

## Лабораторная работа №4

### Исследование нелинейной цепи постоянного тока

**Цель работы** – с помощью программы Мультисим исследовать параллельное, последовательное и смешанное соединение элементов нелинейной цепи и режимы работы стабилизатора напряжения.

#### Краткие сведения из теории

Нелинейной называется цепь, содержащая хотя бы один **нелинейный элемент** вольт-амперная характеристика (ВАХ) которого отличается от прямой линии. У таких элементов ток и напряжение изменяются непропорционально, поэтому применяются графические методы расчёта с построением результирующих ВАХ.

Если цепь содержит только один нелинейный элемент, а остальные элементы линейные удобно применять **метод зеркального отражения ВАХ линейного элемента**.

При **последовательном соединении** линейного и нелинейного элементов характеристика линейного отражается относительно вертикальной оси и проводится из точки, соответствующей суммарному приложенному напряжению. Точка пересечения ВАХ нелинейного элемента с отражённой ВАХ линейного характеризует ток и напряжения на элементах.

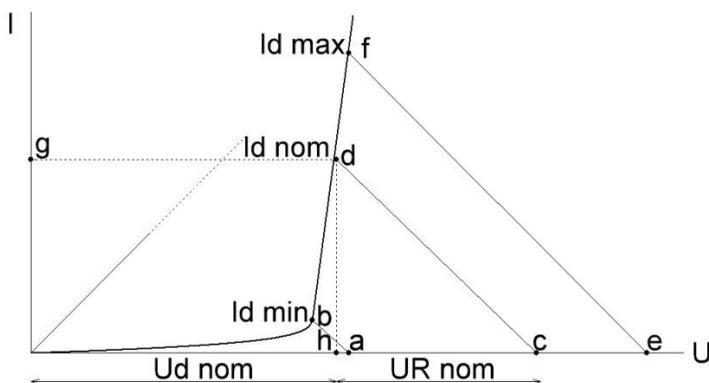
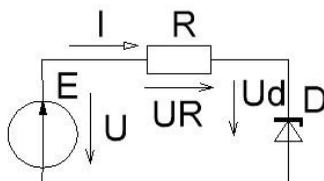


Рисунок 3 – Расчёт последовательного соединения резистора и стабилитрона методом зеркального отражения ВАХ резистора

ВАХ нелинейного элемента – стабилитрона – показана жирной линией, её рабочий участок от  $b$  – минимального тока стабилизации – до  $f$  – максимального допустимого тока стабилитрона. ВАХ линейного резистора – тонкой, переходящей в штриховую. Зеркальное отражение ВАХ резистора проводим из точки  $d$ , соответствующей номинальному току стабилитрона. Точка  $c$  показывает номинальное суммарное напряжение цепи, её проекция на горизонтальную ось  $h$  делит это напряжение на две части. Левая часть – напряжение на стабилитроне, правая – на резисторе. Проекция точки  $c$  на вертикальную ось  $g$  показывает номинальный ток стабилитрона.

Если приложенное напряжение уменьшать, зеркальное отражение ВАХ резистора перемещается параллельно самому себе до линии  $ab$ , соответствующей минимальному току стабилизации. При увеличении приложенного напряжения оно перемещается до линии  $ef$ , соответствующей максимально допустимому току стабилитрона.

При **параллельном соединении** стабилитрона и резистора переменного сопротивления – реостата характеристика реостата отражается относительно горизонтальной оси и проводится из точки, соответствующей суммарному току

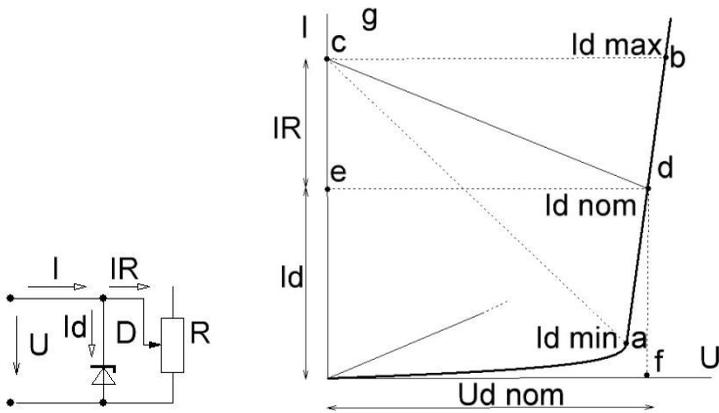


Рисунок 4 – Расчёт параллельного соединения стабилитрона и реостата методом зеркального отражения ВАХ реостата

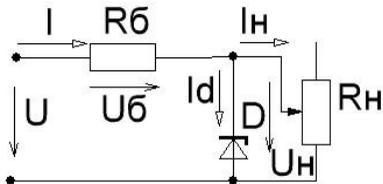
На рисунке изображена жирной линией ВАХ стабилитрона, имеющая рабочий участок –  $ab$  от минимального тока стабилизации до максимального допустимого тока стабилитрона. Из точки  $b$  проведена горизонтальная линия до точки  $c$  пересечения с вертикальной осью. Эта линия  $bc$  представляет собой зеркальное отражение ВАХ реостата для

случая его бесконечно большого сопротивления. При уменьшении сопротивления реостата зеркальное отражение его характеристики поворачивается по часовой стрелке.

