

Изучение моделей стабилизаторов

1. 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 ЭРЭ 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

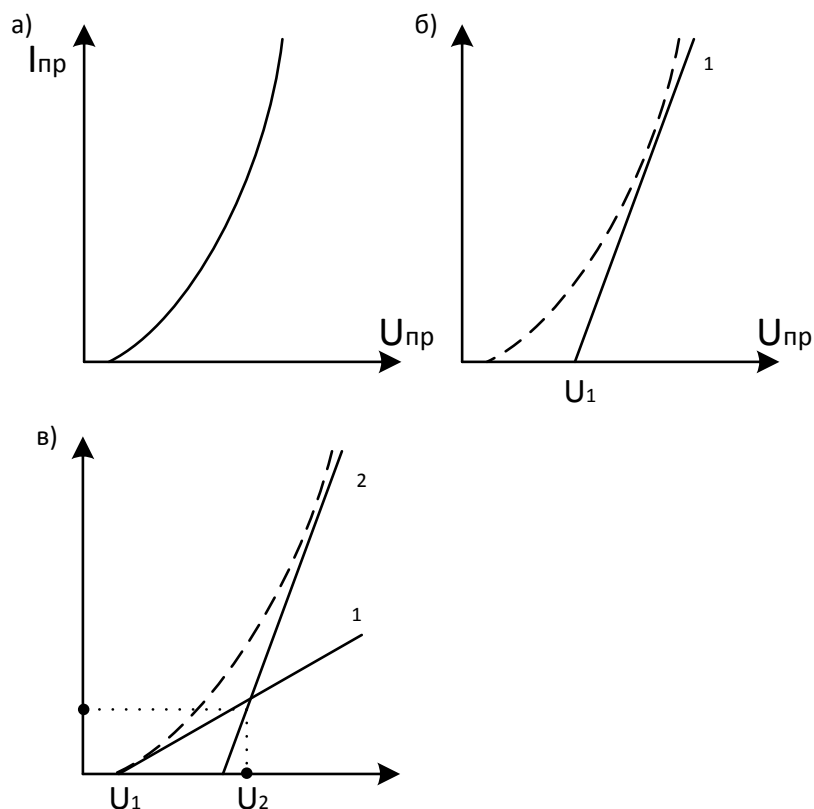


Рис. 1 Аппроксимация ВАХ диода

а - прямая ветвь ВАХ

б - аппроксимация одной прямой

в - аппроксимация двумя прямыми

При использовании одной прямой, рис 1.б.

$$I_{np} = \begin{cases} 0, & \text{при } U_{np} < U_1 \\ (U_{np} - U_1) * \tan \alpha, & \text{при } U_{np} \geq U_1 \end{cases}$$

где α - угол наклона прямой 1 к оси U_{np} ($\alpha < 90^\circ$).

$$I_{np} = \begin{cases} 0, & \text{при } U_{np} < U_1 \\ (U_{np} - U_1) * \tan \alpha_1, & \text{при } U_1 \leq U_{np} < U_2 \\ I_2 + (U_{np} - U_1) * \tan \alpha_2, & \text{при } U_{np} \geq U_2 \end{cases}$$

где α_1 и α_2 - углы наклона прямых 1 и 2 к оси U_{np} .

2. 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.

