств необходимо обеспечить их стабильным напряжением питания. Основными факторами, вызывающими колебания напряжения являются: колебания напряжения питающей сети, изменения частоты питающего напряжения, колебания сопротивления нагрузки, изменения температуры.

В зависимости от типа питаемого устройства относительное изменение напряжения питания ( $\Delta U_{\text{вых}} / U_{\text{вых.ном}} \cdot 100\%$ ) может измениться в пределах от 0,005 до 3% и более.

Устройства, автоматически поддерживающие неизменным напряжение (ток) на своем выходе, называются стабилизаторами напряжения (тока).

Используемые в ИП стабилизаторы напряжения делятся на две группы: параметрические и компенсационные. Параметрические стабилизаторы строятся на основе нелинейных элементов (стабилитронов, варисторов и др.), параметры которых изменяются непосредственно под воздействием дестабилизирующих факторов (рис. 1.3).

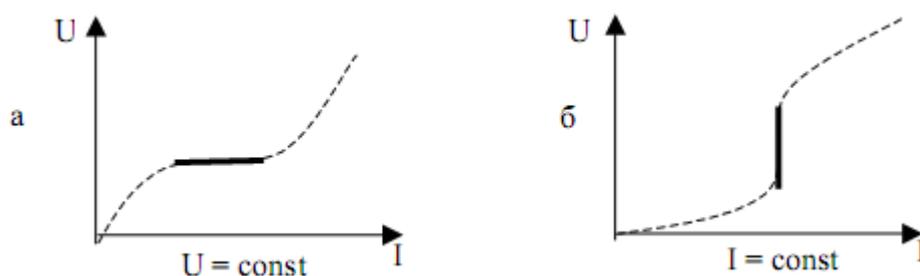


Рис. 1.3. Вольтамперные характеристики нелинейных элементов: а – стабилизатор напряжения; б – стабилизатор тока

Компенсаторные стабилизаторы имеют обратную связь по напряжению, благодаря которой выходное сопротивление стабилизатора существенно уменьшается и выходное напряжение остается более стабильным (рис.1.4).



Рис. 1.4. Функциональная схема компенсационного стабилизатора.

Работает компенсационный стабилизатор следующим образом: в измерительном элементе происходит сравнение выходного напряжения с опорным и вырабатывается сигнал рассогласования. В преобразующем устройстве сигнал рассогласования усиливается и преобразуется в управляющий сигнал для регулирующего элемента. Под действием этого управляющего сигнала изменяется внутреннее состояние регулирующего элемента так, чтобы поддерживать выходное напряжение равное опорному.

#### Основные параметры стабилизаторов.

Наиболее важными электрическими параметрами стабилизаторов напряжения являются:

- 1) коэффициент стабилизации:

$$K_{\text{ст}} = \frac{\Delta U_{\text{ВХ}}}{U_{\text{ВХ}}} : \frac{\Delta U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВЫХ}}} = \frac{\Delta U_{\text{ВХ}} \cdot U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}} \cdot \Delta U_{\text{ВЫХ}}}, \quad (1.1)$$

где  $U_{\text{ВХ}}$ ,  $U_{\text{ВЫХ}}$  – входное и выходное напряжения;

$\Delta U_{\text{ВЫХ}}$  – приращение выходного напряжения обусловленное изменением напряжения на входе  $\Delta U_{\text{ВХ}}$ .

В общем случае коэффициентом стабилизации напряжения называют частное от деления относительного изменения напряжения на входе на относительное изменение напряжения на выходе стабилизатора.

Различают интегральный и дифференциальный коэффициенты стабилизации. Интегральный  $K_{\text{ст}}$  определяет стабилизацию в заданном диапазоне изменения дестабилизирующего фактора (входного напряжения (рис.1.5), дифференциальный  $K_{\text{ст}}$  – в бесконечно малом диапазоне изменения этой величины.

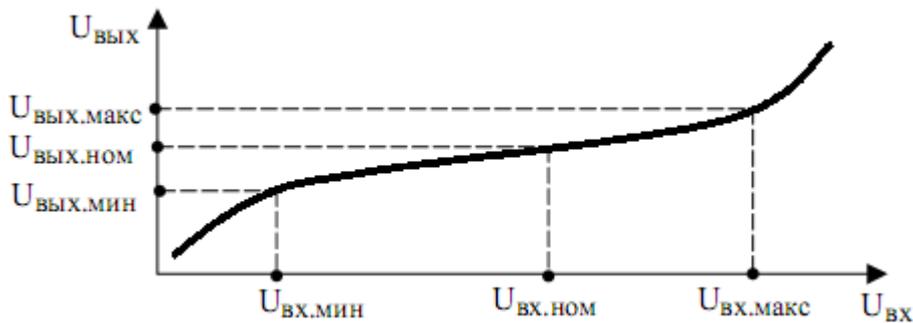


Рис. 1.5. К определению интегрального коэффициента стабилизации.

Практическое значение имеет интегральный  $K_{ст}$ :

$$K_{ст} = \frac{\Delta U_{ВХ}}{U_{ВХ.НОМ}} : \frac{\Delta U_{ВЫХ}}{U_{ВЫХ.НОМ}} = \lambda_{н} \cdot \frac{\Delta U_{ВХ}}{\Delta U_{ВЫХ}}, \quad (1.2)$$

где  $\lambda_{н} = \frac{U_{ВЫХ.НОМ}}{U_{ВХ.НОМ}}$  – коэффициент передачи напряжения в номинальном режиме;

2) Коэффициент нестабильности по напряжению:

$$K_{нU} = \frac{\Delta U_{ВЫХ}}{\Delta U_{ВХ}} \cdot \frac{1}{U_{ВЫХ}} \cdot 100\% \quad (1.3)$$

$K_{нU}$  определяется как отношение производной выходного напряжения по входному напряжению к выходному напряжению;

3) Коэффициент нестабильности по току:

$$K_{нI} = \frac{\Delta U_{ВЫХ}}{U_{ВЫХ}} \cdot 100\% \Bigg|_{\Delta I_{зад}} \quad (1.4)$$

$K_{нI}$  определяется как относительное изменение выходного напряжения при изменении выходного тока в заданном интервале значений;

4) Выходное сопротивление:

$$R_{ВЫХ} = \frac{\Delta U_{ВЫХ}}{\Delta I_{ВЫХ}} \quad (1.5)$$

Выходным сопротивлением стабилизатора называется отношение изменения напряжения на выходе стабилизатора к вызвавшему его изменению тока нагрузки при постоянном входном напряжении;

5) Коэффициент подавления (сглаживания) пульсаций – отношение напряжения пульсаций на входе стабилизатора к напряжению пульсаций на его

выходе. Для большинства стабилизаторов коэффициент подавления пульсаций примерно равен коэффициенту стабилизации напряжения;

б) Коэффициент полезного действия КПД определяется как отношение мощности отдаваемой стабилизатором в нагрузку к мощности, потребляемой самим стабилизатором.

В зависимости от назначения ИП и вида нагрузки к стабилизаторам предъявляются следующие требования:

- 1) высокий КПД;
- 2) высокий коэффициент стабилизации  $K_{ст}$ ;
- 3) возможность плавной или ступенчатой регулировки выходного напряжения (тока);
- 4) минимальные габариты и вес;
- 5) минимальные пульсации выходного напряжения.

### Параметрические стабилизаторы.

Основными особенностями таких стабилизаторов являются: простота, невысокий КПД (особенно при переменном сопротивлении нагрузки), малый коэффициент стабилизации, трудность получения точного значения выходного напряжения и регулирования его без использования дополнительного проходного транзистора. Схемы простейшего параметрического стабилизатора напряжения, собранного на стабилитроне представлены на рис.2.1.

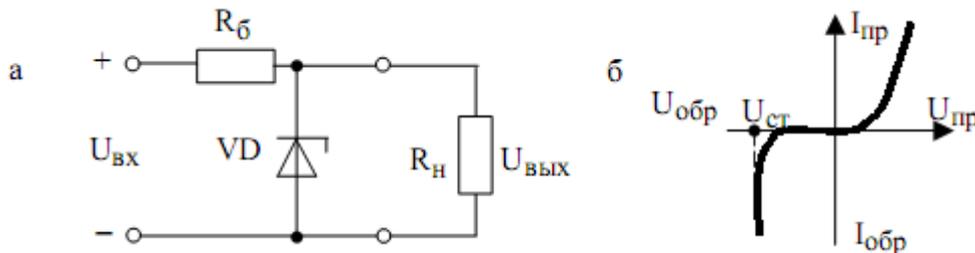


Рис. 2.1. Параметрический стабилизатор напряжения на стабилитроне: а – принципиальная схема; б – вольтамперная характеристика стабилитрона.

Для стабилизации напряжения используется участок вольтамперной характеристики с неизменным обратным напряжением при изменении обратного тока в интервале от  $I_{ст.мин.}$  до  $I_{ст.макс.}$ . Минимальное и максимальное значение тока стабилизации  $I_{ст.мин.}$ ,  $I_{ст.макс.}$  определяются типом номиналом стабилитрона. Типовые значения предельных токов стабилизации для маломощных стабилитронов:  $I_{ст.мин.} = 3 - 5 \text{ мА}$ ,  $I_{ст.макс.} = 20 - 45 \text{ мА}$ .

В случае уменьшения обратного тока стабилизации ниже  $I_{ст.мин.}$  режим стабилизации нарушается. При превышении обратным током значения  $I_{ст.макс.}$  обратимый пробой стабилитрона переходит в необратимый тепловой пробой. Ограничение тока стабилизации осуществляется с помощью балластного резистора  $R_б$ . На этом же сопротивлении падает излишек напряжения:

$$\Delta U = U_{вх} - U_{вых.}$$

Выбор значения сопротивления  $R_6$  производится с учетом диапазонов изменения: тока нагрузки, входного напряжения и тока стабилизации выбранного стабилитрона.

Коэффициент стабилизации по напряжению стабилизатора (рис.2.1) приближенно может быть определен как отношение значений сопротивлений балластного резистора  $R_6$  и дифференциального сопротивления стабилитрона  $r_d$  ( $K_{ст} \approx R_6 / r_d$ ). Для повышения  $K_{ст}$  целесообразно повышать значение сопротивления  $R_6$  и выбирать стабилитрон с малым изменением напряжения стабилизации во всем диапазоне изменения  $I_{ст}$ . Типовые значения  $K_{ст}$  схемы (рис. 2.1) находятся в интервале от 20 до 40 единиц.

Одним из недостатков простейших стабилизаторов является зависимость величины выходного напряжения от температуры. Температурные изменения  $U_{вых}$  могут быть уменьшены за счет применения прецизионных стабилитронов с малым температурным коэффициентом напряжения или использованием схемы термокомпенсации.

На рис. 2.2 представлена улучшенная схема параметрического стабилизатора с термокомпенсацией. Диоды  $VD_2, VD_3, VD_4$  предназначены для термокомпенсации напряжения на опорном диоде  $VD_1$ . Для схемы (рис.2.2)  $U_{вых} = U_{VD1} + U_{VD2} + U_{VD3} + U_{VD4}$ , где  $U_{VD1}$  – опорное напряжение на кремниевом стабилитроне,  $U_{VD1}, U_{VD2}, U_{VD3}$  – прямые напряжения на термокомпенсирующих германиевых диодах (или стабилитронах, включенных в обратном направлении).

Количество термокомпенсирующих диодов выбирается в зависимости от типа и количества кремниевых стабилитронов, включенных в обратном направлении. При включении термокомпенсирующих диодов  $K_{ст}$  уменьшается примерно в 2 – 4 раза. Дополнительные диоды так же увеличивают выходное сопротивление схемы.

Повысить коэффициент стабилизации устройств с термокомпенсирующими диодами можно применив двухкаскадную схему (рис.2.3).

Результирующий коэффициент стабилизации схемы равен произведению коэффициентов стабилизации каскадов ( $K_{ст} = K_{ст1} \cdot K_{ст2}$ ). Выходное сопротивление определяется выходным сопротивлением 2-го каскада.

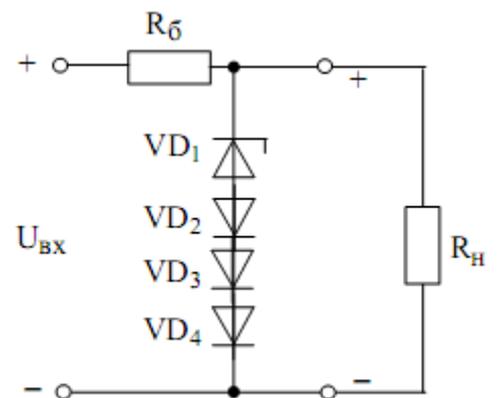


Рис. 2.2. Параметрический стабилизатор с термокомпенсацией.

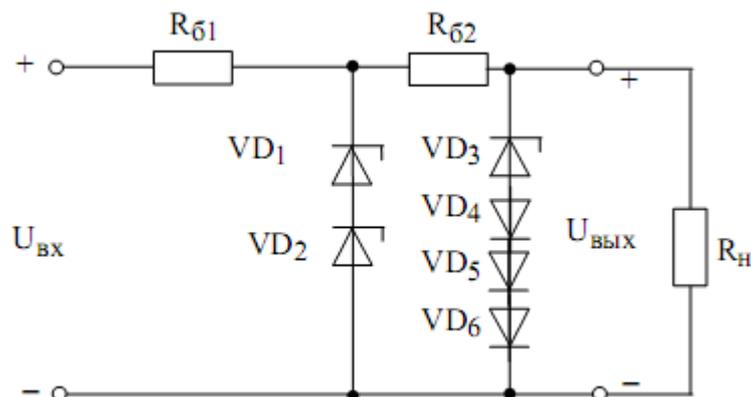


Рис. 2.3. Двухкаскадный стабилитрон с термокомпенсацией.

Термокомпенсацию целесообразно использовать только во втором каскаде, чтобы первый каскад имел максимальный коэффициент стабилизации. Выходное сопротивление схемы можно понизить, увеличив ток, протекающий через термокомпенсирующие диоды (рис.2.4).

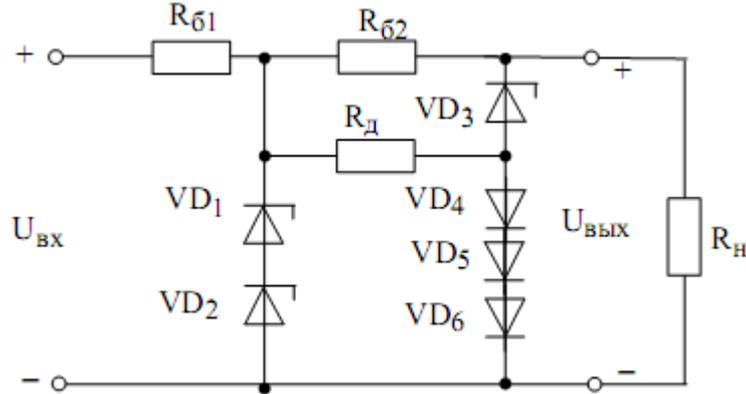


Рис. 2.4. Двухкаскадный параметрический стабилизатор с уменьшенным выходным сопротивлением.

