

Лабораторная работа №1

Линейные стабилизаторы напряжения

Теоретические сведения

Стабилизатор напряжения — преобразователь электрической энергии, позволяющий получить на выходе напряжение, находящееся в заданных пределах при больших колебаниях входного напряжения и изменении сопротивления нагрузки.

В схеме стабилизатора присутствует регулирующий элемент, который определяет, какая часть поступающей на вход энергии будет отдана в нагрузку. У линейных стабилизаторов избыток мощности рассеивается в виде тепла на регулирующем элементе. Этот факт относится к недостаткам, так как существенно влияет на КДП преобразования, к преимуществам можно отнести простоту конструкции.

По принципу стабилизации выделяют 2 разновидности стабилизаторов напряжения: *параметрические* и *компенсационные*.

1.1 Параметрические стабилизаторы

Действие параметрических стабилизаторов основано на стабильности параметров электронных компонентов. ВАХ применяемого регулирующего элемента должна содержать участок, на котором напряжение остается неизменным при существенных изменениях тока. Например, напряжение пробоя стабилитрона (Рис. 1), напряжение $U_{бэ}$ биполярного транзистора.

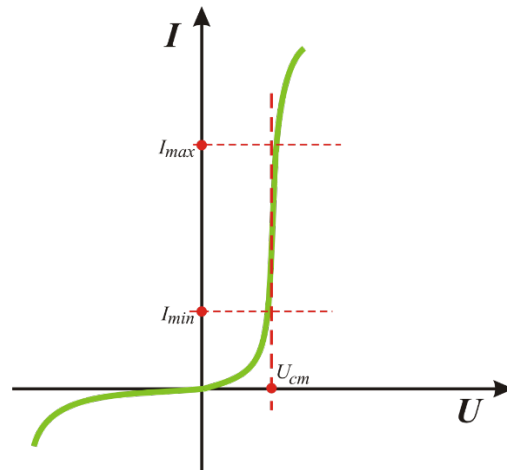


Рисунок 1 График ВАХ стабилитрона.

Простейший параметрический стабилизатор

Простейшую схему линейного стабилизатора можно выполнить на стабилитроне (Рис. 2).

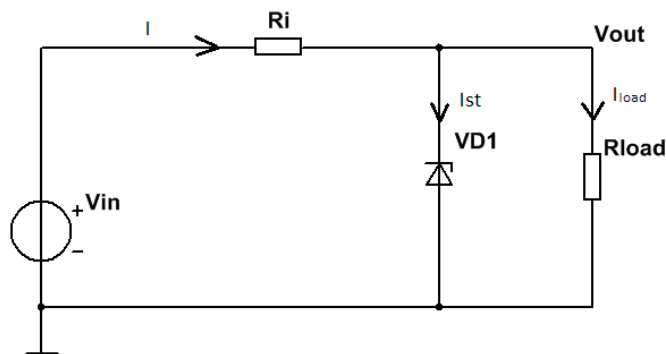


Рисунок 2 Схема линейного стабилизатора на стабилитроне.

В данной схеме для получения стабильного выходного напряжения используется стабилитрон VD1. При напряжении питания V_{IN} меньшем U_{cm} (напряжение стабилизации) стабилитрон закрыт. В этом случае выходное напряжение определяется по закону Ома:

$$U_{OUT} = U_{IN} \cdot \frac{R_{load}}{R_{load} + R_i}$$

Когда выходное напряжение достигает напряжения U_{cm} , стабилитрон открывается и начинает пропускать ток, необходимый для поддержания U_{out}

в окрестности $U_{ст}$. Схему на рисунке 2 можно представить в эквивалентном виде (Рис. 3).

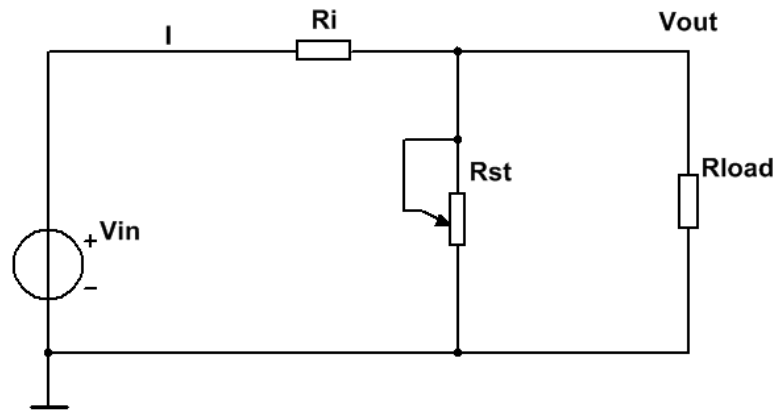


Рисунок 3 Эквивалентная схема стабилизатора.

