

**Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Физико-технический факультет
Кафедра оптоэлектроники**

Методическое пособие к лабораторной работе

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Краснодар 2018

Цель работы: исследование цепи постоянного тока, содержащей нелинейные элементы: экспериментальное получение характеристик нелинейных резистивных элементов, расчет нелинейной электрической цепи постоянного тока и экспериментальная проверка результатов расчета.

1. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Элементы электрических цепей, параметры которых зависят от величины тока или напряжения, называют нелинейными. В общем случае схемы замещения электротехнических устройств содержат кроме линейных также нелинейные резистивные, индуктивные и емкостные элементы. Эти элементы соответственно описываются нелинейными вольт-амперными $I(U)$ (см. рис. 1) или $i(u)$, вебер-амперными $\Psi(i)$ и кулон-вольтными $q(u)$ характеристиками.

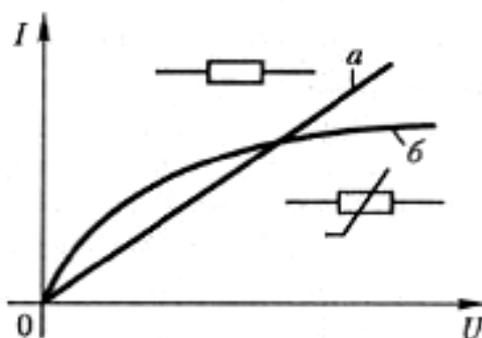


Рис. 1 Вольт-амперные характеристики (ВАХ) линейного (а) и нелинейного (б) резистивных элементов а также их условные обозначения на схемах замещения.

Нелинейные свойства элементов могут быть источником нежелательных явлений, например искажения формы тока в цепи, что недопустимо для правильного воспроизведения сигналов. Однако в ряде случаев нелинейные свойства элементов лежат в основе принципа действия электротехнических устройств, например выпрямителей и стабилизаторов напряжения, усилителей и т.д.

Для реализации таких устройств создаются элементы с необходимыми нелинейными характеристиками на основе диэлектрических, полупроводниковых, ферромагнитных и других материалов. К числу таких устройств относят: бареттеры (электронный газонаполненный прибор, двухполюсник — стабилизатор тока), термисторы, варисторы, электровакуумные и полупроводниковые диоды, стабилитроны и т.д.

Перечисленные элементы – пассивные нелинейные двухполюсники. Их свойства представляются одной вольтамперной характеристикой (ВАХ), что позволяет отнести эти элементы к группе неуправляемых нелинейных элементов. ВАХ резистивного нелинейного элемента расположены в первой и третьей квадрантах декартовой системы координат. Она в той или иной степени отклоняется от прямой линии и может быть симметричной или несимметричной относительно начала координат. Нелинейный резистивный элемент характеризуется сопротивлениями, зависящими от напряжения и тока.

Для нелинейных цепей неприменим принцип наложения. Поэтому неприменимы или применимы с ограничениями все методы расчета цепей, которые на нем основаны: метод контурных токов, метод наложения, метод эквивалентного источника.

Ограничимся далее в этой лабораторной работе анализом цепей, содержащих пассивные нелинейные резистивные двухполюсники.

ЦЕПИ С НЕЛИНЕЙНЫМИ ДВУХПОЛЮСНИКАМИ

Свойства нелинейного резистивного двухполюсника определяются вольт-амперной характеристикой (ВАХ), а его схема замещения представляется нелинейным резистивным элементом.

Различают статические и динамические ВАХ. Статические характеристики получают при постоянных токах и напряжениях, динамические – при их быстром изменении. Если ВАХ для изменяющегося во времени тока $i(u)$ и постоянного тока $I(U)$ совпадают, то двухполюсник называется безынерционным, в противном случае — инерционным. Последние здесь не будут рассматриваться.

Каждая точка ВАХ определяет статическое $R_{ст} = U/I$ и дифференциальное $R_{диф} = dU/dI$ сопротивления нелинейного двухполюсника (рис. 2).