Проведём линию,  $cd$  до точки  $d$ , соответствующей номинальному току стабилитрона. Если зеркально отразить эту линию, получим искомую ВАХ реостата для номинального режима. Проекция точки  $d$  на вертикальную ось  $e$  показывает, как общий ток делится между стабилитроном и реостатом. Проекция точки  $d$  на горизонтальную ось  $f$  показывает напряжение на элементах.

Если продолжать уменьшать сопротивление реостата линия ещё повернётся по часовой стрелке до точки  $a$ , соответствующей минимальному току стабилизации.

Мы рассмотрели отдельные части стабилизатора, теперь рассмотрим его целиком. Слева направо показаны: входное напряжение  $U$ ; входной ток  $I$ ; балластный резистор  $R_b$  и напряжение на нём  $U_b$ ; стабилитрон  $D$  и ток через него  $I_d$ ; ток нагрузки  $I_n$ ; напряжение на нагрузке  $U_n$ ; нагрузочный реостат  $R_n$ .



Для расчёта стабилизатора необходимо знать его выходное напряжение и требуемый ток. Допустим выходное напряжение  $U_n = 5$  В а ток до 120 мА. Выбираем стабилитрон 1N4733A с напряжением стабилизации 5,1 В и максимальным допустимым током 178 мА. Для графического расчёта необходимо иметь вольтамперную характеристику, в частности её рабочий участок от минимального тока стабилизации до максимального допустимого тока стабилитрона. На рисунке 5 этот участок показан жирной вертикальной слегка наклонной линией  $ab$  посередине рисунка. Допустим входное напряжение стабилизатора 10 В, максимально возможное +10 % то есть 11 В (точка  $c$ ). Применяем метод зеркального отражения ВАХ. Из точки  $b$  с током 178 мА проводим линию до точки  $c$  с напряжением 11 В. Это и будет зеркальное отражение ВАХ балластного резистора  $R_b$  в максимальном режиме. Определим его сопротивление из треугольника:

$$R_b = (11 - 5,1) \text{ В} / 178 \text{ мА} = 33 \text{ Ом.}$$

Из точки  $d$  проводим линию  $de$  параллельно  $bc$ , получаем входной ток в рабочем режиме 148 мА (точка  $f$ ). Этот ток делится между стабилитроном

и нагрузкой. Допустим ток стабилизатора 49 мА (это номинальный ток его эксплуатации, точка *g*).

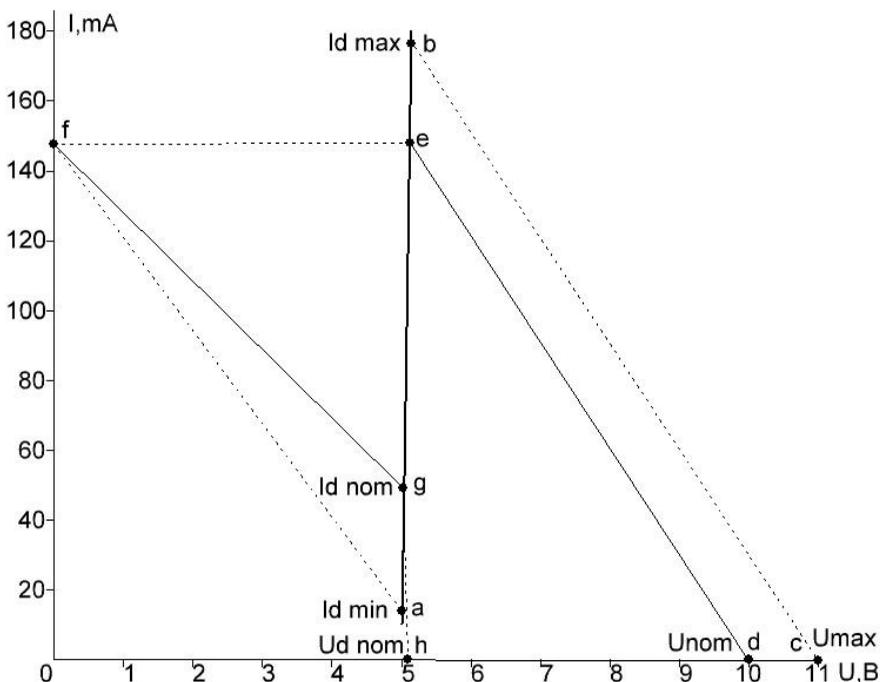


Рисунок 5 – Графический расчёт стабилизатора с применением зеркальных отражений ВАХ балластного резистора и реостата

Проводим линию *fg*, она представляет собой зеркальное отражение ВАХ реостата в номинальном режиме. Определим его сопротивление

$$R_H = 5,1 \text{ В} / (148 - 49 \text{ мА}) = 51,5 \text{ Ом.}$$

Сопротивление реостата может быть ещё уменьшено, линия поворачивается по часовой стрелке до *fa*, ток стабилизатора уменьшается до минимального тока стабилизации 12 мА, ток нагрузки возрастает до  $148 - 12 = 136 > 120$  мА, что и требовалось.