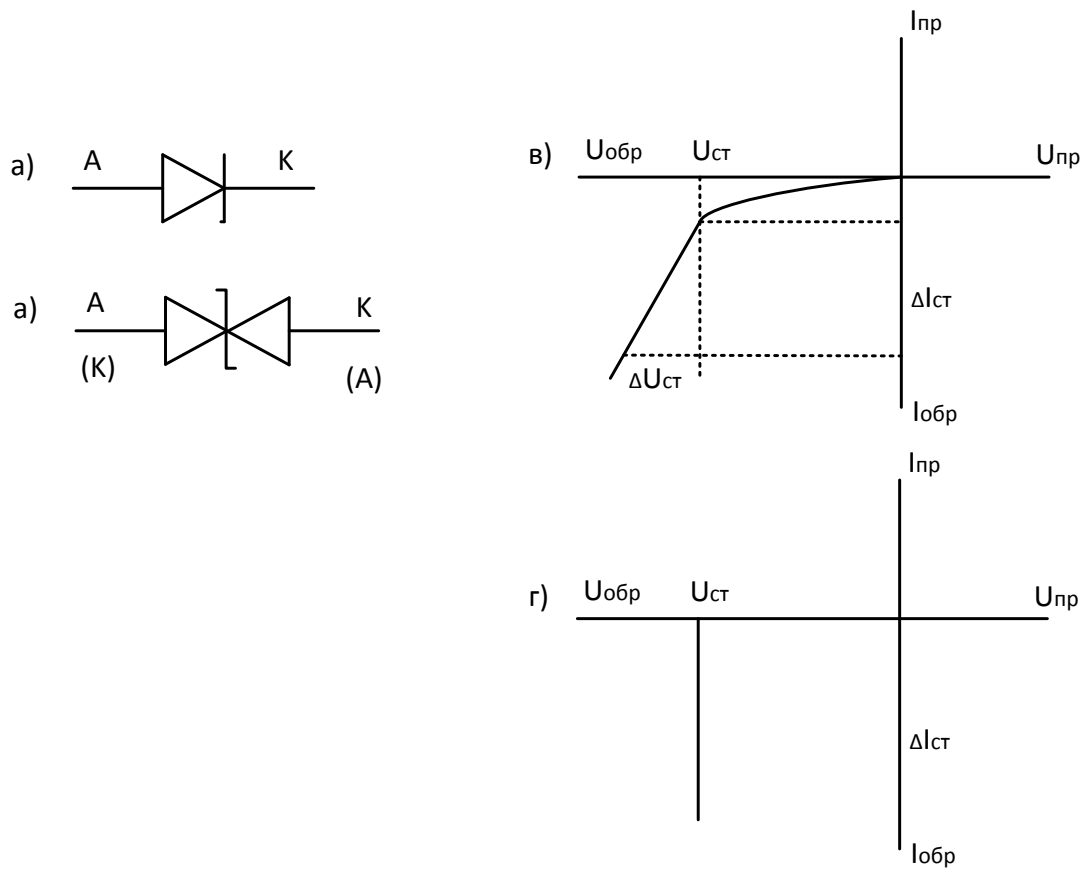


Рис. 2 Стабилитроны

- 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

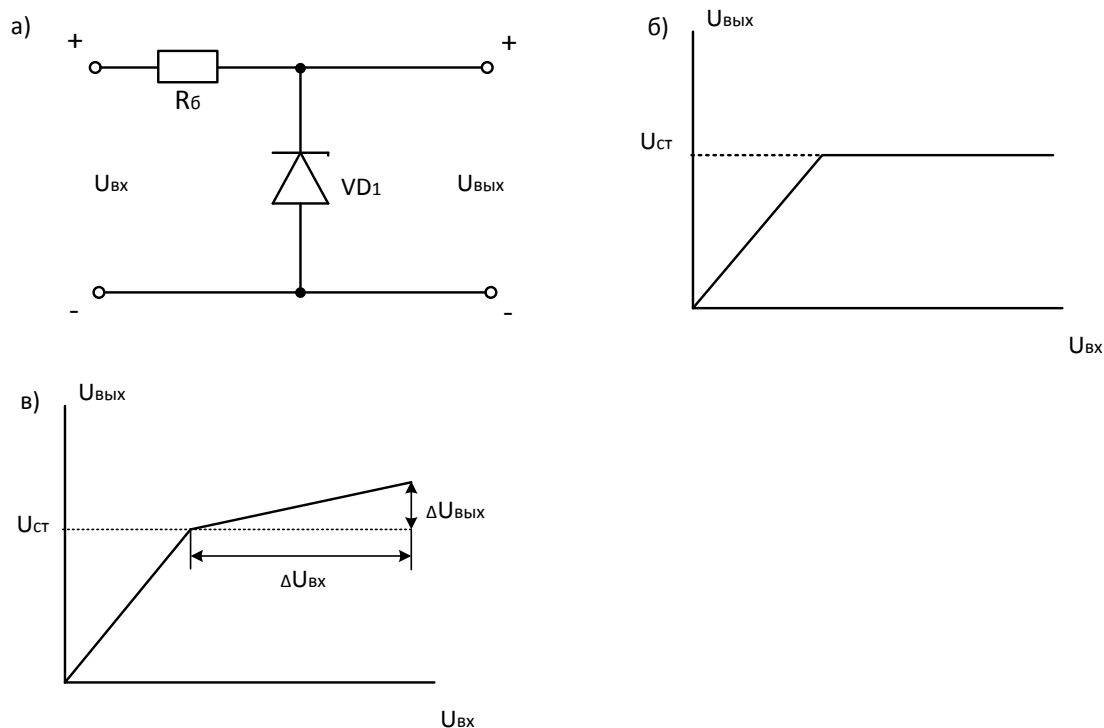


Рис. 3 Стабилизатор напряжения

а - принципиальная схема

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

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

Если входное напряжение меньше напряжения стабилизации $U_{ст}$, стабилитрон закрыт и $U_{вых} = U_{вх}$, при $U_{вх} > U_{ст}$ выходное напряжение не изменяется $U_{вых} = U_{ст}$ (в случае идеального стабилитрона) или слабо увеличивается (в случае реального стабилитрона), рис. 3.б и рис. 3.в.

Балансный резистор R_6 выполняет две функции: задаёт величину тока стабилизации стабилитрона и «принимает» на себя разность напряжений $\Delta U = U_{вх} - U_{вых}$.

Коэффициент стабилизации схемы $K_{ст} = \Delta U_{вх} / \Delta U_{вых}$, рис. 3.в, зависит от крутизны обратной ветви ВАХ стабилитрона, рис. 2.г.

3. Параметры стабилитронов.

Основными параметрами стабилитронов являются:

1. Напряжение стабилизации $U_{ст}$. Обычно $U_{ст}$ задаётся в виде интервала $U_{ст\ min} \dots U_{ст\ max}$. Например, для стабилитрона Д814А $U_{ст} =$

7 ... 8,5В. То есть, если выбирать из упаковки стабилитронов отдельные приборы, то значения их напряжений стабилизации могут быть любыми в указанном диапазоне напряжений.