В стабилизаторе (рис.2.4) через диоды  $VD4 - VD6$  пропускается дополнительный ток, протекающий через дополнительное сопротивление  $R_{д}$ . При этом уменьшается динамическое сопротивление термокомпенсирующих диодов и, следовательно, выходное сопротивление схемы. Другой особенностью схемы (рис.2.4) является возможность плавной регулировки термокомпенсации путем изменения величины сопротивления  $R_{д}$ . Недостатком стабилизатора (рис.2.4) является пониженный коэффициент полезного действия вследствие увеличения тока протекающего через термокомпенсирующие диоды.

Особенностью всех рассмотренных выше схем параметрических стабилизаторов является то, что в случае переменной нагрузки максимальный выходной ток не может превышать максимальный ток стабилизации стабилитрона. Увеличить выходной ток стабилизатора можно с помощью транзистора, включенного по схеме общий коллектор (рис.2.5).

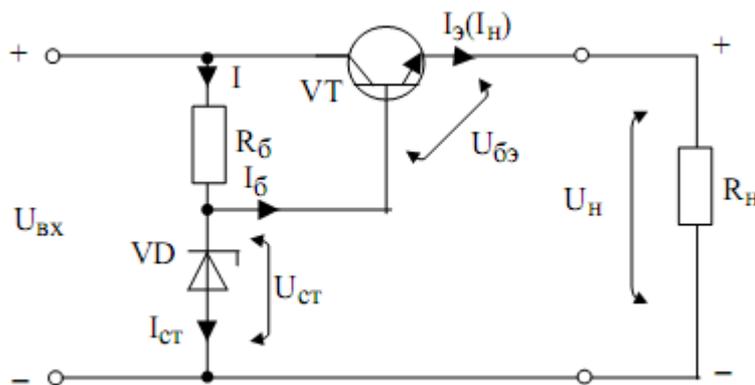


Рис. 2.5. Параметрический стабилизатор с повышенной нагрузочной способностью.

Элементы  $R_b$  и диод  $VD$  образуют обычный параметрический стабилизатор, нагрузкой которого является база транзистора  $VT$ . Транзистор в рассматриваемой схеме является усилителем тока нагрузки  $I_o \approx \beta \cdot I_b$ , где  $\beta$  – коэффициент передачи тока транзистора. Учитывая, что падение напряжения на переходе база–эмиттер величина практически постоянная и относительно небольшая (до 0,5 В для германиевых и до 1,0 В для кремниевых транзисторов), можно считать, что напряжение на нагрузке примерно равно напряжению стабилизации опорного диода  $VD$  (рис.2.5.):

$$U_H = U_{ст} - U_{бэ} \approx U_{ст}.$$

Для нормального функционирования устройства необходимо чтобы выполнялось следующее неравенство:  $I_H / \beta < (I_{ст.макс.} - I_{ст.мин.})$ , где  $I_{ст.макс.}$ ,  $I_{ст.мин.}$  – максимальное и минимальное значение тока стабилизации стабилитрона. При выборе значения  $\beta$  транзистора следует иметь в виду, что чем меньше ток отбираемый транзистором от стабилитрона, тем больше  $K_{ст}$ .

Мощные транзисторы имеют, как правило, малый коэффициент усиления тока от 10 до 40). Поэтому для получения больших токов нагрузки можно использовать два и более транзисторов, включенных по схеме Дарлингтона.

Стабилизатор (рис.2.5.) можно рассматривать и как простейший компенсационный стабилизатор, так как в нем реализуется отрицательная обратная связь по напряжению. Нетрудно заметить, что в качестве регулирующего элемента выступает транзистор, для управления которым необходимы малые напряжения (около 0,2 – 0,6), что позволяет обойтись без измерительного элемента и преобразующего устройства.

Работа стабилизатора заключается в том, что при нормальном режиме (отсутствие дестабилизирующих факторов) на стабилитроне создается опорное напряжение  $U_{ст}$ , которое распределяется между переходом база–эмиттер транзистора и нагрузкой  $U_{ст} = U_{бэ} + U_H$ , то есть устанавливается некоторое значение  $U_{бэ} = U_{ст} - U_H$ , определяющее степень открытия транзистора  $VT$  (сопротивление перехода коллектор–эмиттер  $R_{кэ}$ ). Предположим, что изменяется сопротивление нагрузки, что приводит к изменению тока нагрузки. То есть данный дестабилизирующий фактор стремится изменить значение выходного напряжения в сторону увеличения или уменьшения. Процесс стабилизации схематично можно изобразить следующим образом:

$$\begin{aligned} U_H \uparrow &\rightarrow U_{бэ} \downarrow \rightarrow R_{кэ} \uparrow \rightarrow U_{кэ} \uparrow \rightarrow (U_H = U_{вх} - U_{кэ}) \downarrow \\ U_H \downarrow &\rightarrow U_{бэ} \uparrow \rightarrow R_{кэ} \downarrow \rightarrow U_{кэ} \downarrow \rightarrow (U_H = U_{вх} - U_{кэ}) \uparrow. \end{aligned}$$

Введение в схему (рис.2.5.) потенциометра, подключенного параллельно стабилитрону, позволяет плавно регулировать выходное напряжение (рис.2.6).

При расчете схемы с регулировкой выходного напряжения необходимо учитывать, что для нормальной работы стабилизатора

необходимо обеспечить протекание тока через  $R_p$  большего по величине тока базы транзистора не менее чем в 3 раза.

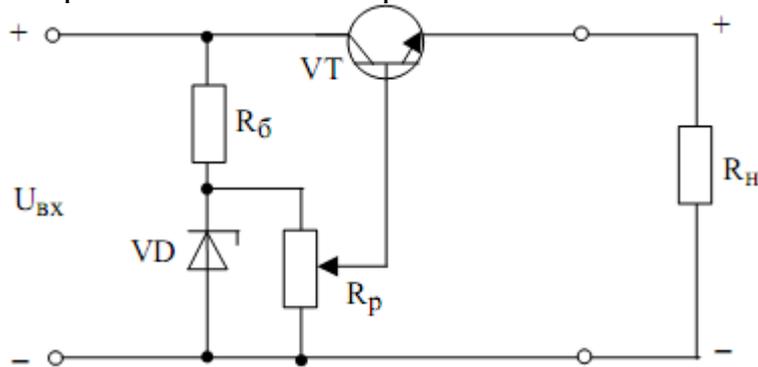


Рис. 2.6. Параметрический стабилизатор с регулировкой выходного напряжения.

### Принципы работы линейных стабилизаторов постоянного напряжения.

В источниках питания радиоаппаратуры находят применение как простейшие стабилизаторы, состоящие из одного-двух элементов, так и сложные, включающие в себя десятки транзисторов и диодов.

В простых схемах стабилизаторов напряжения, как было сказано выше, используют стабилитроны. Характеристика кремниевого стабилитрона дана на рис. 3.1, а, схема включения — да рис. 3.1, б. Если рабочая точка при колебаниях входного напряжения  $E$  и тока нагрузки  $I_H$  не выходит за пределы пологого участка вольт-амперной характеристики ( $I_1 < I < I_2$ ), то выходное напряжение  $U$  меняется очень мало и получается стабилизированным. В схему стабилизатора помимо стабилитрона и нагрузки включается гасящий резистор  $R_r$  служащий для удержания рабочей точки на пологом участке характеристики стабилитрона.

При изменении входного напряжения  $E$  меняются токи, текущие через стабилитрон  $I_{CT}$  и гасящий резистор, а напряжение на выходе и ток нагрузки остаются практически постоянными из-за нелинейности вольт-амперной характеристики стабилитрона. Таким образом, изменение входного напряжения сопровождается изменением падения напряжения на гасящем резисторе  $R_r$ , вызванным приростом или уменьшением тока стабилитрона.

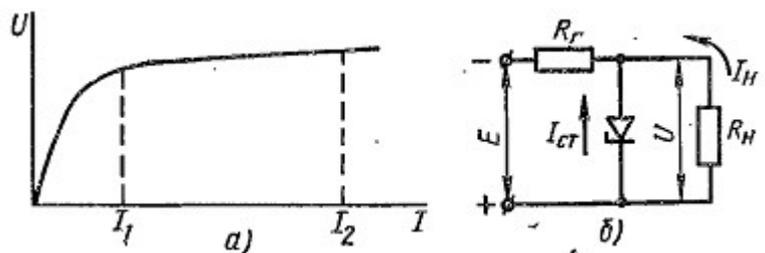


Рис. 3.1

Изменения тока нагрузки (сопротивления нагрузки) вызывают почти такие же по величине, но противоположные по знаку изменения тока стабилитрона. Поэтому падение напряжения на гасящем резисторе и, следовательно, выходное напряжение зависят от тока нагрузки очень мало.

Простые стабилизаторы не могут обеспечить стабильное напряжение на нагрузке, если изменения ее тока велики и выводят рабочую точку за пределы пологого участка характеристики стабилитрона. К тому же часто требуется получить и иное по величине или более стабильное напряжение, чем позволяет стабилитрон.

Большую стабильность и большой диапазон токов нагрузки и стабилизируемых напряжений обеспечивают стабилизаторы, в которых используют регулируемые сопротивления и обратную связь, управляющую их величиной (стабилизаторы компенсационного типа)

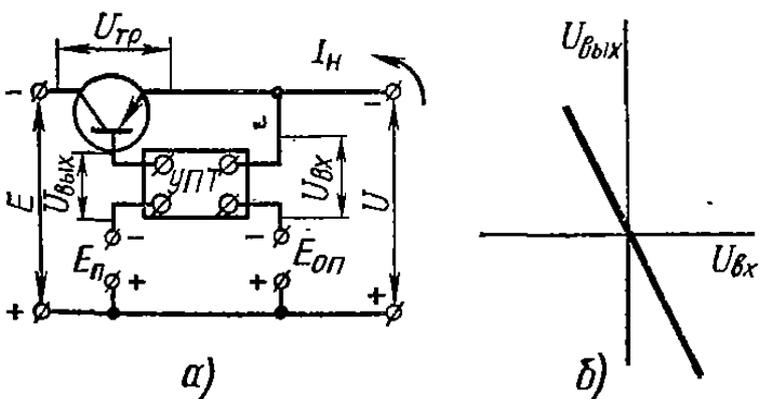


Рис. 3.2

В качестве регулируемых сопротивлений на постоянном токе применяют транзисторы, так как эти приборы, во-первых, управляются электрическими сигналами и, во-вторых, малоинерционны. Транзистор включается либо последовательно с нагрузкой (рис. 3.2, а), либо параллельно ей (рис. 3.3, а). Сигнал обратной связи берется от выходного напряжения стабилизатора и усиливается в

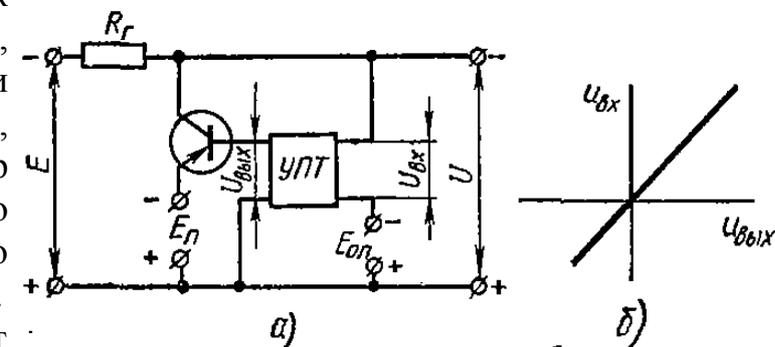


Рис. 3.3

усилителе постоянного тока УПТ, затем воздействует на регулируемое сопротивление. Процессы стабилизации в схеме рис. 3.2 протекают следующим образом. Допустим входное напряжение скачком возросло на некоторую величину  $\Delta E$ . Это вызовет скачкообразный прирост выходного напряжения и, следовательно, сигнала на входе усилителя на  $\Delta U_1$ .

Выходное напряжение усилителя в соответствии с его характеристикой рис. 3.2, б начнет меняться и, воздействуя на базу транзистора, приведет к уменьшению тока базы. Падение напряжения на транзисторе при этом станет расти, и так как

$$\Delta E = \Delta U_{тр}(t) + \Delta U(t), \quad (1.1)$$

то будет уменьшаться первоначальное отклонение выходного напряжения  $\Delta U_1$ . Этим и обеспечивается отрицательная обратная связь в схеме.

В установившемся состоянии основная часть первоначального прироста выходного напряжения погасится на транзисторе, а на выходе останется лишь малая нестабильность  $\Delta U_2$ , величина которой тем меньше, чем больше коэффициенты усиления усилителя и транзистора. В схемах с параллельным включением возрастание входного напряжения приводит к росту выходного напряжения, которое, действуя на базу транзистора, через усилитель, имеющий характеристику рис. 3.3, б приоткрывает его. Ток, потребляемый транзистором, возрастает и, протекая по гасящему резистору, увеличивает падение напряжения на нем. Поскольку для приращения напряжений в такой схеме соблюдается условие:

$$\Delta E = [\Delta I_H(t) + \Delta I_{mp}(t)] R_r + \Delta U(t) \quad (1.2)$$

то с ростом  $I_{тр}$  выходное напряжение начнет возвращаться к прежнему уровню, т. е.  $\Delta U(t)$  будет уменьшаться. В установившемся состоянии основная часть первоначального возмущения оказывается погашенной возросшим падением напряжения на резисторе  $R_r$ .

Из приведенного чисто качественного рассмотрения можно сделать два важных вывода. Во-первых, выходное напряжение регулируется с некоторым запаздыванием, определяемым инерционностью как усилителя, так и регулируемого триода. Во-вторых в выходном напряжении остается некоторая остаточная нестабильность, зависящая от коэффициента усиления усилителя, стоящего в цепи обратной связи. Это свойственно всем схемам с обратной связью и не является их серьезным недостатком, так как усилитель почти всегда-удается сделать таким, чтобы остаточная ошибка получалась весьма малой, а сам стабилизатор достаточно быстродействующим.

Вместе с тем введение обратной связи в стабилизатор придает ему ряд полезных качеств, важнейшими из которых являются: хорошая внешняя характеристика, высокие динамические показатели и хорошая стабильность выходного напряжения при изменении внешних условий.

Так, возрастание тока нагрузки, вызванное уменьшением ее сопротивления, в схемах рис. 8.2 приведет к первоначальному спаду выходного напряжения, а затем по мере приоткрывания транзистора выходное напряжение возвратится почти к первоначальному. Таким образом, введение обратной связи приводит к уменьшению выходного сопротивления стабилизатора, что, несомненно, полезно.