Резистор R_i в данной схеме служит для задания максимального тока нагрузки (максимальной мощности, отдаваемой в нагрузку). Схему стабилизатора можно рассматривать как делитель тока. Ток резистора R_i (I_{Ri}) разделяется на ток нагрузки I_{load} и ток стабилизатора $I_{ст}$.

$$I_{Ri} = I_{load} + I_{ст}$$

В свою очередь, из закона Ома

$$I_{Ri} = \frac{U_{in} - U_{out}}{R_i}$$

$$I_{max} = \frac{U_{in} - U_{out}}{R_i}$$

Если ток нагрузки превысит I_{max} , то падение напряжения на резисторе превысит $U_{in} - U_{ст}$. Стабилизатор закроется, и выходное напряжение начнет падать.

При разработке линейного стабилизатора на стабилизаторе производят расчет следующих величин:

- Номиналы резисторов R_i , R_{load} ;

- Значение сопротивления резистора R_{load} при котором перестает осуществляться стабилизация напряжения;
- Мощности, рассеиваемые на элементах схемы;
- КПД стабилизатора.

Параметрический стабилизатор с ограничением тока

В рассмотренной ранее схеме стабилитрон открывался током $I_{общ}$, вытекающим из резистора R_i . Если необходимо разработать стабилизатор напряжения с ограничением по току, можно заменить R_i источником тока (Рис.4).

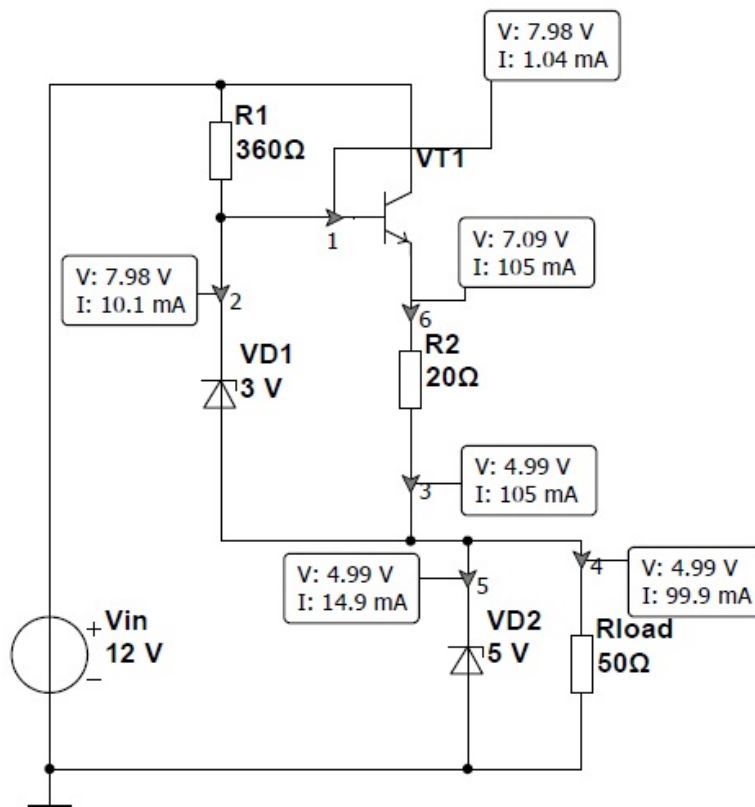


Рисунок 4 Стабилизатор с ограничением по току.

В данном примере стабилитрон VD1 задает ток стабилизации. Напряжение $U_{ст1} = 3В$, следовательно, падение напряжения на резисторе R2 U_{R2} есть напряжение стабилитрона VD1 минус напряжение эмиттер-база транзистора VT1

$$U_{R2} = U_{\text{ст1}} - U_{\text{бэ}}$$

Тогда ток через R2 составит

$$I_{R2} = \frac{U_{R2}}{R2} = \frac{3 - 0.9}{20} = 0,105 \text{ A}$$

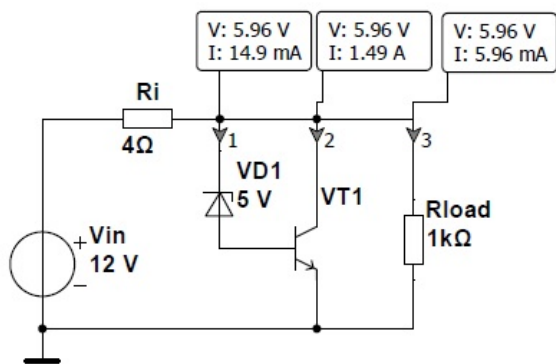
Этот ток распределится между нагрузкой и стабилитроном VD2.

