

УДК 621.382.2

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СТАБИЛИТРОНОВ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ АНАЛИЗА СХЕМ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ СТАБИЛИЗАТОРОВ

Понетовский Е. С.

Научный руководитель Домников С. В., к.т.н., доцент

Под математической моделью стабилитрона (как и других типов диодов) понимают совокупность его эквивалентной схемы и математических выражений, определяющих элементы эквивалентной схемы. Одна из эквивалентных схем диода, широко используемая при анализе электронных схем на ЭВМ, имеет вид:

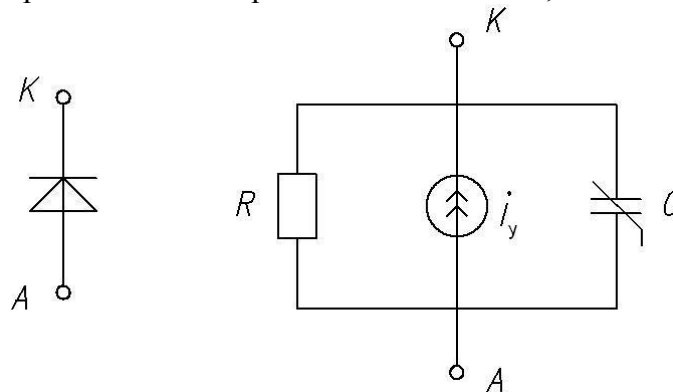


Рисунок 1 – Эквивалентная схема диода

где R позволяет учесть ток утечки, емкость C моделирует ёмкость диода. Управляемый источник тока i_y моделирует статическую вольтамперную характеристику диода. Модель является универсальной и хорошо моделирует диод в любом из возможных режимов работы, позволяя учесть и влияние температуры на свойства диодов.

Однако математическое описание тока i_y и ёмкости C довольно громоздко. Поэтому в несложных ручных расчетах предпочтение отдают простым математическим моделям диодов. При составлении этих моделей используют кусочно-линейную аппроксимацию вольтамперных характеристик диодов.

В частности, для стабилитрона, нормально работающего на обратной ветви вольтамперной характеристики, линейная аппроксимация обратной ветви представлена на рисунке 2.

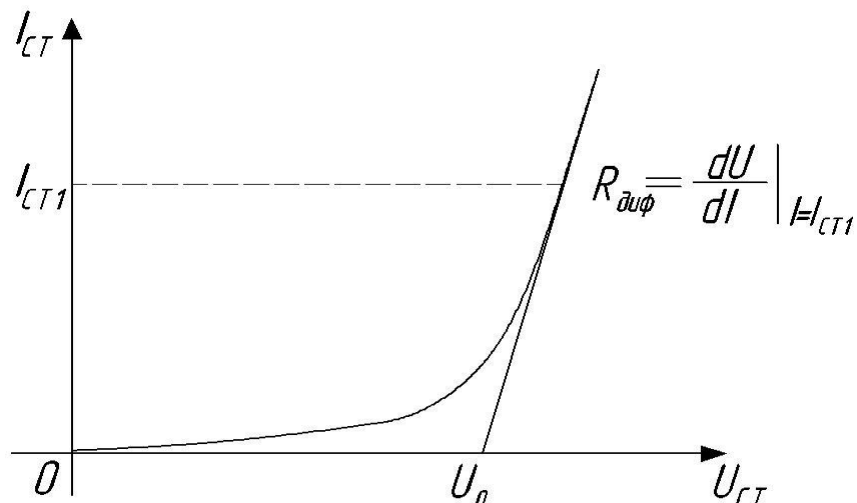


Рисунок 2 – Линейная аппроксимация обратной ветви ВАХ

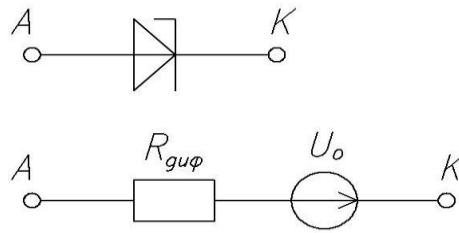


Рисунок 3 – Эквивалентная схема замещения

Кусочно-линейная аппроксимация стабилитрона

Применимость математической модели стабилитрона, полученной на основе кусочно-линейной аппроксимации его вольтамперной характеристики, рассмотрим на примере расчета режима работы параметрического стабилизатора, схема которого дана на рисунке 3, где VD – стабилитрон 2С168А, вольтамперная характеристика которого дана в таблице 1.

