## Изучение моделей стабилитронов

### Математические модели компонентов радиоэлектронных устройств

### 

В процессе автоматизированного проектирования электронных схем нельзя обойтись без использования моделей элементов схемотехники. Обычно под математической моделью (ММ) какого-либо объекта понимают математическое описание, отражающее с определённой точностью поведение этого объекта в определённых внешних условиях.

Для электрорадио элементов (ЭРЭ) ММ представляют собой математические описания связей между токами и напряжениями, возникающими на электродах (выводах) данных элементов. При этом различают статические и динамические модели. В первом случае используются статические уравнения вольтамперных характеристик, во втором - дифференциальные уравнения, описывающие переходные процессы в ЭРЭ.

ММ ЭРЭ можно рассматривать как некий оператор, ставящий в соответствие совокупности внутренних параметров ЭРЭ множество функционально связанных между собой внешних параметров. Для ММ ЭРЕ внешними параметрами обычно являются токи и напряжения.

В общем случае различают две разновидности моделей: формальные и физические. Формальные модели подразумевают аппроксимацию характеристик ЭРЭ, когда физикоматематическое описание элементов недостаточно разработано, либо громоздко и его сложно использовать. Иногда для составления формальных ММ используется интерполяция таблично заданных характеристик. Физические ММ в той или иной степени отражают процессы, которые протекают в ЭРЭ и выводятся на основе теории работы элементов.

В качестве примера формальной модели рассмотрим ММ диода на прямой ветви его вольтамперной характеристики (ВАХ), рис. 1



Рис. 1 Аппроксимация ВАХ диода

а - прямая ветвь ВАХ

б - аппроксимация одной прямой

в - аппроксимация двумя прямыми

При использовании одной прямой, рис 1.б.

где - угол наклона прямой 1 к оси ().

где и - углы наклона прямых 1 и 2 к оси .

### Полупроводниковые стабилитроны. Общие сведения

Полупроводниковыми стабилитронами (в дальнейшем называемыми стабилитронами, так как устаревшие газоразрядные стабилитроны тлеющего и коронного разряда в настоящей лабораторной работе не рассматриваются) называют двухполюсные полупроводниковые приборы, предназначенные для стабилизации или ограничения напряжений, рис. 2.



Рис. 2 Стабилитроны

а - условно графическое изображение стабилитрона

б - условно графическое изображение симметричного стабилитрона

в - вольтамперная характеристика идеального стабилитрона

г - вольтамперная характеристика реального стабилитрона

Типовая схема стабилизатора напряжения представлена на рис. 3



Рис. 3 Стабилизатор напряжения

а - принципиальная схема

б - зависимость выходного напряжения схемы от входного напряжения для идеального стабилитрона

в - зависимость выходного напряжения схемы от входного напряжения для реального стабилитрона

Если входное напряжение меньше напряжения стабилизации , стабилитрон закрыт и , при выходное напряжение не изменяется (в случае идеального стабилитрона) или слабо увеличивается (в случае реального стабилитрона), рис. 3.б и рис. 3.в.

Балансный резистор выполняет две функции: задаёт величину тока стабилизации стабилитрона и «принимает» на себя разность напряжений .

Коэффициент стабилизации схемы , рис. 3.в, зависит от крутизны обратной ветви ВАХ стабилитрона, рис. 2.г.

### Параметры стабилитронов.

Основными параметрами стабилитронов являются:

1. Напряжение стабилизации задаётся в виде интервала Например, для стабилитрона Д814А То есть, если выбирать из упаковки стабилитронов отдельные приборы, то значения их напряжений стабилизации могут быть любыми в указанном диапазоне напряжений.

2. Ток стабилизации Для стабилитрона задаётся в виде интервала . Если , напряжение стабилизации становится нестабильным, у него появляется переменная составляющая (стабилитрон шумит). При стабилитрон может выйти из строя вследствие необратимого теплового пробоя. Для стабилитрона Д814А

3. Дифференциальное сопротивление . Дифференциальное сопротивление показывает, насколько изменится напряжение стабилизации при изменении тока стабилизации: , рис. 2.г. Геометрический смысл - угол наклона (крутизны) обратной ветви ВАХ, рис 2.г.

4. Температурный коэффициент напряжения стабилизации . Коэффициент показывает, насколько изменяется напряжение стабилизации при изменении температуры, .

### Математическая модель стабилитрона.

Выходным параметром ММ является напряжение стабилизации . Входными параметрами модели являются:

1. Ток стабилизации ;

2. Дифференциальное сопротивление ;

3. Температурный коэффициент напряжения стабилизации .

Следует отметить, что и зависят также от . В качестве примера рассмотрим эти зависимости на примере стабилитрона Д810, рис. 4.



Рис. 4 Параметры стабилитрона Д810

а - зависимость дифференциального сопротивления от температуры

б - зависимость дифференциального сопротивления от тока стабилизации

в - зависимость температурного коэффициента напряжения стабилизации от тока стабилизации в диапазоне от -60 ⁰С до +30 ⁰С.