Таким образом, для построения источника тока необходимо:

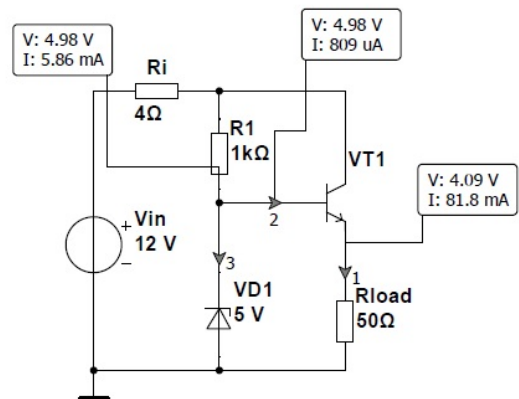
- Подобрать VD1 (сумма напряжений стабилизации VD1, VD2 не должна превышать Vin);
- Рассчитать номинал резисторов R1, R2.

Варианты повышения выходной мощности

Если не удастся подобрать стабилитрон с требуемой мощностью, то можно использовать одну из схем, представленных на рисунке 5.



Вариант А



Вариант Б

Рисунок 5 Стабилизатор напряжения с «составным» стабилитроном.

Необходимо выбирать стабилитрон, обеспечивающий нужный ток базы:

$$I_{\text{Б}} = \frac{I_{\text{max}}}{\beta}$$

Выходное напряжение рассмотренных стабилизаторов отличается от $U_{\text{ВЫХ}}$ простейшего стабилизатора на величину $U_{\text{бэ}}$:

В первой схеме $U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{СТ}} + U_{\text{бэ}}$

Во второй схеме $U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{СТ}} - U_{\text{бэ}}$

В схемах с «составным» стабилитроном производят расчет максимальной мощности, рассеиваемой на транзисторе и стабилитроне.

Если требуется повысить напряжение стабилизации, можно использовать несколько последовательно соединенных стабилитронов. В этом случае напряжение стабилизации равно алгебраической сумме напряжений стабилизации каждого стабилитрона.

1.2 Компенсационные стабилизаторы

Действие компенсационных стабилизаторов основано на механизме управления по обратной связи. В схеме присутствует регулирующий элемент, определяющий выходное напряжение. По цепи обратной связи величина выходного напряжения передается на устройство сравнения, где сопоставляется с эталонным, опорным, напряжением. Устройство сравнения вырабатывает сигнал ошибки, который управляет регулирующим элементом.

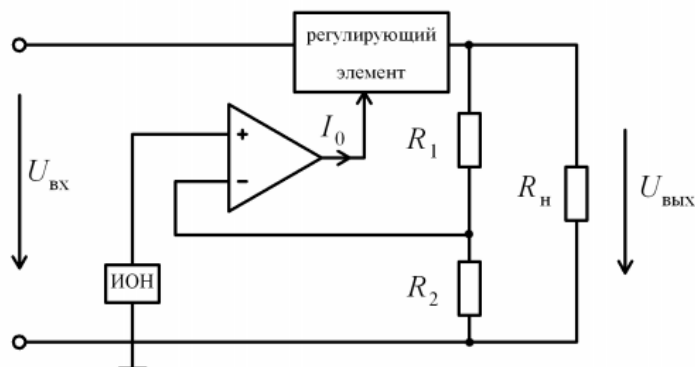


Рисунок 6 Компенсационный стабилизатор.

В качестве источника опорного напряжения в системе может быть применен параметрический стабилизатор.

Управляемый стабилитрон TL431

Рассмотрим схему на рисунке 7. В качестве регулирующего элемента используется транзистор, управляемый устройством сравнения. Устройство сравнения определяет разность между напряжением, подаваемым на вход REF, и величиной напряжения внутреннего источника опорного напряжения V_{REF} .

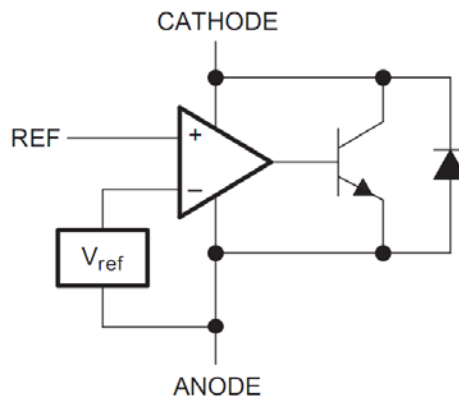


Рисунок 7 Структура ИМС TL431.

