

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.

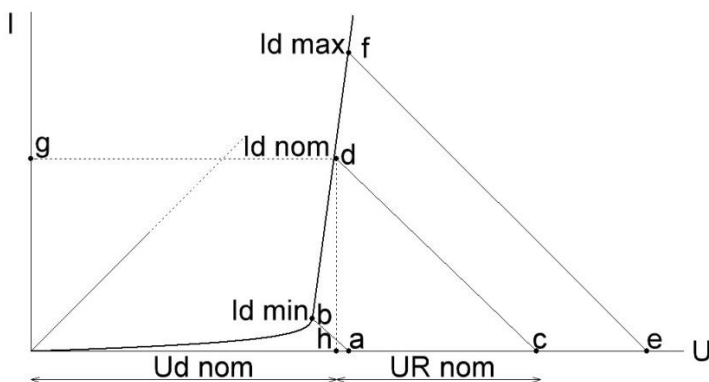
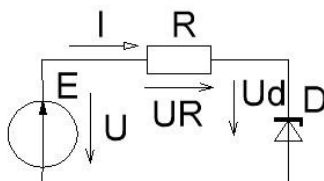


Рисунок 3 – Расчёт последовательного соединения резистора и стабилитрона методом зеркального отражения ВАХ резистора

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 – потенциометра характеристика потенциометра отражается относительно горизонтальной оси и проводится из точки, соответствующей суммарному току

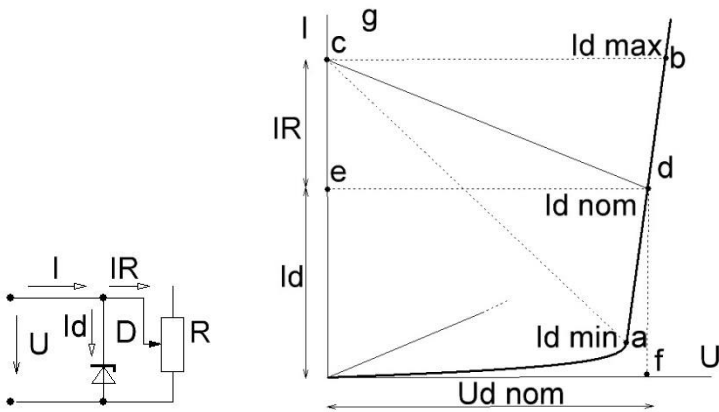


Рисунок 4 – Расчёт параллельного соединения стабилитрона и потенциометра методом зеркального отражения ВАХ реостата

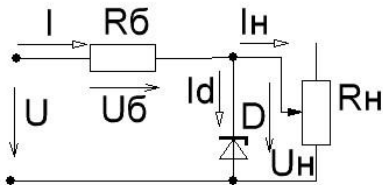
На рисунке изображена жирной линией ВАХ стабилитрона, имеющая рабочий участок – ab от минимального тока стабилизации до максимального допустимого тока стабилитрона. Из точки b проведена горизонтальная линия до точки c пересечения с вертикальной осью. Эта линия bc представляет собой зеркальное отражение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

для случая его бесконечно большого сопротивления. При уменьшении сопротивления потенциометра 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 потенциометра для номинального режима. Проекция точки d на вертикальную ось e показывает, как общий ток делится между стабилитроном и потенциометром. Проекция точки d на горизонтальную ось f показывает напряжение на элементах.

Если продолжать уменьшать сопротивление потенциометра 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_6 и напряжение на нём U_6 ; стабилитрон D и ток через него I_d ; ток нагрузки I_n ; напряжение на нагрузке U_n ; нагрузочный потенциометр 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_6 в максимальном режиме. Определим его сопротивление из треугольника:

$$R_6 = (11 - 5,1) \text{ В} / 178 \text{ мА} = 33 \text{ Ом.}$$

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*).

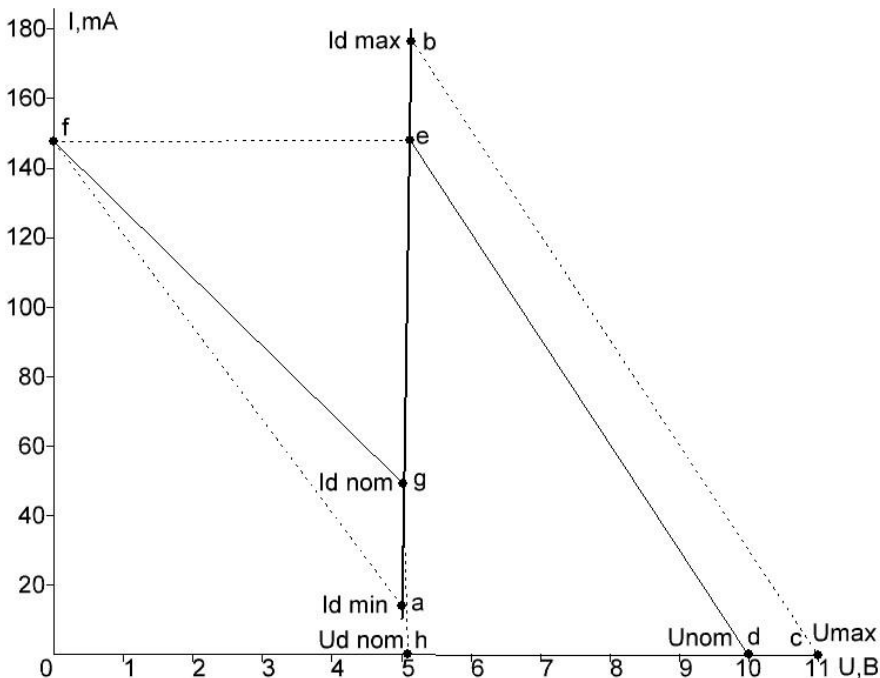


Рисунок 5 – Графический расчёт стабилизатора с применением зеркальных отражений ВАХ балластного резистора и потенциометра

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

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

Сопротивление потенциометра 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_n стабилизатора при изменении сопротивления нагрузки R_n используют внешнюю (нагрузочную) характеристику стабилизатора $U_n(I_n)$, 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, потенциометр и переключатель – из , (переключатель *SWITCH, SPDT*); амперметры и вольтметры – из  , стабилитрон из  *ZENER, 1N4733A*.

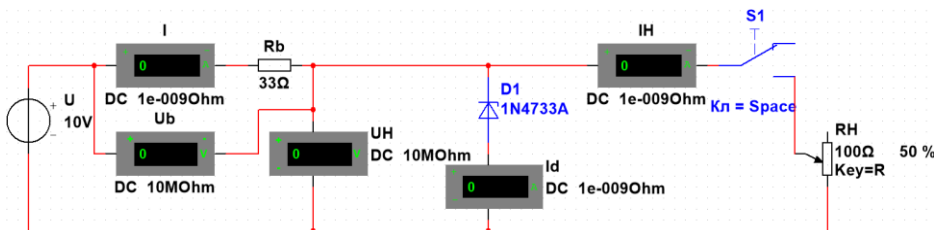



Рисунок 3 – Схема исследования нелинейной цепи стабилизатора напряжения

3 Назвать и установить (через двойной щелчок) напряжение источника U , 10 В; 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, %	∞	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 стабилитрона 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 стабилитрона (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 потенциометра.

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?