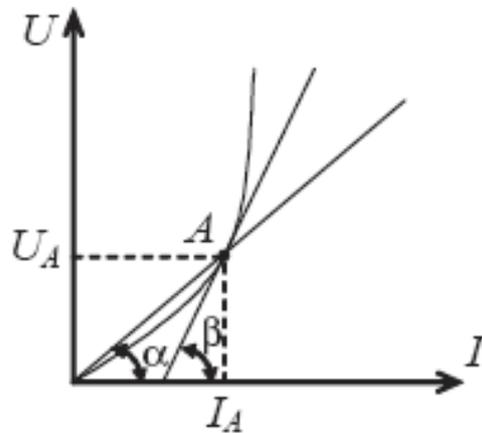


Рис. 2. Статистическое $R_{ст} = U/I = \operatorname{tg} \alpha$ и дифференциальное $R_{диф} = dU/dI = \operatorname{tg} \beta$ сопротивления нелинейного двухполюсника

В некоторых двухполюсниках, например в лампах накаливания, нелинейность ВАХ обусловлена нагревом, причем в силу инерционности тепловых процессов для мгновенных значений синусоидальных тока и напряжения справедливо соотношение $u = R_{ст}(I)i$, где статическое сопротивление $R_{ст} = U/I$ равно отношению действующих значений напряжения и тока. Такие двухполюсники называются *неискажающими* или *условно-нелинейными*.

ЦЕПЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА.

Рассмотрим общий случай включения нелинейного резистивного двухполюсника в произвольную линейную цепь, которую относительно выводов этого двухполюсника представим линейным активным двухполюсником (рис. 3).

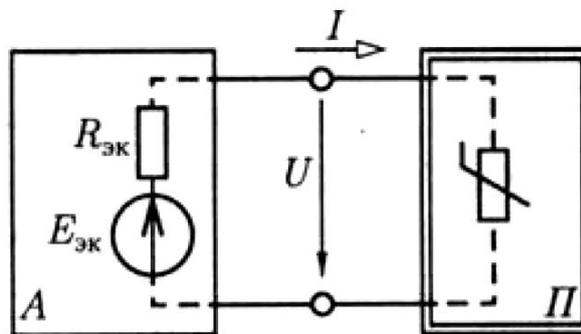


Рис. 3. Эквивалентная схема цепи с нелинейным резистивным двухполюсником

Заменим линейный активный двухполюсник эквивалентным источником с внешней характеристикой (см. 4):

$$U = E_{\text{эк}} - R_{\text{эк}} I, \quad (1)$$

или

$$I = (E_{\text{эк}} - U) / R_{\text{эк}}. \quad (2)$$

Точка пересечения А внешней характеристики линейного активного двухполюсника и ВАХ нелинейного двухполюсника $I(U)$ определяет рабочий режим цепи (рис. 4). Характеристика (1) называется **нагрузочной характеристикой** активного двухполюсника, а графоаналитический метод расчета нелинейной цепи с ее применением — **методом нагрузочной характеристики**.

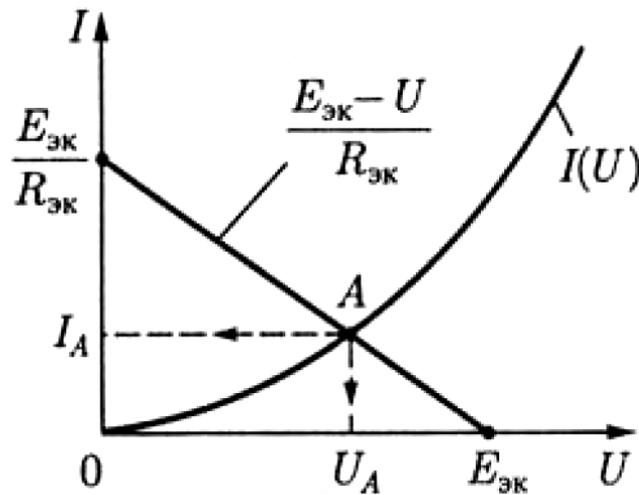


Рис. 4. Графоаналитический метод расчета нелинейной цепи применением метода нагрузочной характеристики