Аналогично влияние цепи обратной связи и в схеме с параллельным включением регулируемого транзистора. Если бы управление в этих схемах производилось не от выходного, а от входного напряжения, то они плохо реагировали бы на изменения тока нагрузки, т. е. имели бы большее выходное сопротивление.

В статическом состоянии все элементы схем приведенных стабилизаторов являются линейными (неизменными во времени) сопротивлениями и источниками э. д. с. Только при переходе от одного статического состояния к другому величины некоторых сопротивлений и э. д. с. изменяются. Поэтому такие стабилизаторы называют линейными.

Транзистор, а в схеме с параллельным включением и гасящий резистор  $R_r$  образуют силовую цепь стабилизатора. Цепь обратной связи стабилизатора включает в себя элементы, с помощью которых определяются знак и величина ухода выходного напряжения от стабилизируемого уровня, и усилитель этого выделенного сигнала ошибки. Та часть цепи обратной связи, где выделяется сигнал ошибки, называется схемой сравнения выходного напряжения с эталонным (опорным). Источниками опорного напряжения могут быть любые вторичные эталоны напряжения. Самым распространенным из них является стабилитрон (рис. 3.4).

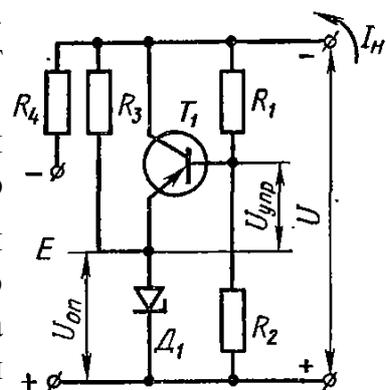


Рис. 3.4

Полупроводниковый (кремниевый) стабилитрон имеет вольт-амперную характеристику (рис. 4.1) с достаточно протяженным участком  $a-b$ , на котором значительным приращением тока соответствуют малые приращения напряжения. Этот участок получается при обратном смещении и характерен для режима так называемого электрического пробоя p-n-перехода. Если ток стабилитрона больше  $I_{max}$ , мощность, рассеиваемая в стабилитроне, превышает предельную, температура p-n перехода возрастает выше допустимой и возникает необратимый тепловой пробой, разрушающий p-n-переход. Электрический пробой является обратимым, и пологий участок характеристики стабилитрона повторяется от включения к включению с высокой точностью. Обычно ветвь обратного тока (рабочую ветвь) характеристики стабилитрона изображают при ином расположении координатных осей (рис. 4.2). При этом рабочий участок характеристики получается пологим.

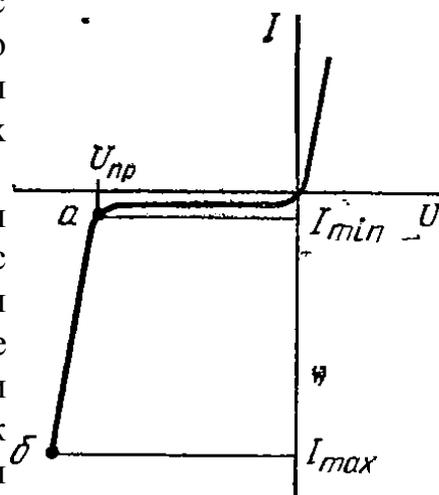


Рис. 4.1

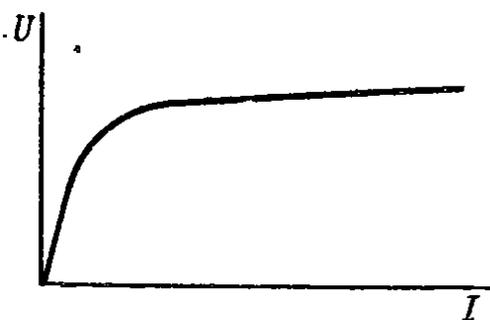


Рис. 4.2

По конструктивному выполнению (рис. 4.3) кремниевые стабилитроны аналогичны выпрямительным полупроводниковым диодам. К относительно массивному медному кристаллодержателю 1 (основание) припаивается монокристалл кремния 2 с электропроводностью p-

типа. Припой выбирается таким, чтобы с кремнием и медью он не создавал выпрямляющих контактов. С противоположной стороны кристалла создают путем сплавления алюминиевого электрода 4 зону электропроводности *n*-типа, а сам электрод сваривают с токоотводом и выводом 6. В кристалле образуется *p-n*-переход, 3. Всю конструкцию помещают в металлический корпус 5, привариваемый к основанию. Токоотвод пропускают через изолятор.

Кремниевые стабилитроны в сравнении с применявшимися ранее газовыми имеют много преимуществ. У них небольшие габариты и масса. У кремниевых стабилитронов характеристика не имеет точки перегиба и, следовательно, напряжения зажигания более высокого, чем напряжения пробоя. Это облегчает расчет, улучшает характеристики схемы. У полупроводниковых стабилитронов отсутствует и участок характеристики с отрицательным наклоном, что позволяет подключать параллельно ему конденсатор любой емкости.

Стабилитрон сохраняет напряжение стабилизации от одного включения к другому с очень высокой точностью.

Самым существенным недостатком кремниевых стабилитронов является изменение напряжения пробоя при изменении температуры. Однако теплового гистерезиса у стабилитронов не наблюдается, поэтому в схему стабилизации можно включать элементы температурной компенсации.

При температуре  $-40 \dots +60^\circ \text{C}$  напряжение стабилизации меняется у большинства стабилитронов практически линейно. Поэтому температурную нестабильность напряжения удобно учитывать с помощью температурного коэффициента напряжения по формуле:

$$\Delta U_{\text{ст}} = \gamma \Delta t, \quad (1.3)$$

где  $\lambda$  — абсолютный температурный коэффициент;  $\Delta t$  — изменение температуры *p-n*-перехода.

Типовые характеристики стабилитронов с разными напряжениями стабилизации, снятые при температурах 20 и  $60^\circ \text{C}$  (рис. 4.4), показывают, что стабилитроны с напряжением стабилизации меньше 5 В имеют отрицательный температурный коэффициент, а стабилитроны с напряжением стабилизации больше 5 В — положительный.

Из нескольких стабилитронов с разными по знаку температурными

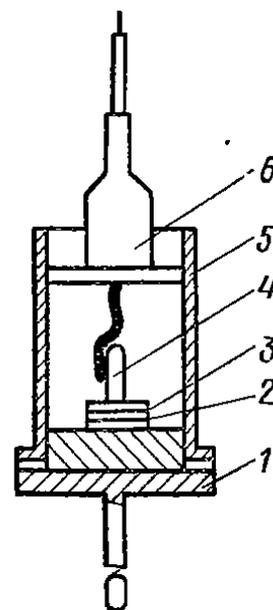


Рис. 4.3

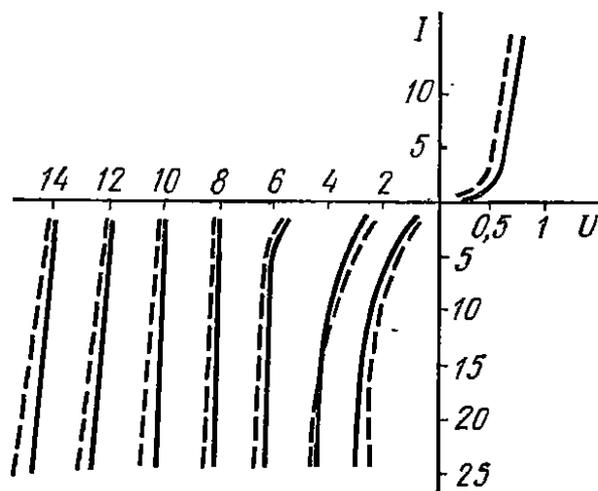


Рис. 4.4

коэффициентами можно составить схему с общим температурным коэффициентом, близким к нулю. Это так называемые схемы температурной компенсации.

### Компенсационные стабилизаторы.

Компенсационные стабилизаторы обладают более лучшими параметрами, чем параметрические стабилизаторы. Общий принцип их действия основан на том, что последовательно или параллельно с нагрузкой включается некоторое компенсационное сопротивление  $R_k$  (рис. 5.1).

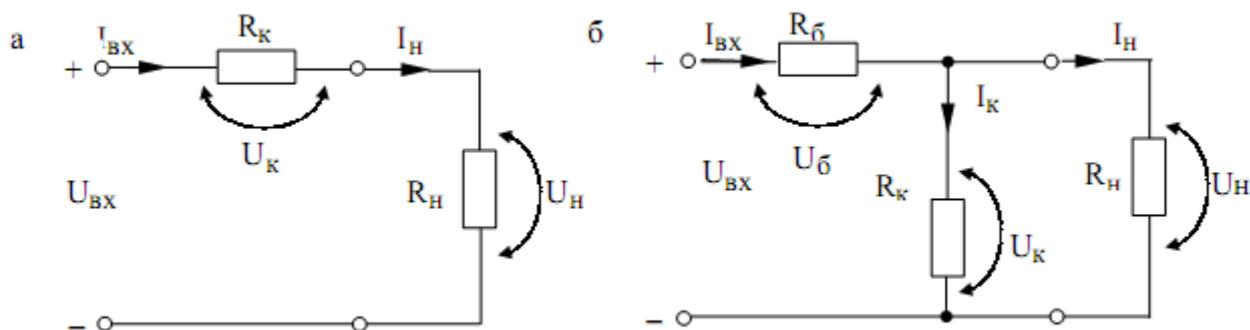


Рис. 5.1. Компенсационные стабилизаторы а – последовательный; б – параллельный.

В зависимости от вида подключения  $R_k$  компенсационные стабилизаторы делятся на последовательные и параллельные. В схеме последовательного стабилизатора входное напряжение  $U_{вх}$  распределяется между  $R_k$  и  $R_n$ :

$$U_{вх} = U_k + U_n.$$

Стабилизация напряжения на нагрузке достигается за счет изменения  $R_k$ , а следовательно и падения напряжения на  $R_k$  в соответствии с принципом:

$$\begin{aligned} U_n \uparrow &\rightarrow R_k \uparrow \rightarrow (U_k = U_{вх} - U_n) \uparrow \rightarrow U_n \downarrow \\ U_n \downarrow &\rightarrow R_k \downarrow \rightarrow (U_k = U_{вх} - U_n) \downarrow \rightarrow U_n \uparrow \end{aligned}$$

При параллельном соединении компенсационного резистора и нагрузки  $U_{вх}$  подается на делитель напряжения, образованный балластным резистором  $R_b$  и параллельно включенными  $R_k$  и  $R_n$ . Стабилизация напряжения  $U_n$  осуществляется за счет изменения  $R_k$ . При этом изменяется ток  $I_{вх} = I_k + I_n$ . Изменение  $I_{вх}$  приводит к изменению падения напряжения на балластном сопротивлении  $U_b$  и напряжение на нагрузке поддерживается постоянным:

$$\begin{aligned} U_n \uparrow &\rightarrow R_k \downarrow \rightarrow I_k \uparrow \rightarrow (I_{вх} = I_k + I_n) \uparrow \rightarrow U_b \uparrow \rightarrow U_n \downarrow \\ U_n \downarrow &\rightarrow R_k \uparrow \rightarrow I_k \downarrow \rightarrow (I_{вх} = I_k + I_n) \downarrow \rightarrow U_b \downarrow \rightarrow U_n \uparrow \end{aligned}$$

Изменение сопротивления  $R_k$  в стабилизаторах происходит автоматически в зависимости от текущих значений  $I_n$ ,  $U_{вх}$  и  $U_n$ . Чаще всего в

качестве  $R_k$  используются транзисторы (рис 5.2). При использовании биполярного транзистора  $R_k$  представляет собой сопротивление перехода коллектор–эмиттер ( $R_k = R_{кэ}$ ). Управляющим электродом является база транзистора. Для полевого транзистора  $R_k$  – сопротивление канала между стоком и истоком ( $R_k = R_{си}$ ). Управляющим электродом является затвор.

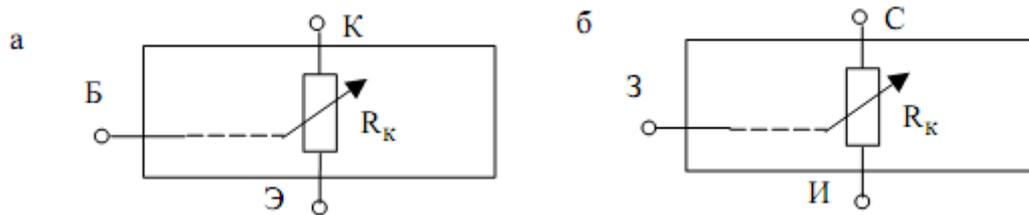


Рис. 5.2. Транзисторы в качестве компенсационных сопротивлений: а – биполярный; б – полевой.

Параллельные стабилизаторы имеют меньший КПД и применяются реже. Для стабилизации повышенных напряжений и токов при переменных нагрузках обычно используют стабилизаторы напряжения последовательного типа. Однако данные устройства необходимо защищать от короткого замыкания выходной цепи и выбирать транзистор с допустимым напряжением  $U_{кэ} > U_{вх}$ . Структурные схемы компенсационных стабилизаторов представлены на рис.5.3.

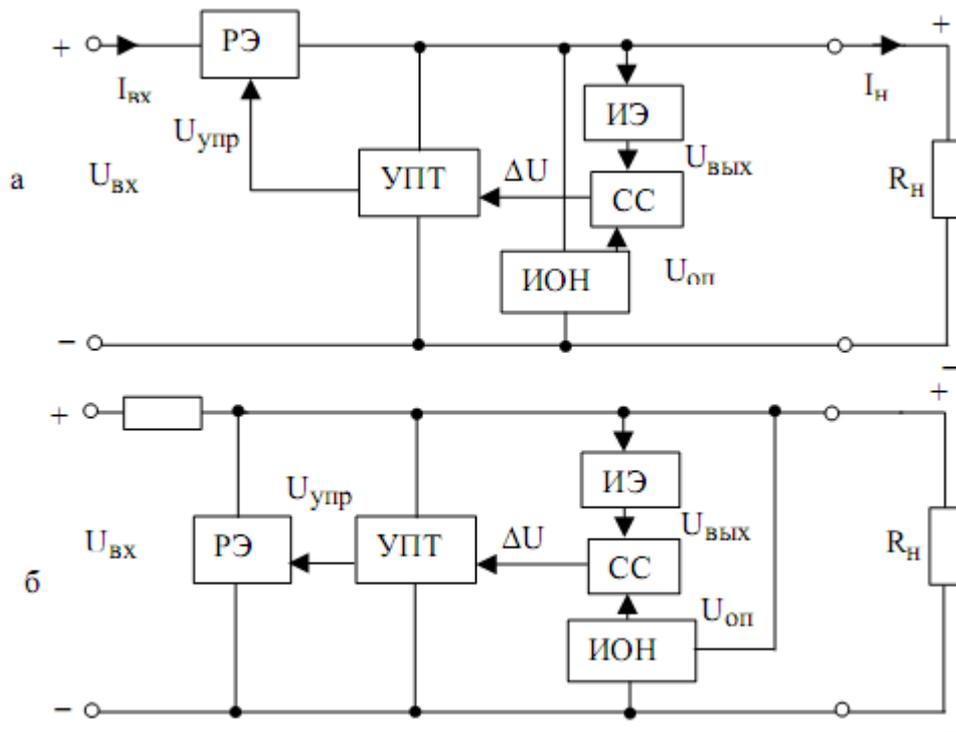


Рис. 5.3. Структурные схемы компенсационных стабилизаторов РЭ – Регулирующий элемент; УПТ – Усилитель постоянного тока; ИЭ – Измерительный элемент; ИОН – Источник опорного напряжения; СС – Схема сравнения;  $R_н$  – Сопротивление нагрузки;  $R_б$  – Балластный резистор.