2. Ток стабилизации I_{cm} . Для стабилитрона I_{cm} задаётся в виде интервала $I_{cm\ min} \dots I_{cm\ max}$. Если $I_{cm} < I_{cm\ min}$, напряжение стабилизации становится нестабильным, у него появляется переменная составляющая (стабилитрон шумит). При $I_{cm} > I_{cm\ max}$ стабилитрон может выйти из строя вследствие необратимого теплового пробоя. Для стабилитрона Д814А $I_{cm} = 3 \dots 40\text{mA}$.

3. Дифференциальное сопротивление R_∂ . Дифференциальное сопротивление показывает, насколько изменится напряжение стабилизации при изменении тока стабилизации: $R_\partial = \Delta U_{cm} / \Delta I_{cm}$, рис. 2.г. Геометрический смысл R_∂ - угол наклона (крутизны) обратной ветви ВАХ, рис 2.г.

4. Температурный коэффициент напряжения стабилизации α . Коэффициент показывает, насколько изменяется напряжение стабилизации при изменении температуры, $\alpha = [\%/^\circ\text{C}]$.

4. Математическая модель стабилитрона.

Выходным параметром ММ является напряжение стабилизации U_{cm} . Входными параметрами модели являются:

1. Ток стабилизации I_{cm} ;
2. Дифференциальное сопротивление R_∂ ;
3. Температурный коэффициент напряжения стабилизации α .

Следует отметить, что R_∂ и α зависят также от I_{cm} . В качестве примера рассмотрим эти зависимости на примере стабилитрона Д810, рис. 4.