Метод нагрузочной характеристики пригоден и в случаях, если нелинейная часть цепи содержит последовательное или параллельное соединение нелинейных двухполюсников с известными ВАХ. Для этого необходимо в первом случае сложить ВАХ нелинейных двухполюсников по напряжению (рис. 5), а во втором — по току (рис. 6).

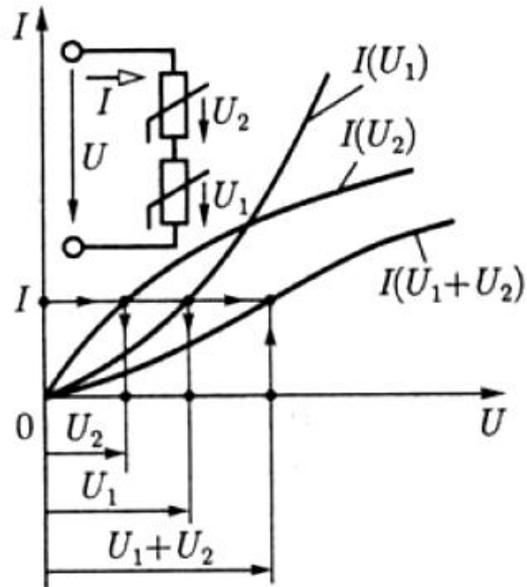


Рис. 5. Анализ цепи при последовательном соединении нелинейных двухполюсников с известными ВАХ.

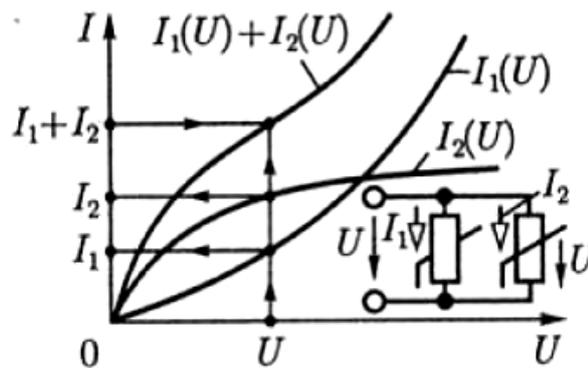


Рис. 6. Анализ цепи при параллельном соединении нелинейных двухполюсников с известными ВАХ.

Определив рабочую точку на результирующей ВАХ методом нагрузочной характеристики, далее найдем ток и напряжение каждого нелинейного двухполюсника.

Аналогично рассчитывается цепь, которая содержит смешанное соединение нелинейных двухполюсников (рис. 7).

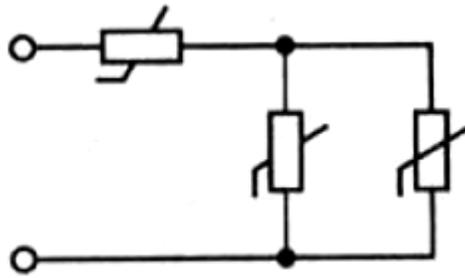


Рис. 7. Смешанное соединение нелинейных двухполюсников.

2. ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

2.1. Регистрация прямой и обратной ветви статических вольтамперных характеристик (ВАХ) стабилитрона

При *прямом* включении стабилитрона на его анод также подаётся положительное напряжение. В схеме измерений, изображённой на рис. 8, положительное смещение подаётся с регулируемого источника $E1$. Ток, протекающий через исследуемый стабилитрон измеряется амперметром $PA1$. Напряжение на стабилитроне измеряется вольтметром $PV1$. Ограничительное сопротивление $R_{огр}$ предохраняет исследуемый стабилитрон от теплового пробоя.