Таблица 1.

$I_{ст}, \text{mA}$	0	2	4	5	10	30	45
$U_{ст}, \text{B}$	0	6,3	6,55	6,6	6,8	7,4	8,0

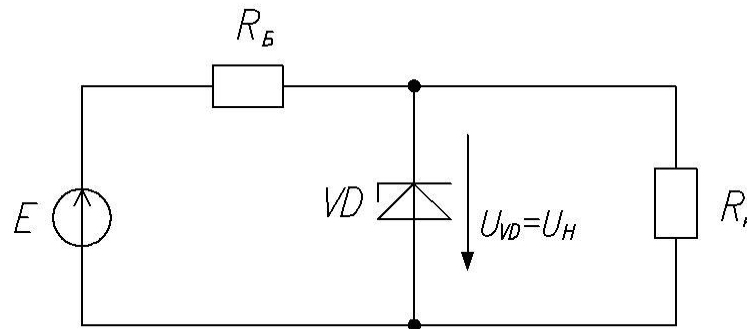


Рисунок 4 – Схема параметрического стабилизатора

Рассчитаем напряжение $U_H = U_{VD}$ при $E = 15\text{B}$, $R_B = 0,5\text{k}\Omega$, $R_H = 0,5\text{k}\Omega$.

1) Графический метод расчета. Выделив ветвь с VD в качестве расчетной, представим всю остальную часть стабилизатора по отношению к ней эквивалентным генератором с параметрами

$$E_{эГ} = E \cdot \frac{R_H}{R_B + R_H} = 15 \cdot \frac{0,5}{0,5 + 0,5} = 7,5\text{B}$$

$$R_{эГ} = \frac{R_B \cdot R_H}{R_B + R_H} = \frac{0,5 \cdot 0,5}{0,5 + 0,5} = 0,25\text{k}\Omega$$

Схема имеет вид:

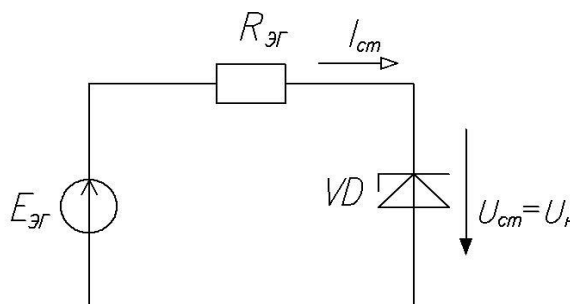


Рисунок 5 – Использование метода эквивалентного генератора для расчета стабилизатора

Известно, что расчет цепи, представленной на рисунке 4, состоит в нахождении точки пересечения линии нагрузки

$$U_H = E_{ЭГ} - I_{СТ} \cdot R_{ЭГ}$$

и вольт-амперной характеристики $I_{СТ}(U_{СТ})$ стабилитрона, которая приведена в таблице 1. Линию нагрузки строим по 2-ум точкам, соответствующим режимам холостого хода (точка М) цепи на рисунке 4 (без стабилитрона VD) и короткого замыкания (точка N) той же цепи. Очевидно, что координаты точки М:

$$I_{СТ} = 0A; U_{СТ} = U_H = E_{ЭГ} = 7,5B;$$

а точки N:

$$U_{СТ} = U_H = 0B; I_{СТ} = \frac{E_{ЭГ}}{R_{ЭГ}} = \frac{7,5}{250} = 0,03A = 30mA.$$

Находим точку пересечения линии нагрузки MN с вольтамперной характеристикой стабилитрона. По оси абсцисс откладываем значения $U_{СТ}$ в В, а по оси ординат значения $I_{СТ}$ в mA.