Регулирующим элементом является транзистор. На схему сравнения поступает два напряжения: опорное и выходное. Разность этих напряжений  $\Delta U = U_{\text{вых}} - U_{\text{оп}}$ , усиленная усилителем постоянного тока является управляющим напряжением  $U_{\text{упр}}$ , задающим необходимое внутреннее сопротивление РЭ.

Рассматриваемые устройства, в отличие от параметрических стабилизаторов, имеют меньшее выходное сопротивление за счет наличия отрицательной обратной связи по напряжению, а следовательно, и лучшие стабилизирующие свойства.

Источник опорного напряжения (ИОН) обычно представляет собой однокаскадный параметрический стабилизатор на кремниевом стабилитроне. От качества ИОН существенно зависит качество работы стабилизатора. Если по какой-либо причине изменяется напряжение стабилизации стабилитрона, то изменяется и напряжение на выходе компенсационного стабилизатора. Это следует учитывать при выборе стабилитрона. Прежде всего необходимо обращать внимание на:

- 1) разброс значений напряжения стабилизации, который, в среднем составляет от 0,1 до 0,4 В;
- 2) температурный коэффициент напряжения стабилизации;
- 3) допустимый диапазон изменения тока стабилизации.

Назначение схемы сравнения – определять отклонение выходного напряжения (или его части) от заданного (опорного) напряжения  $U_{\text{оп}}$  и передавать это отклонение на схему УПТ по цепи обратной связи. Схема сравнения может быть выполнена на одном или нескольких транзисторах. В стабилизаторах напряжения ее обычно совмещают с УПТ (усилителем сигнала рассогласования) и источником опорного напряжения. Измерительный элемент обычно представляет собой резистивный делитель напряжения подключенный к выходу стабилизатора. Основное требование к ИЭ – постоянство коэффициента деления. В цепи ИЭ может быть включен переменный или подстроечный резистор, что позволяет в определенных пределах изменять выходное напряжение.

Принципиальная схема простого компенсационного стабилизатора напряжения представлена на рис. 5.4. Регулирующим элементом является транзистор VT1 ( $R_k = R_{KЭ1}$ ). Резистор R2 со стабилитроном VD образуют параметрический стабилизатор напряжения (источник опорного напряжения). Резисторы R3 и R4 являются делителем выходного напряжения (ИЭ). На транзисторе VT2 выполнена схема сравнения и УПТ.

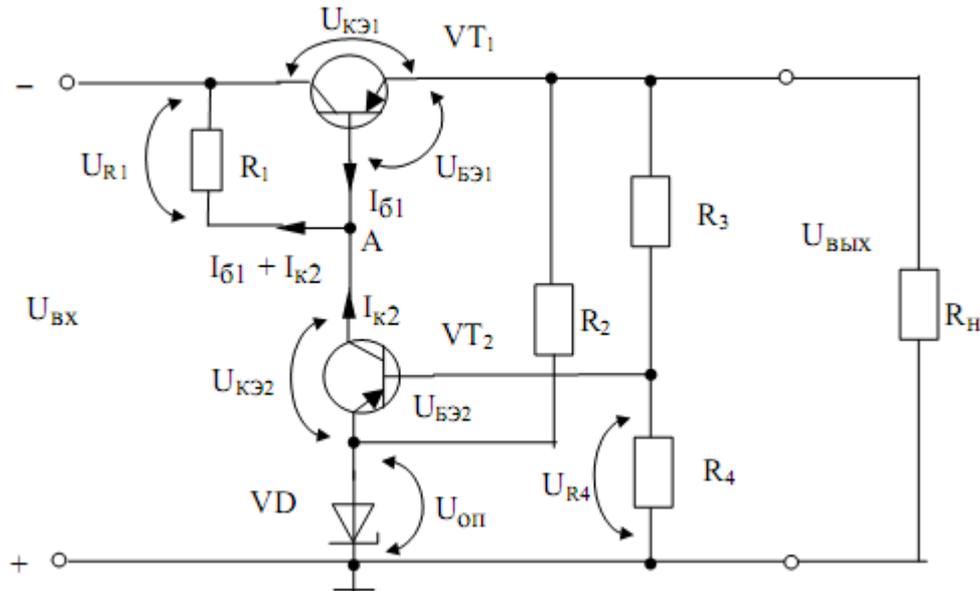


Рис. 5.4. Последовательный компенсационный стабилизатор на двух транзисторах

Потенциал точки А относительно земли  $U_A$  зависит от входного напряжения  $U_{вх}$  и состояния транзистора  $VT_2$ , переход коллектор-эмиттер, которого можно рассматривать как нижнее по схеме плечо делителя напряжения  $U_{вх} - U_{оп}$  (верхнее плечо – резистор  $R_1$ ). Очевидно, что

$$U_{вх} = U_{оп} + U_{КЭ2} + U_{R1} \text{ и } U_A = U_{вх} - U_{R1} = U_{КЭ2} + U_{оп}.$$

Учитывая, что транзистор  $VT_1$  включен по схеме повторителя напряжения (коллектор является общим электродом, а выходное напряжение снимается с эмиттера), и принимая во внимание малость падения напряжения  $U_{БЭ1}$  по сравнению с  $U_{вых}$ , можно считать, что  $U_{вых} \approx U_A$ . Следовательно задача стабилизации выходного напряжения заключается в поддержании постоянной величины  $U_A = U_{вх} - U_{R1}$ .

Пусть под действием дестабилизирующих факторов напряжение на нагрузке увеличилось. Это приведет к возрастанию напряжения

$$U_{БЭ2} = U_{R4} - U_{оп}$$

( $U_{R4}$  увеличивается, а  $U_{оп} = \text{const}$ ), следствием чего станет увеличение коллекторного тока транзистора  $VT_2$ . В результате роста  $I_{К2}$  увеличивается падение напряжения на резисторе  $R_1$ , потенциал точки А уменьшается, а следовательно, и выходное напряжение.

При уменьшении выходного напряжения уменьшается напряжение

$$U_{БЭ2} = U_{R4} - U_{оп}.$$

Сопротивление перехода коллектор-эмиттер  $VT_2$  увеличивается, а  $I_{К2}$  уменьшается, следствием чего становится уменьшение  $U_{R1} = R_1 \cdot (I_{К2} + I_{Б2})$ . Потенциал точки А, а следовательно, и выходное напряжение увеличивается.

В символьной форме механизм стабилизации напряжения можно представить следующим образом:

$$U_{\text{ВЫХ}} \uparrow \rightarrow U_{R4} \uparrow \rightarrow (U_{\text{БЭ2}} = U_{R4} - U_{\text{ОП}}) \uparrow \rightarrow R_{\text{КЭ2}} \downarrow \rightarrow I_{\text{К2}} \uparrow \rightarrow [U_{R1} = R_1(I_{\text{К2}} + I_{\text{Б2}})] \uparrow \rightarrow U_{\text{А}} \downarrow \rightarrow U_{\text{ВЫХ}} \downarrow$$

$$U_{\text{ВЫХ}} \downarrow \rightarrow U_{R4} \downarrow \rightarrow (U_{\text{БЭ2}} = U_{R4} - U_{\text{ОП}}) \downarrow \rightarrow R_{\text{КЭ2}} \uparrow \rightarrow I_{\text{К2}} \downarrow \rightarrow [U_{R1} = R_1(I_{\text{К2}} + I_{\text{Б2}})] \downarrow \rightarrow U_{\text{А}} \uparrow \rightarrow U_{\text{ВЫХ}} \uparrow$$

Схема последовательного стабилизатора с дифференциальным УПТ представлена на рис. 5.5. В этой схеме транзистор VT3 используется как обычный УПТ. На его базу подается часть выходного напряжения, снимаемого с резистора R4 делителя выходного напряжения, состоящего из резисторов R3 и R4. На эмиттер VT3 подается опорное напряжение, но не прямо со стабилитрона VD, а через эмиттерный повторитель на транзисторе VT2, в эмиттерную цепь которого включен резистор R5. Падение напряжения на этом резисторе и используется в качестве опорного.

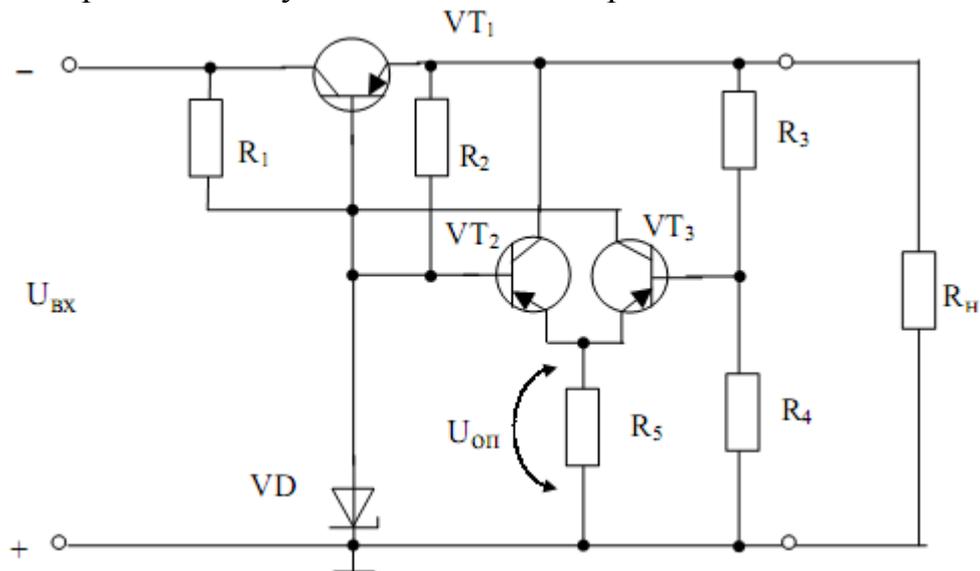


Рис. 5.5. Последовательный компенсирующий стабилизатор с дифференциальным УПТ.

Схема простого параллельного стабилизатора показана на рис.5.6. Назначение элементов схемы (рис. 5.6) аналогично рассмотренным выше компенсационным стабилизаторам последовательного типа. Регулирующим элементом является транзистор VT1, усилителя постоянного тока – VT2. Измерительный элемент образован резисторами R3 и R4. Источником опорного напряжения является однокаскадный параметрический стабилизатор (элементы R, VD).

Напряжение на базе VT2 равно разности между частью выходного напряжения, снимаемого с резисторов R3 и R4 и опорным напряжением. Ток базы регулирующего транзистора VT1 протекает через переход коллектор - эмиттер VT2 и зависит от разности указанных выше напряжений.

При увеличении выходного напряжения под действием

дестабилизирующих факторов транзистор VT2 открывается в большей степени, его коллекторный ток возрастает, что приводит к возрастанию тока коллектора VT1 и увеличению падения напряжения на резисторе R1. Последнее компенсирует увеличение выходного напряжения. При уменьшении выходного напряжения, напротив, транзисторы VT1 и VT2 в большей степени закрываются, что приводит к уменьшению падения напряжения на резисторе R1 и компенсации уменьшения выходного напряжения.

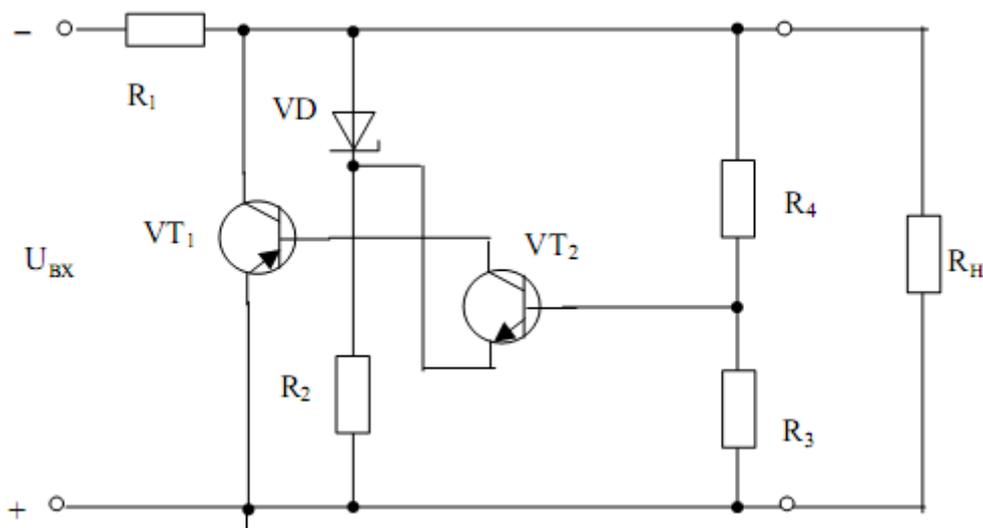


Рис. 5.6. Параллельный компенсационный стабилизатор.

### Стабилизаторы напряжения на интегральных микросхемах.

Применение ИМС существенно улучшает параметры стабилизаторов напряжения и упрощает их схемотехнику. Как отмечалось выше, компенсационный стабилизатор представляет собой следящую систему, которая автоматически поддерживает постоянное значение выходного напряжения.

Снижая до минимума сигнал рассогласования  $\Delta U = K_1 \cdot U_{\text{вых}} - K_2 \cdot U_{\text{оп}}$ , где  $K_1$  и  $K_2$  – коэффициенты пропорциональности (в частном случае  $K_1 = K_2 = 1$ , если не осуществляется деление соответствующих напряжений). Качество стабилизации зависит от параметров усилителя сигнала рассогласования  $\Delta U$ . Поэтому применение ИМС, например, операционных усилителей в качестве устройств формирования сигналов управления проходными транзисторами, увеличивает коэффициент стабилизации стабилизаторов и снижает их выходное сопротивление. Кроме этого для построения ИП широко используются интегральные стабилизаторы напряжения.