г - зависимость температурного коэффициента напряжения стабилизации от тока стабилизации в диапазоне температур от +30 ⁰С до +125 ⁰С.

Структура ММ показаны на рис. 5



Рис. 5. Структура математической модели стабилитрона

формируется на основе входных параметров в соответствии с рис. 4 и 4 б. Температурный коэффициент формируется аналогичным образом в соответствии с рис. 4 в п. 2.

Генератор напряжения стабилизации запускается однократно (для моделируемого стабилитрона). Повторный запуск генератора соответствует смене стабилитрона. Генератор выделяет значение напряжения стабилизации

принадлежит интервалу изменений напряжения стабилизации и генерируется случайным образом в соответствии с прямоугольным законом распределения.

Вычислитель рассчитывает результирующее значение напряжения стабилизации в соответствии с зависимостью.

, где , – приращение напряжения стабилизации, обусловленные изменением этого напряжения из-за наличия и реального стабилитрона.

Как видно из рис. 5, и . Их значения определяются исходя из графиков или таблиц, приводимых в справочниках, например, на рис. 4 представлены графики зависимостей для и , соответствующие стабилитрону D 810. Кроме этого могут быть учтены временные нестабильность , который также приводятся в справочниках.

**5. Порядок выполнения работы**

1. Получить у преподавателя вариант выполнения работы, табл. 1.

Таблица 1

Задание для выполнения лабораторной работы

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| № задания | Стабилитрон | Ток стабилизации, мА | Температура, ⁰С. | Время работы стабилитрона, с. |
| 1.1  1.2  1.3  1.4  1.5 | D811 | 5  15  5…20  5…20  5 | +20…+50  +20…+50  +40  -20  +20 | 0  0  0  0  0…600 |
| 2.1  2.2  2.3  2.4  2.5 | D814A | 10  30  3…40  3…40  5 | -10…+40  -10…+40  +30  -15  +20 | 0  0  0  0  0…30 |
| 3.1  3.2  3.3  3.4  3.5 | D814D | 15  18  5…20  5…20  10 | -10…+40  -10…+40  +30  -15  +20 | 0  0  0  0  0…20 |
| 4.1  4.2  4.3  4.4  4.5 | KC133A | 10  20  20…70  20…70  20 | +20…+60  +20…+60  +30  0  +20 | 0  0  0  0  0…300 |
| 5.1  5.2  5.3  5.4  5.5 | KC156A | 5  15  5…15  5…15  10 | +20…+60  +20…+60  +30  0  +20 | 0  0  0  0  0…250 |
| 6.1  6.2  6.3  6.4  6.5 | K168A | 3  10  3…10  3…10  5 | +20…+60  +20…+60  +30  0  +20 | 0  0  0  0  0…300 |

2. Выполнить моделирование стабилитрона с помощью ПК (программное обеспечение содержит модели указанных в таблице 1 стабилитронов).

Например:

1. Задание 6.1. Определить зависимости напряжения стабилизации прибора КС168А от температуры при токе стабилизации 3 мА (шаг расчета должен быть выбран не более 5 ⁰С).

Таблица 2.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Температура, ⁰С. | +20 | +25 | +30 | +35 | +40 | +45 | +50 | +55 | +60 |
| Напряжение стабилизации, В. |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

1. Задание 6.2. Аналогично заданию 6.1., но моделирование производных при токе стабилизации 10 мА.
2. Задание 6.3. Определить зависимость напряжения стабилизации прибора КС168А от тока стабилизации при температуре +30 ⁰С.

Таблица 3.

Результаты моделирование для задания 6.3.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Ток стабилизации, мА | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Напряжение стабилизации, В. |  |  |  |  |  |  |  |  |

1. Задание 6.4. Аналогично заданию 6.3., но моделирование производится при температуре 0 ⁰С.
2. Задание 6.5. Определить временную стабильность напряжения стабилизации прибора КС168А.

Таблица 4.

Результаты моделирования для задания 6.5.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Время, с | 0 | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 |
| Напряжение стабилизации, В. |  |  |  |  |  |  |  |

По результатам моделирования необходимо построить графики полученных зависимостей.

1. Сделать выводы по результатам работы.
2. Составить отчет.

**6. Требования, предъявляемые к отчету**

Отчет должен содержать:

Цель работы, результаты моделирования, представленные в табличной и графической формах; выводы по результатам проведенных исследований.

**7. Контрольные вопросы**

1. Что понимается под мм ЭРЭ?

2. Какие виды мм ЭРЭ вы знаете?

3. Назначение полупроводниковых стабилитронов.

4. ВАХ стабилитрона.

5. Параметрический стабилизатор напряжения на стабилитроне.

6. Электрические параметры стабилитрона.

7. ММ стабилитроны, используемые в лабораторной работе.

8. Как влияет величина тока стабилизации на дифференциальное сопротивление стабилитрона?