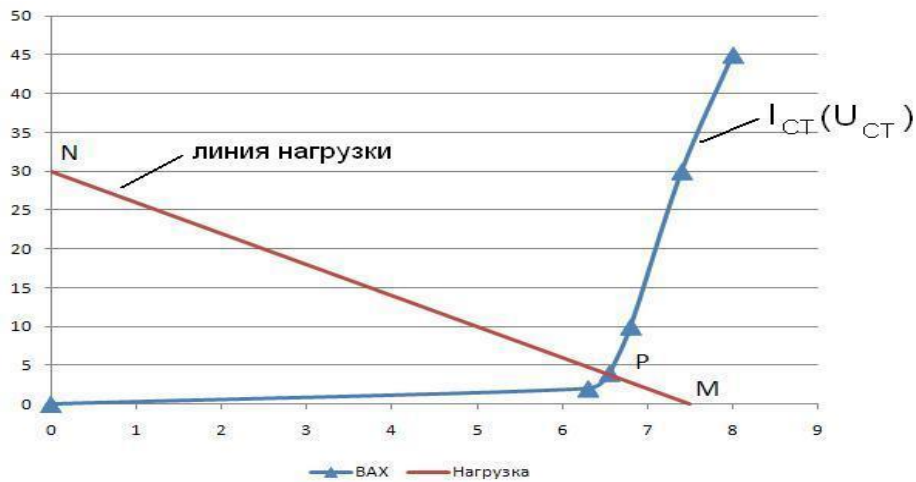


Рисунок 6 – Пересечение линии нагрузки с ВАХ

Координаты точки P, дающие решение задачи,

$$I_{СТ} = 4,5mA, U_{СТ} = U_H = 6,55B.$$

2) Графоаналитический метод с использованием кусочно-линейной аппроксимации вольт-амперной характеристики стабилитрона. По ВАХ стабилитрона, приведенной в таблице 1, в соответствии с аппроксимацией, представленной на рисунке 2, найдем:

$$U_0 = 6,5B, R_{диф} = \frac{7,4 - 6,6}{30 - 5} = 0,032k\Omega.$$

Схема замещения стабилизатора, с учетом кусочно-линейной аппроксимации вольтамперной характеристики стабилитрона представлена на рисунке 7:

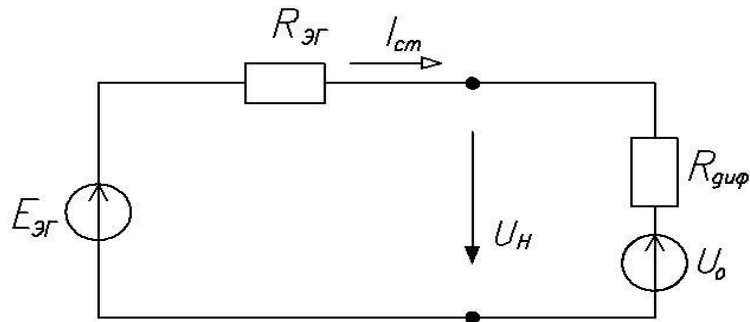


Рисунок 7 – Схема замещения стабилизатора при кусочно-линейной аппроксимации стабилитрона

Согласно 2-му закону Кирхгофа для этой цепи запишем:

$$E_{\Gamma} - U_0 = I_{CT} \cdot (R_{\text{ЭГ}} + R_{\text{оуф}})$$

Отсюда имеем:

$$I_{CT} = \frac{E_{\text{ЭГ}} - U_0}{R_{\text{ЭГ}} + R_{\text{оуф}}} = \frac{7,5 - 6,5}{0,25 + 0,032} = 3,56 \text{ mA}$$

$$U_H = E_{\text{ЭГ}} - I_{CT} \cdot R_{\text{ЭГ}} = 7,5 - 3,56 \cdot 0,25 = 6,61 \text{ B.}$$

Сопоставляя значения параметров режима, рассчитанные согласно изложенным выше подходам, приходим к выводу о высокой точности расчета, обеспечиваемой при аппроксимации вольтамперной характеристики стабилитрона, и значительном сокращении времени, необходимого для решения задачи.

Литература

1. Гершунский Б.С. Справочник по расчету электронных схем. - Киев: Вища школа, 1983. - 240с.
2. Терещук З.М., Терещук К.М., Седов С.А. Полупроводниковые приемно-усилительные устройства. Справочник радиолюбителя. – Киев: Наукова думка, 1989. – 820с.
3. Перельман Б.Л. Полупроводниковые приборы. Справочник. – М: СОЛОН, МИКРОТЕХ, 1996. – 176с.
4. В.И.Бойко, А.Н.Гуржий, В.Я.Жуйков, А.А.Зори, В.М.Спивак. Схемотехника электронных систем. Аналоговые и импульсные устройства. – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 496 с.