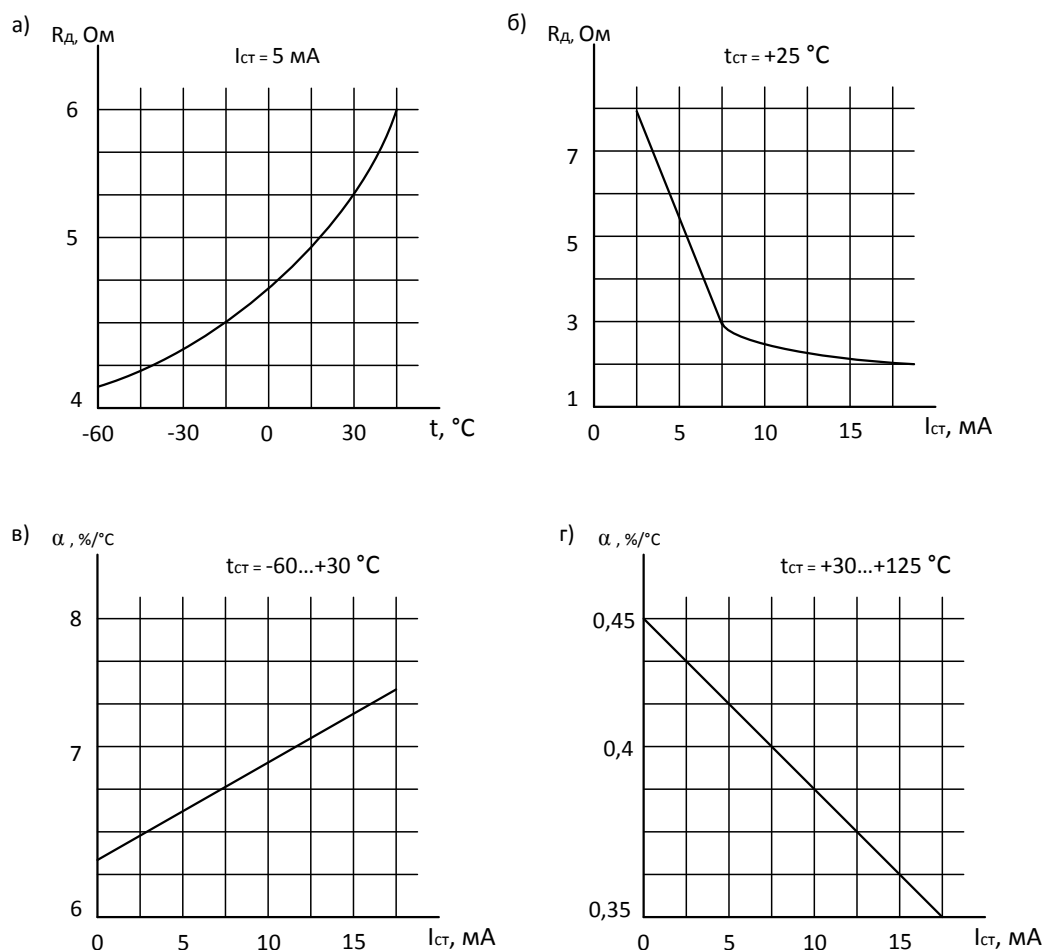


Рис. 4 Параметры стабилитрона Д810

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 $-60 ^\circ\text{C}$ до $+30 ^\circ\text{C}$.

г - зависимость температурного коэффициента напряжения стабилизации от тока стабилизации в диапазоне температур от $+30 ^\circ\text{C}$ до $+125 ^\circ\text{C}$.