Стабилизатор напряжения с регулирующим ОУ. На рис. 5.7 представлена схема простого стабилизатора напряжения с регулируемым ОУ. Схема состоит из ОУ, включенного по схеме неинвертирующего усилителя (для опорного напряжения  $U_{\text{оп}}$ ) с отрицательной обратной связью по напряжению. Сигнал обратной связи снимается с положительного полюса

нагрузки  $R_H$ , и ОУ таким образом «отрабатывает» выходное напряжение в соответствии с зависимостью:  $U_{\text{вых}} = U_{\text{оп}} \cdot (1 + R_2 / R_1)$ . Необходимый при этом значении  $U_{\text{вых}}$  ток нагрузки обеспечивается проходным транзистором VT, включенным по схеме эмиттерного повторителя. При больших токах нагрузки этот транзистор может быть составным. Питание ОУ осуществляется не симметричными относительно земли напряжениями, а положительным однополярным напряжением. Это накладывает ограничение на полярность входного и опорного напряжений, которая может быть только положительной. ОУ будучи достаточно хорошим усилителем напряжения, поддерживает величину выходного напряжения практически постоянной. При этом стабилизатор эффективно подавляет пульсации  $U_{\text{вх}}$ , оставшиеся после выпрямления и низкочастотной фильтрации пониженного напряжения питающей сети. Колебания  $U_{\text{вх}}$  практически не влияют на стабильность  $U_{\text{вых}}$ , так как дрейф выходного напряжения ОУ, вызванный изменением напряжения питания крайне мал.

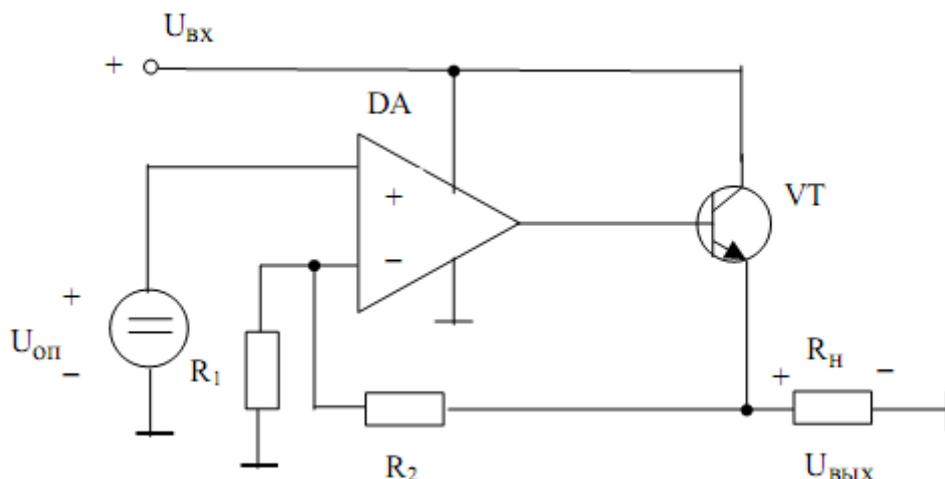


Рис. 5.7. Базовая схема компенсационного стабилизатора напряжения с регулирующим ОУ.

Учитывая, что ОУ получает однополярное питание, положительное напряжение питания ОУ можно увеличить примерно в два раза. Таким образом, стандартные ОУ, рассчитанные на питание  $\pm 15$  В, можно использовать в схемах с  $U_{\text{вх}}$  до 30 В.

Многие интегральные ОУ имеют внутренние схемы ограничения выходного тока (типовое значение 7 – 20 мА), благодаря чему устанавливается некоторое предельное значение тока базы проходного транзистора  $I_{\text{б}}$ . Следовательно, для схемы (рис.2.46) ток нагрузки также ограничен уровнем  $I_{\text{б}}$ . Поэтому для обеспечения потребного значения тока нагрузки необходим обоснованный выбор величины коэффициента передачи тока  $\beta$ . Однако этого не достаточно для ограничения выходного тока стабилизатора при коротком замыкании в нагрузке. При коротком замыкании выхода проходной транзистор будет стремиться к тепловому пробую. Кроме этого, для одного и того же типа транзисторов разброс  $\beta$  довольно велик и сам  $\beta$  является функцией

температуры и коллекторного тока.

Интегральный стабилизатор может быть сделан на основе схемы с регулирующим ОУ. Для чего необходимо выполнить в едином кристалле стабилизатор и вывести наружу минимум три вывода (рис.5.8).

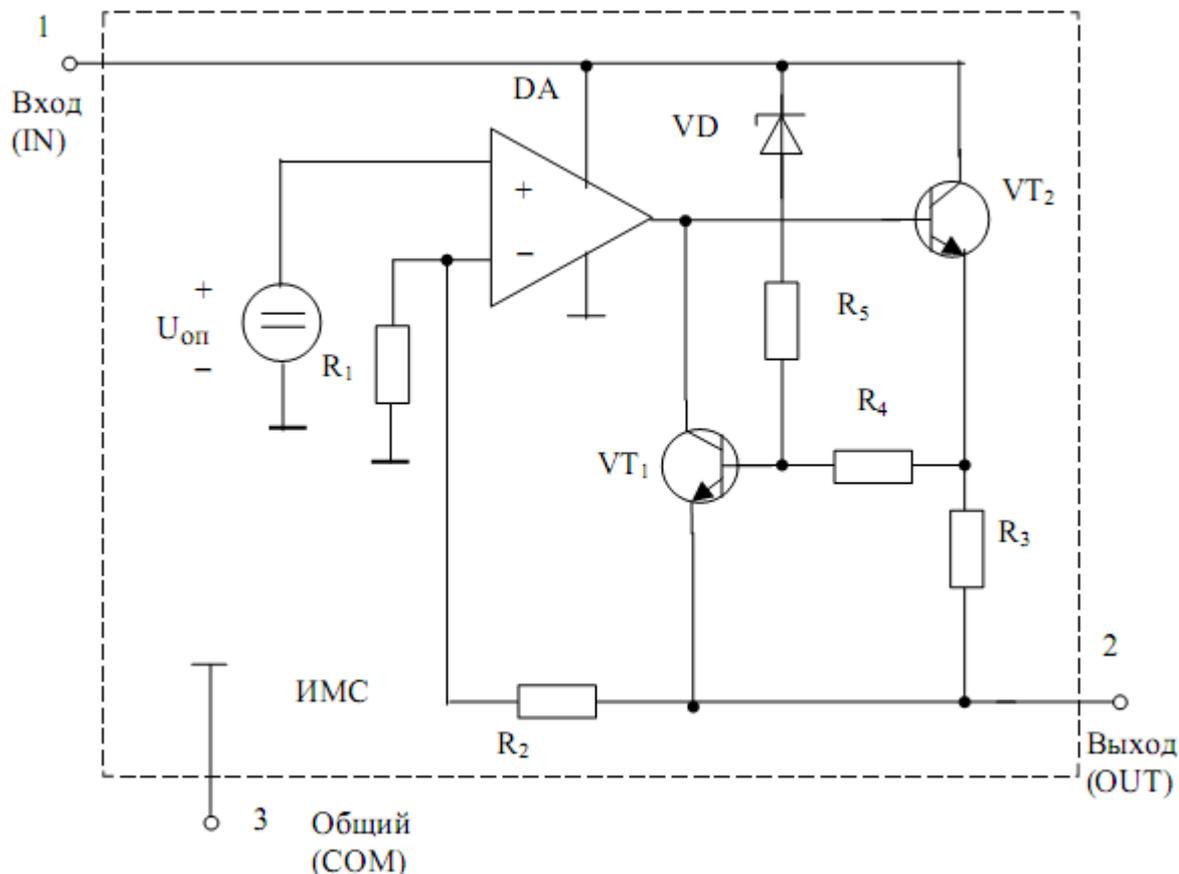


Рис. 5.8. Интегральный стабилизатор напряжения.

Микросхему (рис. 5.8) называют стабилизатором положительного напряжения, так как относительно общего вывода (COM) на его входном и выходном выводах положительный потенциал. Выпускаются также стабилизаторы отрицательного напряжения, двуполярные стабилизаторы (симметричные положительное и отрицательное напряжения относительно общего вывода), многоканальные стабилизаторы (обеспечивают несколько различных по величине выходных напряжений).

Трехвыводные стабилизаторы выпускаются на фиксированные значения выходного напряжения, большей частью от 5 до 24 В. Применение интегральных стабилизаторов значительно упрощает задачу построения стабилизированных источников питания. На вход ИМС стабилизатора подается выпрямленное напряжение несколько большее по величине выходного напряжения (минимальный перепад от 0,5 – 3 В с учетом пульсаций и возможных просадок). К выходу микросхемы подключается нагрузка (рис.5.9). Конденсаторы С1 и С2 гасят броски напряжения, вызванные переходными процессами, и предотвращают возбуждение ИМС.

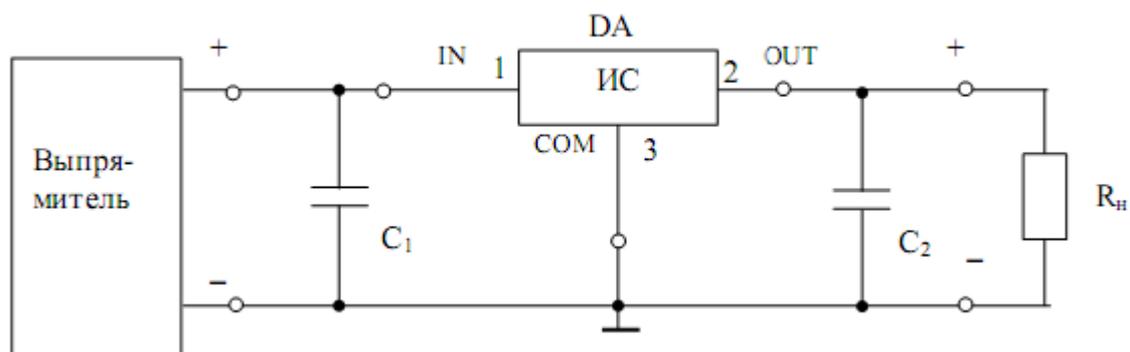


Рис. 5.9. Включение трехвыводной ИМС для стабилизации напряжения.

Наряду с трехвыводными стабилизаторами, рассчитанными на фиксированное значение выходного напряжения, промышленностью выпускается четырех- и более выводные микросхемы, в которых по крайней мере реализуется функция изменения выходного напряжения. Такие стабилизаторы называются регулируемыми. Следует отметить, что и среди трехвыводных микросхем есть регулируемые стабилизаторы – с малым фиксированным значением выходного напряжения (порядка 1,2 В). При этом изменение напряжения на нагрузке осуществляется за счет искусственного изменения потенциала вывода COM стабилизатора относительно общего (заземленного) полюса нагрузки.

Источники питания на трехвыводных ИС. На рис. 5.10 и 5.11 представлены схемы простейших стабилизированных ИП на трехвыводных ИС.

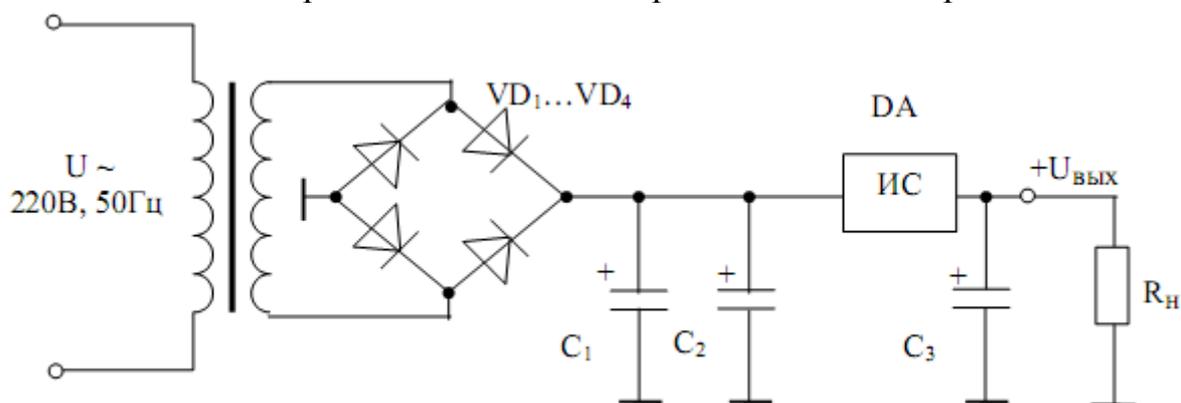


Рис. 5.10. Источник питания со стабилизатором положительного напряжения.

Конденсатор  $C_1$  емкостью несколько сотен мкФ служит для сглаживания выпрямленного напряжения. Конденсаторы  $C_2$  и  $C_3$  емкостью несколько мкФ способствуют стабильной работе ИС. Они должны располагаться как можно ближе к выводам ИС, а лучше припаиваться непосредственно к ним. В указаниях по использованию для большинства стабилизаторов отмечается, что если длина проводников соединяющих конденсатор фильтра  $C_1$  с ИС не превышает 70 мм, то необходимости в использовании конденсатора на входе стабилизатора  $C_2$  нет.

Отечественной и зарубежной промышленностью выпускаются сотни

разновидностей трехвыводных ИС, рассчитанных на выходные напряжения от 5 до 24 В и отдаваемый ток от 0,1 до 2,0 и более ампер. Для реализации ИП (рис. 5.10 и 5.11) с выходным током до 1 А часто используются классические ИС стабилизаторов положительного  $\mu A78xx$  и отрицательного  $\mu A79xx$  напряжений (первые две буквы — шифр производителя, две последние цифры указывают на величину выходного напряжения).

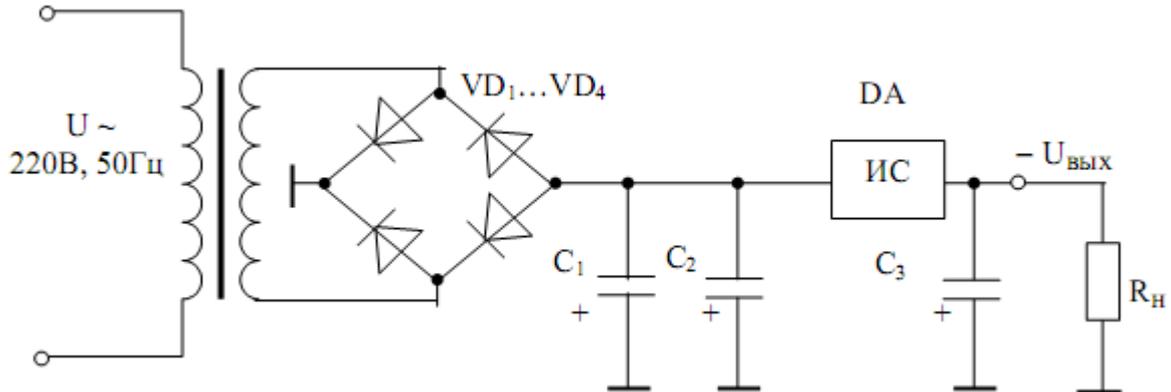


Рис. 5.11. Источник питания со стабилизатором отрицательного напряжения.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.