Данная схема выпускается в виде готовых ИМС TL431 (142ЕН19). Условное графическое обозначение ИМС показано на рисунке 8.

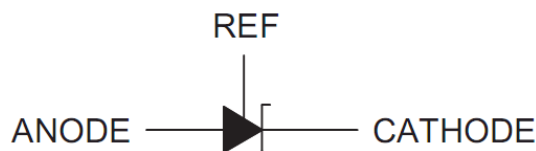


Рисунок 8 Условное графическое обозначение TL431 (142ЕН19).

На базе TL431 можно реализовать стабилитрон с регулируемым напряжением стабилизации (Рис. 9).

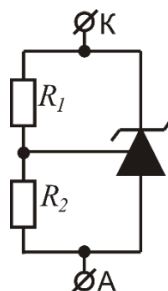


Рисунок 9 Регулируемый стабилитрон.

При протекании тока от катода к аноду схемы внутренний транзистор TL431 откроется на столько, чтобы напряжение в средней точке делителя R_1R_2 равнялось напряжению источника опорного напряжения. Таким образом, с помощью резисторов можно задать нужное напряжение стабилизации:

$$U_{ст} = V_{ref} \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_2}$$

Регулируемый стабилитрон можно применить в схеме простейшего параметрического стабилизатора вместо обычного стабилитрона (Рис. 10).

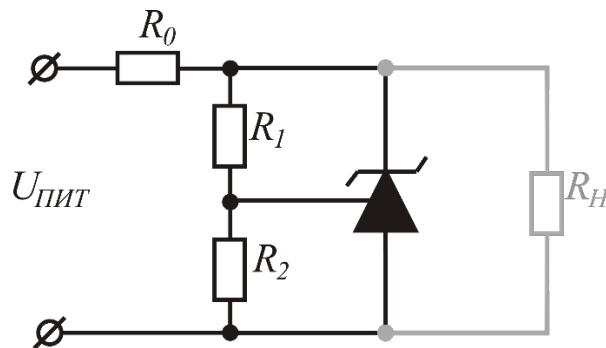


Рисунок 10 Стабилизатор напряжения на TL431.

Если рассматривать резисторы R_1 и R_2 как цепь обратной связи, можно назвать схему на Рис.10 компенсационным стабилизатором. Действительно, напряжение на нагрузке сравнивается с опорным напряжением, в результате чего с помощью регулирующего элемента (транзистор) может быть произведена корректировка выходного напряжения.

Стабилизатор напряжения LM317

В виде ИМС выпускаются также законченные стабилизаторы напряжения. Одним из представителей этого класса устройств является трехвыводной стабилизатор LM317. Внутренняя структура представлена на рисунке 11.

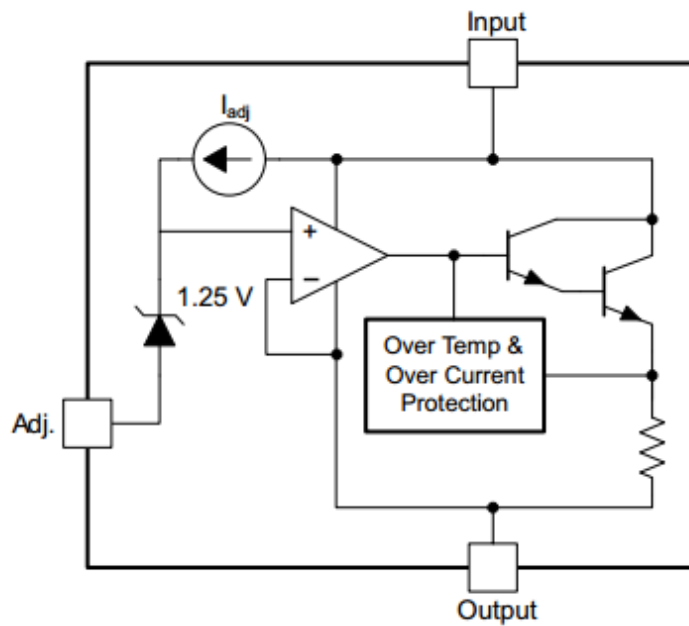


Рисунок 11 Внутренняя структура ИМС LM317.

Данный стабилизатор также является компенсационным. Источник опорного напряжения представлен в виде стабилитрона и источника тока I_{adj} , который формирует на стабилитроне падение 1.25В. Для того, чтобы система находилась в равновесии необходимо, чтобы напряжение на выводе Output было больше напряжения на Adj на величину 1.25В.