Структура ММ показаны на рис. 5

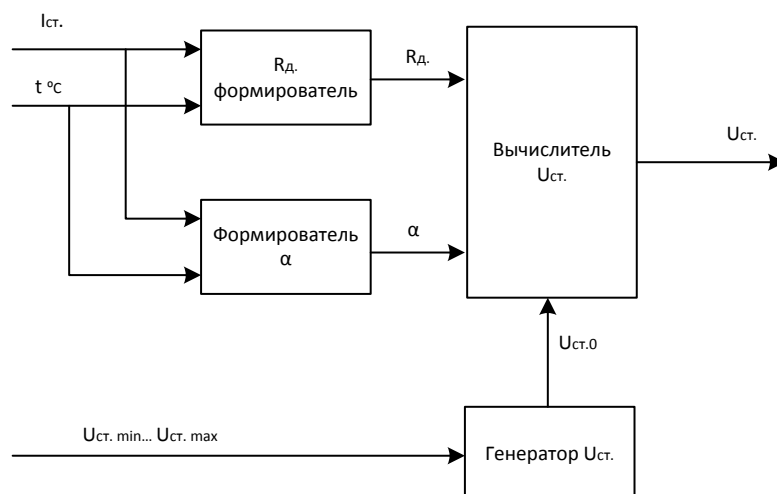


Рис. 5. Структура математической модели стабилизатора

R_θ формируется на основе входных параметров (I_{cm} , t^0C) в соответствии с рис. 4 и 4 б. Температурный коэффициент α формируется аналогичным образом в соответствии с рис. 4 в п. 2.

Генератор напряжения стабилизации запускается однократно (для моделируемого стабилизатора). Повторный запуск генератора соответствует смене стабилизатора. Генератор выделяет значение напряжения стабилизации $U_{cm.0}$

$U_{cm.0}$ принадлежит интервалу изменений напряжения стабилизации $U_{cm.min} \dots U_{cm.max}$ и генерируется случайным образом в соответствии с прямоугольным законом распределения.

Вычислитель U_{cm} рассчитывает результирующее значение напряжения стабилизации в соответствии с зависимостью.

$U_{cm} = U_{cm.0} + \Delta U_{cm}^{R_\theta} + \Delta U_{cm}^\alpha$, где $\Delta U_{cm}^{R_\theta}$, ΔU_{cm}^α – приращение напряжения стабилизации, обусловленные изменением этого напряжения из-за наличия R_θ и α реального стабилизатора.

Как видно из рис. 5, $R_\theta = F_1(I_{cm}, t^0C)$ и $\alpha = F_2(I_{cm}, t^0C)$. Их значения определяются исходя из графиков или таблиц, приводимых в справочниках, например, на рис. 4 представлены графики зависимостей для R_θ и α , соответствующие стабилизатору D 810. Кроме этого могут быть учтены временные нестабильности U_{cm} , 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	Стабилизатор	Ток стабилизации, мА	Температура, °C.	Время работы стабилизатора, с.
1.1	D811	5	+20...+50	0

1.2		15	+20...+50	0
1.3		5...20	+40	0
1.4		5...20	-20	0
1.5		5	+20	0...600
2.1	D814A	10	-10...+40	0
2.2		30	-10...+40	0
2.3		3...40	+30	0
2.4		3...40	-15	0
2.5		5	+20	0...30
3.1	D814D	15	-10...+40	0
3.2		18	-10...+40	0
3.3		5...20	+30	0
3.4		5...20	-15	0
3.5		10	+20	0...20
4.1	KC133A	10	+20...+60	0
4.2		20	+20...+60	0
4.3		20...70	+30	0
4.4		20...70	0	0
4.5		20	+20	0...300
5.1	KC156A	5	+20...+60	0
5.2		15	+20...+60	0
5.3		5...15	+30	0
5.4		5...15	0	0
5.5		10	+20	0...250
6.1	K168A	3	+20...+60	0
6.2		10	+20...+60	0
6.3		3...10	+30	0
6.4		3...10	0	0
6.5		5	+20	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 KC168A от температуры при токе стабилизации 3 мА (шаг расчета должен быть выбран не более 5 °C).

Таблица 2.

Температура, °C.	+20	+25	+30	+35	+40	+45	+50	+55	+60
Напряжение стабилизации, В.									

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

Таблица 3.

Результаты моделирование для задания 6.3.

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

4. Задание 6.4. Аналогично заданию 6.3., но моделирование производится при температуре 0 °C.
5. 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.

6. Сделать выводы по результатам работы.
7. 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 стабилизаторов.
4. ВАХ стабилизатора.
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?