### Приборы и оборудование.

Лабораторная работа проводится на учебной установке РТИПЛ-1, схема которой приведена на рис. 6.1.

### Установка учебная РТИПЛ-1 Изучение стабилизаторов постоянных напряжений

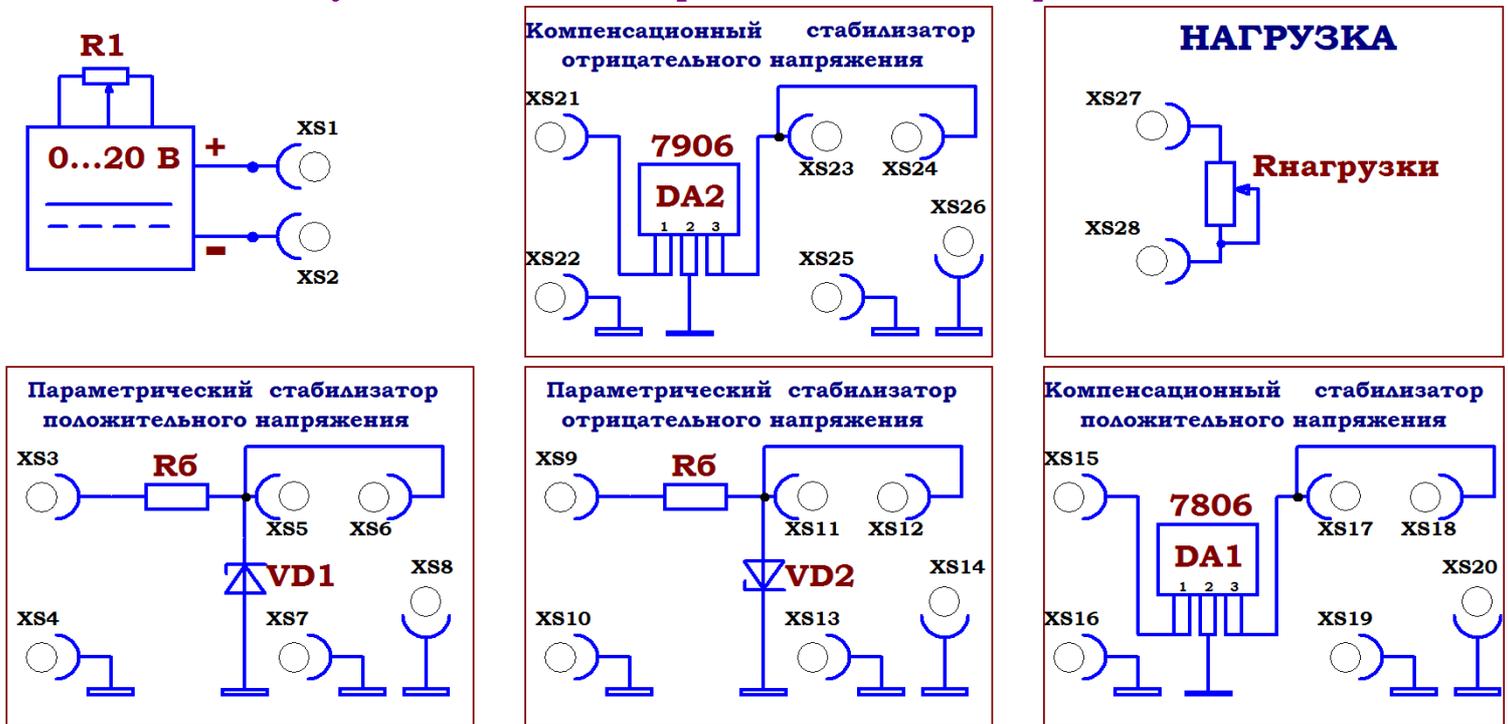
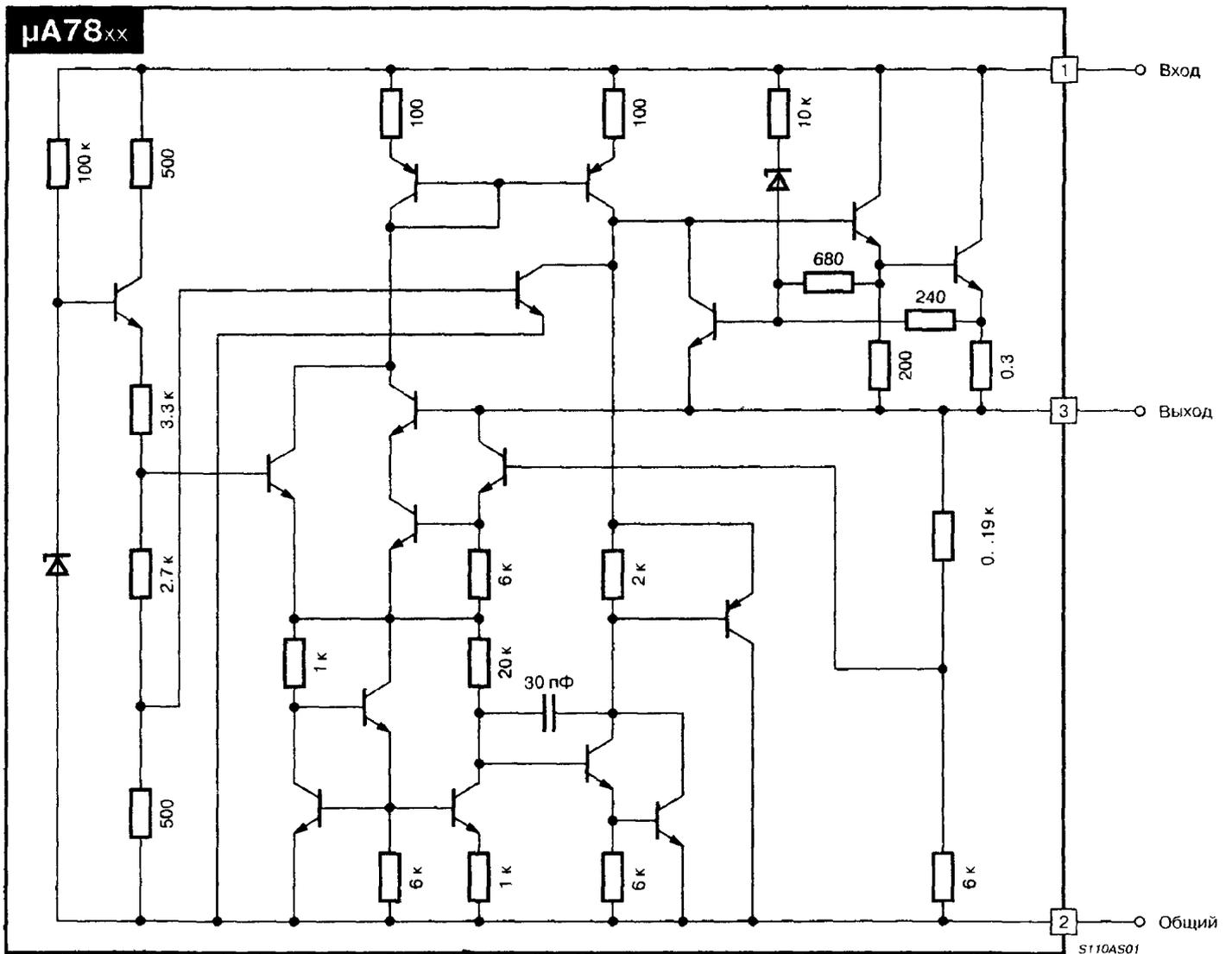


Рис. 6.1. Принципиальная электрическая блок — схема учебной установки РТИПЛ-1

В эксперименте изучаются четыре типа линейных стабилизаторов постоянного напряжения: параметрический стабилизатор положительного напряжения; параметрический стабилизатор отрицательного напряжения; компенсационный стабилизатор положительного напряжения на основе интегральной схемы типа 7806; компенсационный стабилизатор отрицательного напряжения на основе интегральной схемы типа 7906. Параметрические стабилизаторы положительного и отрицательного напряжений собраны с помощью стабилитрона с напряжением стабилизации  $U_{ст} = 9,0$  Вольт. Компенсационные стабилизаторы изготовлены на базе интегральных схем DA1 типа 7806 и DA2 типа 7906. Принципиальные электрические схемы данных микросхем представлены на рис. 6.2 и 6.4, а технические характеристики в соответствующих таблицах.

Схема для исследования собирается самостоятельно при помощи входящей в комплект перемычки типа «тюльпан — тюльпан», комбинированных перемычек типа «тюльпан (штекер)+тюльпан (гнездо) — тюльпан (штекер)» и трех универсальных мультиметров. Для регулировки входного напряжения и сопротивления нагрузки предусмотрены ручки учебной установки регулировки «ВХОДНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ R1» и «НАГРУЗКА».



Корпус типа: TO-220 для приборов с суффиксами UC

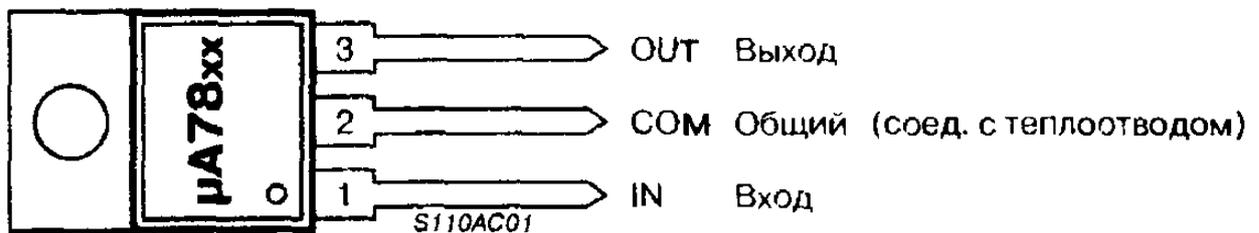


Рис. 6.2. Принципиальная электрическая схема компенсационного стабилизатора напряжения типа 78xx и внешний вид корпуса.

Таблица 1. Микросхема 7806.

ДЛЯ  $\mu A7806$ :При  $V_{IN} = 10 \text{ В}$ ,  $I_{OUT} = 500 \text{ мА}$ ,  $C_{IN} = 0.33 \text{ мкФ}$ ,  $C_{OUT} = 0.1 \text{ мкФ}$ ,  $0 \leq T_J \leq +125^\circ\text{С}$ , если не указано иначе.

Символ	Параметр	Условия	Значение			Единицы измерения
			не менее	типичное	не более	
$V_O$	Выходное напряжение	$T_J = 25^\circ\text{С}$	5.75	6.0	6.25	В
		$8 \leq V_{IN} \leq 21 \text{ В}$ , $0.005 \leq I_{OUT} \leq 1.0 \text{ А}$ , $P = 15 \text{ Вт}$	5.65	—	6.35	мВ
$V_{R\text{ LINE}}$	Нестабильность по входному напряжению	$T_J = 25^\circ\text{С}$ , $8 \leq V_{IN} \leq 25 \text{ В}$	—	5	60	мВ
		$T_J = 25^\circ\text{С}$ , $9 \leq V_{IN} \leq 13 \text{ В}$	—	1.5	30	мВ
$V_{R\text{ LOAD}}$	Нестабильность по току нагрузки	$T_J = 25^\circ\text{С}$ , $0.005 \leq I_{OUT} \leq 1.5 \text{ А}$	—	14	100	мВ
		$T_J = 25^\circ\text{С}$ , $0.25 \leq I_{OUT} \leq 0.75 \text{ А}$	—	4	30	мВ
$I_Q$	Ток потребления	$T_J = 25^\circ\text{С}$	—	4.3	6.0	мА
$\Delta I_Q$	Изменение тока потребления	При изменен. вх. напр., $9 \leq V_{IN} \leq 25 \text{ В}$	—	—	0.8	мА
		При изменен. тока нагр., $0.005 \leq I_{OUT} \leq 1.0 \text{ А}$	—	—	0.5	мА
$V_n$	Напряжение шумов на выходе	$T_A = 25^\circ\text{С}$ , $0.01 \leq f \leq 100 \text{ кГц}$	—	8	40	мкВ/ $V_{OUT}$
$\Delta V_{IN}/\Delta V_O$	Коэффициент подавления пульсаций	$f = 120 \text{ Гц}$ , $9 \leq V_{IN} \leq 19 \text{ В}$	65	75	—	дБ
$\Delta V$	Падение напряжения вход-выход	$T_J = 25^\circ\text{С}$ , $I_{OUT} = 1.0 \text{ А}$	—	2.0	2.5	В
$I_{PEAK}$	Пиковый выходной ток	$T_J = 25^\circ\text{С}$	—	2.2	3.3	А
$\Delta V_O/\Delta T$	Среднее значение ТК выходного напряжения	$I_{OUT} = 5 \text{ мА}$ , $-55 \leq T_J \leq +25^\circ\text{С}$	—	—	0.4	мВ/ $^\circ\text{С}/V_{OUT}$
		$I_{OUT} = 5 \text{ мА}$ , $+25 \leq T_J \leq +150^\circ\text{С}$	—	—	0.3	мВ/ $^\circ\text{С}/V_{OUT}$
$R_{OUT}$	Выходное сопротивление	$f = 1 \text{ кГц}$	—	19	—	МОм
$I_{SHORT}$	Ток КЗ	$T_J = 25^\circ\text{С}$ , $V_{IN} = 35 \text{ В}$	—	0.75	1.2	А

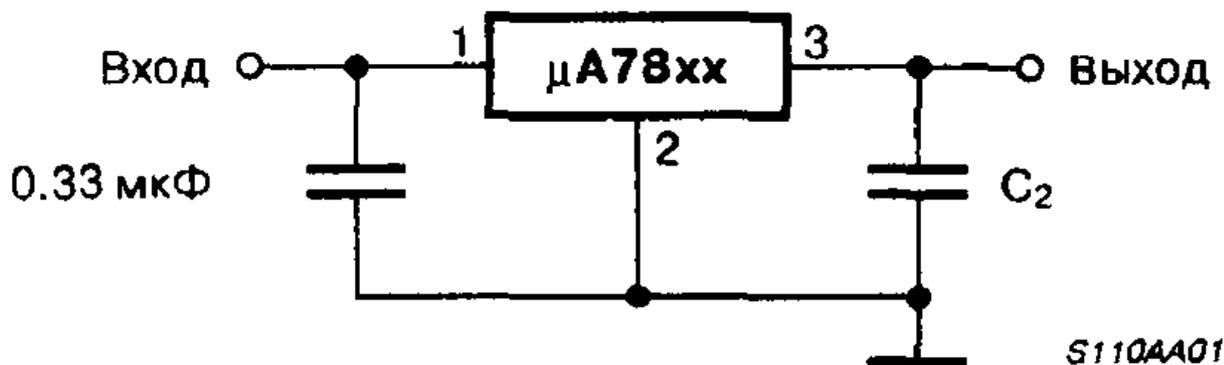


Рис. 6.3. Рекомендуемая типовая схема включения стабилизаторов типа 78xx.