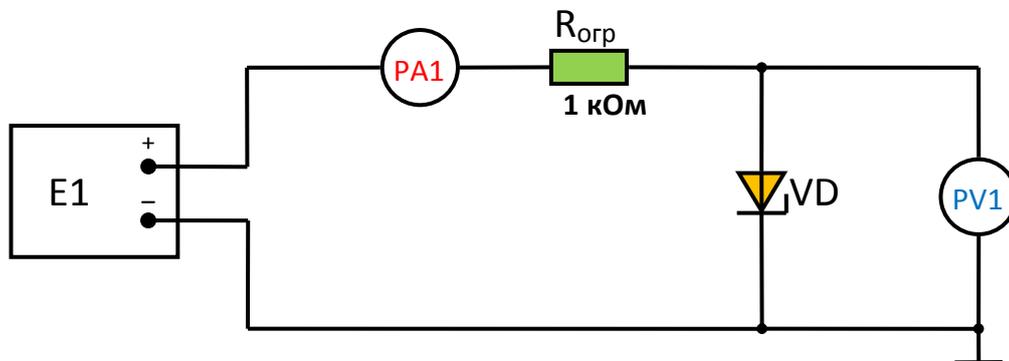


Рис. 8. Схема измерения при снятии прямой ветви ВАХ

При снятии характеристики, регулируя напряжение источника $E1$, устанавливается ток стабилитрона в соответствии с табл.1. и записывается значение напряжения на стабилитроне, измеренное вольтметром $PV1$.

Установите пределы измерений амперметра – 2 мА, вольтметра – 20 В. Тумблеры переключения режимов работы вольтметра ($PV1$) и амперметра ($PA1$) установите в положение измерения постоянных величин (=). Ручки управления выходным напряжением источника $E1$ поверните против часовой стрелки до упора. Проведите измерения. Результаты измерений занесите в таблицу 1.

Таблица 1

I_{VD} , мкА (РА2)	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	1	2	3	5	10
U_{VD} , В (PV1)											

При **обратном** включении **стабилитрона** на его катод подаётся положительное напряжение. В схеме измерений, изображённой на рис. 9, положительное смещение подаётся с регулируемого источника E2. Ток протекающий через исследуемый стабилитрон измеряется амперметром РА2. Напряжение на стабилитроне измеряется вольтметром PV2. Ограничительное сопротивление $R_{огр}$ предохраняет исследуемый стабилитрон от пробоя при неправильном включении.

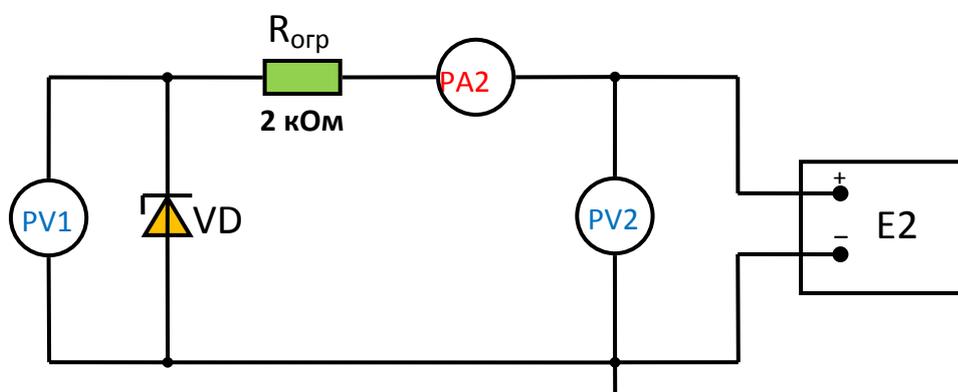


Рис.9. Схема измерения при снятии обратной ветви ВАХ

Установите пределы измерений амперметра РА2 – 20 мА, вольтметров PV1 и PV2 – 20 В. Тумблеры переключения режимов работы вольтметров и амперметра установите в положение измерения постоянных величин (=). Ручки управления выходным напряжением источника E2 поверните против часовой стрелки до упора. Проведите измерения. Результаты измерений занесите в таблицу 2.