Чтобы понять как ведёт себя выходное напряжение  $U_H$  стабилизатора при изменении сопротивления нагрузки  $R_H$  используют внешнюю (нагрузочную) характеристику стабилизатора  $U_H(I_H)$ , её рабочий участок. По ней можно определить внутреннее сопротивление стабилизатора  $r$  как отношение уменьшения напряжения к увеличению тока,  $r = -\Delta U / \Delta I$ .

Коэффициент стабилизации определяется как отношение относительного изменения входного напряжения  $\Delta U/U$  к вызванному им относительному изменению выходного  $\Delta U_H / U_H$ .

$$k = \Delta U \cdot U_H / (\Delta U_H \cdot U).$$

### Порядок выполнения работ

1 Запустить программу Мультисим нажатием на иконку .

2 Выбрать элементы в соответствии со схемой исследования нелинейной цепи стабилизатора напряжения рисунка 6 и разместить их в рабочем поле: источник из  (*POWER\_SURCES, DC\_POWER*); резисторы, реостат и переключатель – из , (переключатель *SWITCH, SPDT*); амперметры и вольтметры – из , стабилизатор из  *ZENER, 1N4733A*.

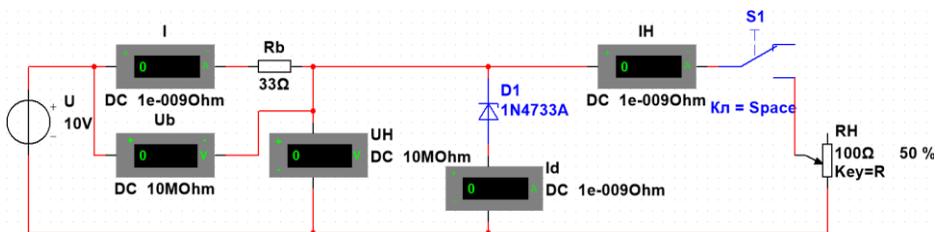


Рисунок 3 – Схема исследования нелинейной цепи стабилизатора напряжения

3 Назвать и установить (через двойной щелчок) напряжение источника  $U$ , 10 V;  $R_b$ , 33 Ом;  $R_H$ , 100 Ом, Key=R; вольтметры и амперметры.

4 Включить . Измерить напряжения и токи, записать их в таблицу 1.

Таблица 1. Напряжения и токи при изменении сопротивления нагрузки  $R_H$

Сопротивление нагрузки, %	$\infty$	100	70	50	40	30
Общий ток цепи $I$ , мА						
Напряжение на $R_b$ т.е. $U_b$ , В						
Напряжение на нагрузке $U_H$ , В						
Ток нагрузки $I_H$ , мА	-					
Ток стабилизатора $I_D$ , мА						

5 Установить  $R_H$  100 % (клавишей *R*, язык *EN*), замкнуть ключ, . Измерить также токи и напряжения при  $R_H$  70; 50; 40; 30 % (*Shift+R*).

6 Построить ВАХ стабилизатора (продлить до точки  $I_d \max = 178$  мА) и графически рассчитать стабилизатор. Горизонтальный масштаб напряжений принять 1 В / см, вертикальный масштаб токов 20 мА / см.

7 Построить нагрузочную характеристику стабилизатора – зависимость напряжения нагрузки от тока нагрузки при уменьшении сопротивления. Увидеть по таблице, что напряжение поддерживается стабильным, пока есть достаточный ток стабилизатора.

8 Определить внутреннее сопротивление стабилизатора.

9 Увеличить входное напряжение до 11 В и измерить насколько увеличилось выходное. Определить коэффициент стабилизации.

### **Содержание отчёта**

1 Наименование и цель работы.

2 Схема исследования с изображением амперметров и вольтметров кружочками.

3 Таблица 1.

4 Графический расчёт стабилизатора.

5 График нагрузочной характеристики стабилизатора.

6 Расчёт внутреннего сопротивления стабилизатора.

7 Расчёт коэффициента стабилизации.

8 Вывод, до каких пор напряжение поддерживается стабильным при уменьшении сопротивления реостата.

7 Заключение по работе.

### **Контрольные вопросы**

1 Как выглядит ВАХ стабилизатора?

2 В чём заключается метод зеркального отражения ВАХ.

3 Как определить величину балластного резистора?

4 Как определить минимальное сопротивление нагрузки?

6 Как выглядит внешняя (нагрузочная) характеристика стабилизатора?

7 Как по ней определить внутреннее сопротивление стабилизатора?

8 Как определить коэффициент стабилизации?