Для обеспечения устойчивой работы микросхем серии  $\mu A78xx$  во всем диапазоне допустимых значений входного напряжения и выходного тока рекомендуется применять шунтирующие на землю конденсаторы. Использовать в качестве шунтирующих (емкость на входе 2 мкФ и на выходе 1 мкФ), керамические и танталовые конденсаторы предпочтительнее, так как они имеют хорошие характеристики на высоких частотах. При использовании алюминиевых электролитических конденсаторов, их емкость должна быть не менее 10 мкФ. Монтаж шунтирующих конденсаторов должен выполняться предельно короткими проводниками и, по возможности, непосредственно рядом с соответствующими выводами стабилизатора.

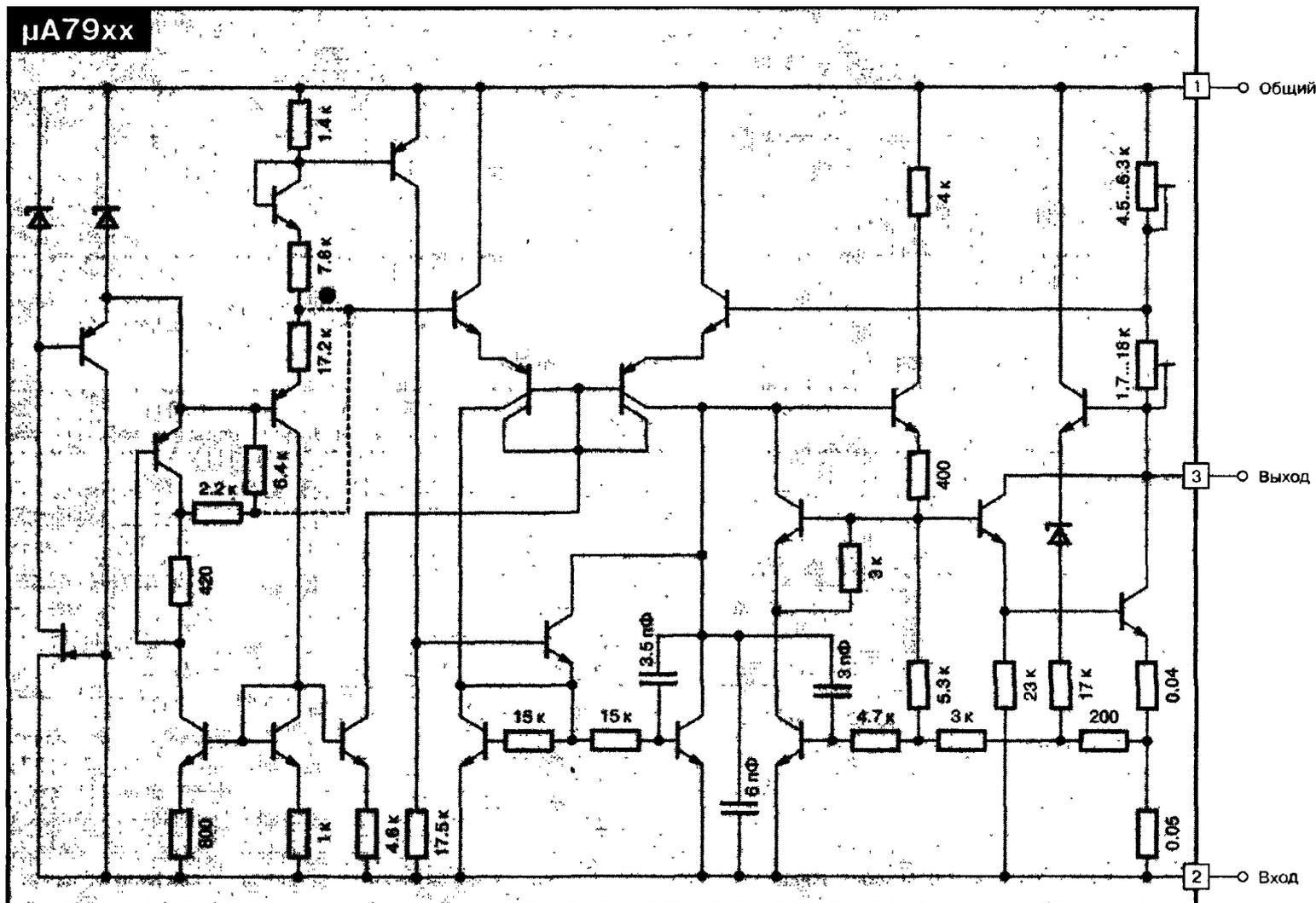


Рис. 6.4. Принципиальная электрическая схема компенсационного стабилизатора напряжения типа 79xx.

Для  $\mu A7906$ :

$V_{IN} = -11$  В,  $I_{OUT} = 500$  мА,  $C_{IN} = 2$  мкФ,  $C_{OUT} = 1$  мкФ,  $-55 \leq T_J \leq +150^\circ\text{C}$ , если не указано иначе.

Таблица 2. Микросхема 7906.

Символ	Параметр	Условия	Значение			Единицы измерения
			не менее	типовое	не более	
$V_O$	Выходное напряжение	$T_J = 25^\circ\text{C}$	-5.75	-6.0	-6.25	В
		$-9 \leq V_{IN} \leq -21$ В, $0.005 \leq I_{OUT} \leq 1.0$ А, $P = 15$ Вт	-5.65	—	-6.35	В
$V_{R\ LINE}$	Нестабильность по входному напряжению	$T_J = 25^\circ\text{C}$ , $-8 \leq V_{IN} \leq -25$ В	—	5	60	мВ
		$T_J = 25^\circ\text{C}$ , $-9 \leq V_{IN} \leq -13$ В	—	1.5	30	мВ
$V_{R\ LOAD}$	Нестабильность по току нагрузки	$T_J = 25^\circ\text{C}$ , $0.005 \leq I_{OUT} \leq 1.5$ А	—	14	60	мВ
		$T_J = 25^\circ\text{C}$ , $0.25 \leq I_{OUT} \leq 0.75$ А	—	4.0	30	мВ
$I_O$	Ток потребления	$T_J = 25^\circ\text{C}$	—	1.0	2.0	мА
$\Delta I_O$	Изменение тока потребления	При изменен. вх. напр., $-9 \leq V_{IN} \leq -25$ В	—	—	1.3	мА
		При изменен. тока нагр., $0.005 \leq I_{OUT} \leq 1.0$ А	—	—	0.5	мА
$V_n$	Напряжение шумов на выходе	$T_A = 25^\circ\text{C}$ , $0.01 \leq f \leq 100$ кГц	—	25	80	мкВ/ $V_{OUT}$
$\Delta V_{IN}/\Delta V_O$	Коэффициент подавления пульсаций	$f = 120$ Гц, $-9 \leq V_{IN} \leq -19$ В	54	60	—	дБ
$\Delta V$	Падение напряжения вход-выход	$T_J = 25^\circ\text{C}$ , $I_{OUT} = 1.0$ А	—	1.1	2.3	В
$I_{PEAK}$	Пиковый выходной ток	$T_J = 25^\circ\text{C}$	1.3	2.1	3.3	А
$\Delta V_O/\Delta T$	Среднее значение ТК выходного напряжения	$I_{OUT} = 5$ мА	—	—	0.3	мВ/ $^\circ\text{C}/V_{OUT}$
$I_{SHORT}$	Ток КЗ	$T_J = 25^\circ\text{C}$ , $V_{IN} = -35$ В	—	—	1.2	А

Микросхемы стабилизаторов фиксированного напряжения серии  $\mu A79xx$  имеют защиту от тепловой перегрузки при превышении допустимой рассеиваемой мощности, встроенную схему защиты от КЗ, которая в этом случае ограничивает выходной ток, а также отслеживание области безопасной работы выходного транзистора путем уменьшения предельного выходного тока при возрастании напряжения на регулирующем транзисторе.

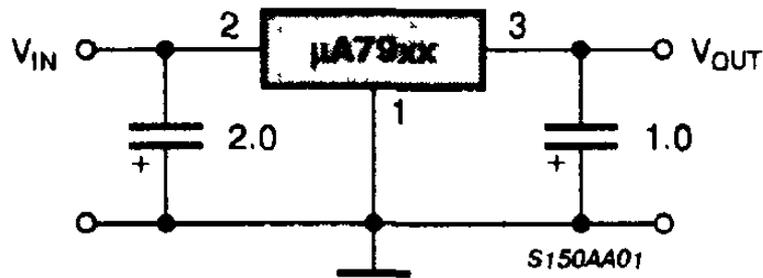


Рис. 6.5 Рекомендуемая типовая схема включения стабилизаторов типа 79xx.

### Порядок выполнения.

1. Перед включением установки в сеть необходимо убедиться в целостности сетевых и соединительных проводов. Все соединительные провода и контрольные точки использовать следует только по назначению.

### 2. Категорически запрещается замыкать выходы контрольных точек схемы!

3. Включить установку в сеть  $\sim 220$  В с помощью прилагаемого силового сетевого кабеля евро-стандарта. Поставить переключатель сеть на панели учебного модуля в положение «ВКЛ», при этом должны загореться сигнальные индикатор «СЕТЬ».

4. Снять обратную ветвь вольтамперной характеристики стабилитрона. Для этого подключить выходы источника питания к схеме параметрического стабилизатора положительного напряжения (стабилитрон). Положительный вывод XS1 источника питания подключается к клемме XS3 схемы, соединительным проводом типа «тюльпан (штекер)+тюльпан (гнездо) — тюльпан (штекер)» (при этом спаренный конец штекер+гнездо подключается к выходу источника питания для удобства последующего измерения напряжения на выходе источника с помощью мультиметра). Включить в разрыв цепи универсальный мультиметр для измерения тока стабилитрона, для это соединить отрицательный вывод XS2 источника питания через мультиметр с клеммой XS4 схемы. Ручку переключения диапазонов мультиметра 1 (рис.

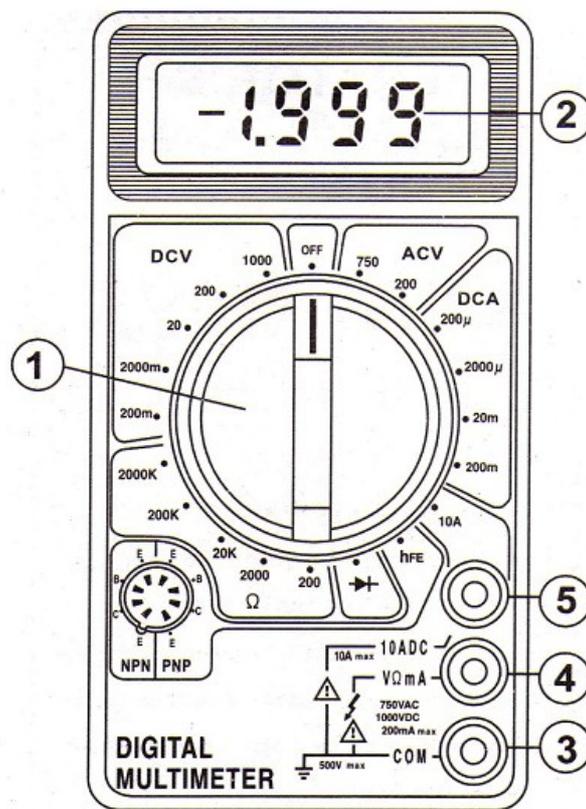


Рис. 6.6. Мультиметр универсальный.

1- ручка переключения диапазонов

4- разъем для подключения сигнального (красного) провода

3 – разъем для подключения ЗЕМЛИ (черного провода)

5 – разъем для измерения больших токов (не используется в работе)

6.6) поставить в положение  $20 \text{ m} \text{ --- } \text{A}$  для измерения токов в миллиамперах с точностью  $\pm 0,02 \text{ mA}$ . Второй мультиметр поставить в режим измерения постоянного напряжения  $20 \text{ V} \text{ --- } \text{V}$  и подключить его к клеммам XS5 –

XS7 учебной установки параллельно стабилитрону для измерения падения напряжения на нем (красный щуп к клемме XS5, черный к клемме XS7).

5. Регулируя напряжение, подаваемое на схему с выхода источника питания вращением ручки «НАПРЯЖЕНИЕ  $U_{\text{пит}}$ », снять зависимость  $I=I(U)$

стабилитрона, записывая измеренные значения в таблицу 3.

Таблица 3

$U, B$	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
$I, A$	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

6. По результатам измерений построить на миллиметровой бумаге график зависимости тока от напряжения (ВАХ) для стабилитрона. Из вольтамперной характеристики определить напряжение пробоя (напряжение стабилизации рис. 6.7).

7. Снять передаточную характеристику параметрического стабилизатора положительного напряжения, т. е. зависимость выходного напряжения стабилизатора от входного  $U_{\text{вых}}=f(U_{\text{вх}})$  на холостом ходу (без подключения нагрузочного сопротивления  $R_{\text{нагрузки}}$ ). Для этого следует видоизменить собранную ранее схему следующим образом.

Отключить мультиметр, измерявший ток стабилитрона от клемм XS2 – XS4 и заменить его перемычкой типа «тюльпан (штекер)+тюльпан (гнездо) — тюльпан (штекер)» (при этом спаренный конец штекер+гнездо подключается к выходу источника питания для удобства последующего измерения напряжения на выходе источника с помощью мультиметра). Поставить мультиметр в режим

измерения постоянного напряжения  $20 \text{ V} \begin{array}{l} \text{-----} \\ \text{-----} \end{array} \text{ V}$  и подключить его к

спаренным гнездам тюльпанам на проводах, соединяющих источник питания со схемой, параллельно выходу XS1 – XS2 источника питания. Второй мультиметр оставить в предыдущем положении (красный щуп к клемме XS5, черный к клемме XS7).

8. Регулируя напряжение, подаваемое на схему с выхода источника питания вращением ручки «НАПРЯЖЕНИЕ  $U_{\text{пит}}$ », снять зависимость  $U_{\text{вых}}=f(U_{\text{вх}})$ .