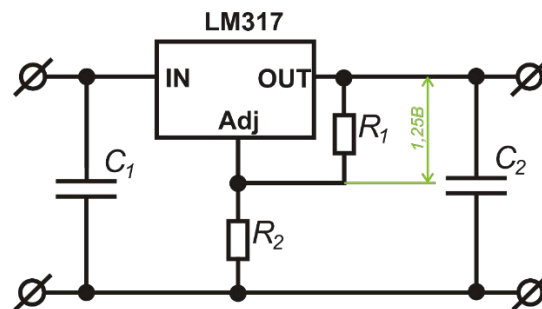


Рисунок 12 Схема включения LM317.

Выходное напряжение стабилизатора определяется внешними резисторами R_1 , R_2 . В установившемся режиме протекающий через R_1 и R_2 ток должен вызывать на резисторе R_1 падение напряжения 1.25В. При расчете учитывается также вытекающий из микросхемы ток $I_{adj} = 50 \text{ мкА}$.

Формула расчета выходного напряжения имеет вид:

$$U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ref}} \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) + I_{\text{Adj}} R_2$$

Практическая часть

2.1 Задание

Ниже приведен общий список схем стабилизаторов напряжения:

- 1) Простейший параметрический стабилизатор;
- 2) Параметрический стабилизатор с ограничением тока;
- 3) Стабилизатор с «составным» стабилитроном (Вариант А, Б);
- 4) Стабилизатор на основе TL431*;
- 5) Стабилизатор на основе LM317**;

**величину V_{ref} определить по технической документации на микросхему.*

***при моделировании в среде Multisim 10 использовать микросхему-аналог LM117, при этом V_{ref} считать равным 1,27В.*

Преподаватель перед началом занятия определяет номера схем для работы. По определенным схемам необходимо произвести расчет, промоделировать и убедиться в работоспособности схем.

Исходные данные для расчетов приведены в приложении. Номер столбца определяется по номеру компьютера.

2.2 Указания к проектированию

- 1) Обеспечить протекание через стабилитроны и цепи обратной связи токов не более 10 мА;
- 2) Номиналы применяемых компонентов должны соответствовать стандартному ряду номиналов E24 (см. Приложения);
- 3) Микросхемы TL431, LM117 находятся в разделе Power, семейство VOLTAGE_REFERENCE;
- 4) Стабилитроны и транзисторы, применяемые в схемах, выбирать из семейства VIRTUAL.
- 5) Величину β транзистора и другие свойства можно определить (задать) через ПКМ→свойства→редактор модели.

Вопросы для допуска к выполнению

- 1) Перечислите основные варианты построения линейных стабилизаторов напряжения;
- 2) Какую схему линейного стабилизатора напряжения рационально применить при построении источника питания с выходным током 1,5А?
- 3) Назовите основные преимущества и недостатки параметрических стабилизаторов напряжения;
- 4) Поясните принцип действия рассмотренной схемы стабилизатора тока;
- 5) Чем определяется КПД линейного стабилизатора напряжения?

Приложения

1.1. Таблица 1. Варианты заданий

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 0 |
|------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|-----|
| $U_{\text{ex}}, \text{ В}$ | 4,5 | 5,0 | 7,2 | 7,5 | 10 | 13,8 | 15,0 | 16,0 | 12,5 | 9,0 |
| $U_{\text{былх}}, \text{ В}$ | 1,8 | 2,7 | 3,0 | 3,3 | 5,1 | 5,6 | 6,8 | 9,0 | 7,5 | 4,7 |
| $I_{\text{н}}, \text{ мА}$ | 80 | 100 | 120 | 140 | 160 | 150 | 130 | 110 | 90 | 70 |

1.2. Таблица 2. Стандартные ряды номиналов

| | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| E24 | 1.0 | 1.1 | 1.2 | 1.3 | 1.5 | 1.6 | 1.8 | 2.0 |
| E12 | 1.0 | | 1.2 | | 1.5 | | 1.8 | |
| E6 | 1.0 | | | | 1.5 | | | |

| | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| E24 | 2.2 | 2.4 | 2.7 | 3.0 | 3.3 | 3.6 | 3.9 | 4.3 |
| E12 | 2.2 | | 2.7 | | 3.3 | | 3.9 | |
| E6 | 2.2 | | | | 3.3 | | | |

| | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| E24 | 4.7 | 5.1 | 5.6 | 6.2 | 6.8 | 7.5 | 8.2 | 9.1 |
| E12 | 4.7 | | 5.6 | | 6.8 | | 8.2 | |
| E6 | 4.7 | | | | 6.8 | | | |