9. По результатам измерений построить на миллиметровой бумаге передаточную характеристику параметрического стабилизатора положительного напряжения, т. е. зависимость выходного напряжения стабилизатора от входного  $U_{\text{вых}}=f(U_{\text{вх}})$  на холостом ходу.

10. По формулам (1.2) и (1.3) и используя рис. 1.5 определить интегральный коэффициент стабилизации и коэффициент неустойчивости по

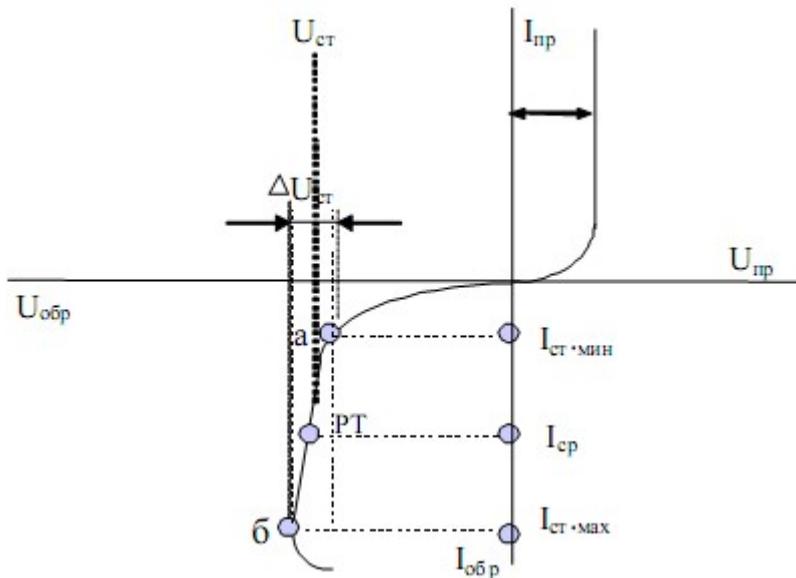


Рис. 6.7. К определению напряжения стабилизации.

напряжению для двух — трех рабочих точек  $U_{\text{вх. ном.}}$ .

11. Подключить нагрузку к выходу параметрического стабилизатора положительного напряжения. Для этого соединить вывод XS27 нагрузки переключкой типа «тюльпан — тюльпан» с выводом XS6 схемы стабилизатора, контакт XS28 нагрузки подключить к клемме XS8 схемы через третий мультиметр из комплекта. Ручку переключения диапазонов для этого мультиметра 1 (рис. 6.6) поставить в положение  $20 \text{ m} \frac{\text{-----}}{\text{-----}} \text{ A}$  для измерения

токов через нагрузку в миллиамперах с точностью  $\pm 0,02 \text{ mA}$ . Подключить мультиметр к выводам XS28 — XS8.

12. Установить ручкой «НАПРЯЖЕНИЕ  $U_{\text{пит}}$ » максимально возможное напряжение, подаваемое на вход схемы стабилизатора.

13. Вращая ручку «НАГРУЗКА» по часовой стрелке в сторону увеличения сопротивления  $R_n$ , т. е. уменьшения нагрузки, снять зависимость напряжения стабилизации от тока нагрузки  $U_{\text{вых}}=f(I_n)$ .

14. По результатам измерений построить на миллиметровой бумаге график зависимости  $U_{\text{вых}}=f(I_n)$ .

15. По графику и с помощью формул (1.4) и (1.5) оценить коэффициент неустойчивости по току и выходное сопротивление стабилизатора. В качестве приращения  $\Delta I$  рекомендуется брать достаточно близкие значения. Оценку провести для двух — трех различных  $\Delta I$  в разных участках кривой.

16. Установить ручкой «НАПРЯЖЕНИЕ  $U_{\text{пит}}$ » другое значение напряжения питания схемы и повторить пп. 13 — 15.

17. Приступить к изучению параметрического стабилизатора отрицательного напряжения. Для этого следует разобрать предыдущую схему, отключив все переключки.

18. Положительный вывод XS1 источника питания подключается к клемме XS10 схемы (общий корпус), соединительным проводом типа «тюльпан (штекер)+тюльпан (гнездо) — тюльпан (штекер)» (при этом спаренный конец штекер+гнездо подключается к выходу источника питания для удобства последующего измерения напряжения на выходе источника с помощью мультиметра). Отрицательный вывод XS2 источника питания соединить идентичной переключкой с клеммой XS9.

19. Поставить мультиметр в режим измерения постоянного напряжения  $20 \text{ V} \frac{\text{-----}}{\text{-----}} \text{ V}$  и подключить его к спаренным гнездам тюльпанам на проводах,

соединяющих источник питания со схемой, параллельно выходу XS1 — XS2 источника питания.

20. Второй мультиметр также установить в режим измерения

постоянного напряжения  $20\text{ V} \frac{\text{-----}}{\text{-----}}\text{V}$  и подключить красным щупом к клемме XS11, черным щупом к клемме XS13.

21. Выполнить действия аналогичные пп. 7 — 16, соединяя контрольные точки образом аналогично как для параметрического стабилизатора положительного напряжения, соблюдая все меры предосторожности при работе с мультиметрами и схемой. Нагрузка подключается соединением вывода XS27 нагрузки переключкой типа «тюльпан — тюльпан» с выводом XS12 схемы стабилизатора, контакт XS28 нагрузки подключить к клемме XS14 схемы через третий мультиметр из комплекта, который должен быть установлен в режим измерения тока  $20\text{ m} \frac{\text{-----}}{\text{-----}}\text{A}$  для измерения токов через нагрузку в миллиамперах с точностью  $\pm 0,02\text{ mA}$ .

22. Приступить к изучению компенсационного стабилизатора отрицательного напряжения, собранного на базе интегральной схемы 7906 рис. 6.4. Для этого следует разобрать предыдущую схему, отключив все переключки.

23. Положительный вывод XS1 источника питания подключается к клемме XS22 схемы (общий корпус), соединительным проводом типа «тюльпан (штекер)+тюльпан (гнездо) — тюльпан (штекер)» (при этом спаренный конец штекер+гнездо подключается к выходу источника питания для удобства последующего измерения напряжения на выходе источника с помощью мультиметра). Отрицательный вывод XS2 источника питания соединить идентичной переключкой с клеммой XS21.

24. Поставить мультиметр в режим измерения постоянного напряжения  $20\text{ V} \frac{\text{-----}}{\text{-----}}\text{V}$  и подключить его к спаренным гнездам тюльпанам на проводах, соединяющих источник питания со схемой, параллельно выходу XS1 – XS2 источника питания.

25. Второй мультиметр также установить в режим измерения постоянного напряжения  $20\text{ V} \frac{\text{-----}}{\text{-----}}\text{V}$  и подключить красным щупом к клемме XS23, черным щупом к клемме XS25.

26. Регулируя напряжение, подаваемое на схему с выхода источника питания вращением ручки «НАПРЯЖЕНИЕ  $U_{\text{пит}}$ », снять зависимость  $U_{\text{вых}}=f(U_{\text{вх}})$  — передаточную характеристику компенсационного стабилизатора на холостом ходу (без подключения нагрузки  $R_{\text{н}}$ ).

27. По формулам (1.2) и (1.3) и используя рис. 1.5 определить интегральный коэффициент стабилизации и коэффициент неустойчивости по напряжению для двух — трех рабочих точек  $U_{\text{вх. ном.}}$ .

28. Подключить нагрузку к выходу микросхемы компенсационного

стабилизатора. Для этого соединить вывод XS27 нагрузки переключкой типа «тюльпан — тюльпан» с выводом XS24 схемы стабилизатора, контакт XS28 нагрузки подключить к клемме XS26 схемы через третий мультиметр из комплекта. Ручку переключения диапазонов для этого мультиметра 1 (рис. 6.6)

поставить в положение  $20\text{ m} \frac{\text{-----}}{\text{-----}} \text{ A}$  для измерения токов через нагрузку в миллиамперах с точностью  $\pm 0,02\text{ mA}$ . Подключить мультиметр к выводам XS28 – XS26.

29. Установить ручкой «НАПРЯЖЕНИЕ  $U_{\text{пит}}$ » максимально возможное напряжение, подаваемое на вход схемы стабилизатора.

30. Вращая ручку «НАГРУЗКА» по часовой стрелке в сторону увеличения сопротивления  $R_n$ , т. е. уменьшения нагрузки, снять зависимость напряжения стабилизации от тока нагрузки  $U_{\text{вых}}=f(I_n)$ .

31. По результатам измерений построить на миллиметровой бумаге график зависимости  $U_{\text{вых}}=f(I_n)$ .

32. По графику и с помощью формул (1.4) и (1.5) оценить коэффициент неустойчивости по току и выходное сопротивление стабилизатора. В качестве приращения  $\Delta I$  рекомендуется брать достаточно близкие значения. Оценку провести для двух — трех различных  $\Delta I$  в разных участках кривой.

33. Установить ручкой «НАПРЯЖЕНИЕ  $U_{\text{пит}}$ » другое значение напряжения питания схемы и повторить пп. 30 — 32.

34. Приступить к изучению компенсационного стабилизатора положительного напряжения, собранного на базе интегральной схемы 7806 рис. 6.2. Для этого следует разобрать предыдущую схему, отключив все переключки.

35. Положительный вывод XS1 источника питания подключается к клемме XS15 схемы, соединительным проводом типа «тюльпан (штекер) + тюльпан (гнездо) — тюльпан (штекер)» (при этом спаренный конец штекер+гнездо подключается к выходу источника питания для удобства последующего измерения напряжения на выходе источника с помощью мультиметра). Отрицательный вывод XS2 источника питания соединить идентичной переключкой с клеммой XS16.

36. Поставить мультиметр в режим измерения постоянного напряжения  $20\text{ V} \frac{\text{-----}}{\text{-----}} \text{ V}$  и подключить его к спаренным гнездам тюльпанам на проводах, соединяющих источник питания со схемой, параллельно выходу XS1 – XS2 источника питания.

37. Второй мультиметр также установить в режим измерения постоянного напряжения  $20\text{ V} \frac{\text{-----}}{\text{-----}} \text{ V}$  и подключить красным щупом к клемме XS17, черным щупом к клемме XS19.

38. Выполнить действия аналогичные пп. 26 — 33, соединяя контрольные точки образом аналогично как для параметрического стабилизатора положительного напряжения, соблюдая все меры предосторожности при работе с мультиметрами и схемой. Нагрузка подключается соединением вывода XS27 нагрузки переключкой типа «тюльпан — тюльпан» с выводом XS18 схемы стабилизатора, контакт XS28 нагрузки подключить к клемме XS20 схемы через третий мультиметр из комплекта, который должен быть установлен в режим измерения тока  $20\text{ m} \frac{\text{-----}}{\text{-----}} \text{ A}$  для измерения токов через нагрузку в миллиамперах с точностью  $\pm 0,02\text{ mA}$ .

39. По окончании измерений выключить установку и вынуть сетевую вилку из розетки.

**КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ.**

1. Что называют источниками первичного и вторичного электропитания?
2. Нарисуйте функциональные схемы линейного и импульсного источника питания. Расскажите об основных элементах схемы. В чем принципиальное различие этих двух типов источников вторичного питания РЭА?
3. Что называют стабилизатором напряжения и тока? Приведите соответствующие вольтамперные характеристики.
4. На какие две группы делятся стабилизаторы напряжения?
5. Что называют линейным стабилизатором постоянного напряжения параметрического типа? Какие основными особенности таких стабилизаторов?
6. Приведите схемы простейшего параметрического стабилизатора напряжения на стабилитроне положительного и отрицательного напряжения.
7. Расскажите о применяемых схемах термокомпенсации для параметрических стабилизаторов.
8. Поясните принципы работы линейных стабилизаторов постоянного напряжения с помощью рисунков 3.2 — 3.4.
9. Расскажите об общем принципе действия компенсационных стабилизаторов.
10. Какие существуют два типа компенсационных стабилизаторов
11. Расскажите о применении транзисторов в качестве компенсационных сопротивлений.
12. Поясните структурные схемы компенсационных стабилизаторов рис. 5.3.
13. Поясните основные принципы работы последовательного и параллельного компенсационного стабилизатора на транзисторах.
14. В чем преимущество применения интегральных микросхем компенсационных стабилизаторов?
15. Какие типы стабилизаторов постоянного напряжения исследуются в данной работе?
16. Приведите основные технические параметры и схемы включения интегральных микросхем стабилизаторов постоянного напряжения компенсационного типа 7806 и 7906.
17. Какие наиболее важные электрические параметры стабилизаторов напряжения вы можете выделить? Каким образом их можно оценить экспериментально?

**РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА.**

1. Багодский В.С., Скундин А.М. Химические источники тока. – М.: Энергоиздат, 1981. – 360 с.
2. Гусев В. Г., Гусев Ю. М. Электроника: Учеб. Пособие для приборостроит. спец. вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк. 1991. – 622 с.
3. Кромптон Т. Первичные источники тока: Пер. с англ. – М.: Мир, 1986. – 328 с.
4. Орехов В. И. и др. Низковольтные сильноточные источники вторичного электропитания РЭА / В. И. Орехов, М. Е. Куцко, В. Н. Груздев. – М.: Радио и связь, 1986. – 104 с.
5. Расчет источников электропитания устройств связи: Учеб. Пособие для вузов / В.Е. Китаев, А.А. Бокуняев, М.Ф. Калканов; Под ред. А.А. Бокуняева. – М.: Радио и связь, 1993. – 232 с.
6. Расчет электронных схем. Учеб. Пособие для вузов / Г. И. Изъюрова, Г. В. Королев, В. А. Терехов и др. – М.: Высш. шк., 1987. – 335 с.
7. Ромаш Э.М. Источники вторичного электропитания радиоэлектронной аппаратуры. – М.: Радио и связь, 1981. – 224 с.
8. Ромаш Э.М. Транзисторные преобразователи в источниках питания радиоэлектронной аппаратуры. – М.: Энергия, 1975. – 325 с.
9. Соклоф С. Аналоговые интегральные схемы. Пер. с англ. – М.: Мир, 1988. – 583 с.
10. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника: Справочное руководство: Пер. с нем. – М.: Мир, 1983. – 512 с.
11. Устройства электропитания бытовой РЭА: Справочник / И.Н. Сидоров, М.Ф. Биннатов, Е.А. Васильев. – М.: Радио и связь, 1991. – 472 с.
12. Фолкенбери Л. Применение операционных усилителей и линейных интегральных схем. Пер. с англ. – М.: Мир, 1985. – 572 с.
13. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники: В 3 т Т3: Пер. англ. – 4-е изд. перераб. и доп. – М.: Мир, 1993. – 367 с.

**ДЛЯ СВОБОДНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ  
НПО УЧЕБНОЙ ТЕХНИКИ «ТУЛАНАУЧПРИБОР»**