Таблица 2

$U_{вх}$, В (PV2)	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
I_{VD} , мкА (РА2)											
U_{VD} , В (PV1)											

По данным таблиц постройте ВАХ стабилитрона при прямом и обратном включении.

2.2. Регистрация прямой и обратной ветви двухполюсника, состоящего из смешанного включения стабилитрона и двух резисторов

Проведите регистрацию параметров двухполюсника, состоящего из смешанного включения стабилитрона и двух резисторов (рис. 10). Результаты измерений занесите в таблицу 3.

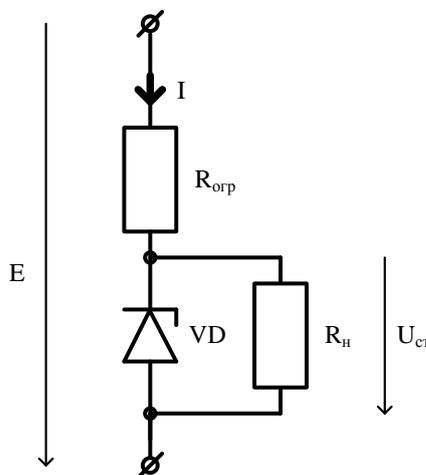


Рис. 10. Двухполюсник, состоящий из смешанного включения стабилитрона и двух резисторов.

Таблица 3

Экспериментальные данные												
$R_н$, кОм	E , В	- 20	- 18	- 16	...	- 2	0	2	...	16	18	20
10	$U_{VDЭ}$, В											
	$I_Э$, мА											
2	$U_{VDЭ}$, В											
	$I_Э$, мА											

2.2. Расчет нелинейной цепи графоаналитическим методом с применением метода нагрузочной характеристики

Графоаналитическим способом с помощью метода нагрузочной характеристики рассчитайте ВАХ двухполюсника, приведенного на рис. 10 для двуполярного постоянного напряжения от - 20 В до 20 В с шагом 2 В. Для этого:

– представьте цепь, состоящую из источника E и резисторов $R_{ор}$ и $R_н$ линейным активным двухполюсником, замените его эквивалентным источником (рис. 3) с внешней характеристикой (формулы 1 или 2).

– рассчитайте методом нагрузочной характеристики параметры нелинейного двухполюсника (стабилитрона) : напряжение U_{VDP} и ток I_{VD} в

зависимости от напряжения источника E для сопротивлений нагрузки: $R_H = 10 \text{ кОм}$ и $R_H = 2 \text{ кОм}$ при $R_{огр} = 2 \text{ кОм}$. Результаты расчета занесите в таблицу 4.

Таблица 4

Расчетные данные												
$R_H, \text{кОм}$	$E, \text{В}$	- 20	- 18	- 16	...	- 2	0	2	...	16	18	20
10	$U_{VDP}, \text{В}$											
	$I_{VD}, \text{мА}$											
2	$U_{VDP}, \text{В}$											
	$I_{VD}, \text{мА}$											

– по экспериментальным данным (табл. 3) и полученным результатам расчетов (табл. 4) постройте графики зависимости $U_{VDЭ}$ и U_{VDP} от напряжения источника E , сравните экспериментальные и расчетные данные, сделайте вывод о пригодности метода нагрузочной характеристики для расчета параметров нелинейных цепей.

- по зависимости напряжения U_{VDP} от E рассчитайте зависимость тока I_P нелинейного двухполюсника, состоящего из смешанного включения стабилитрона и двух резисторов $R_H = 10 \text{ кОм}$ и $R_H = 2 \text{ кОм}$ при $R_{огр} = 2 \text{ кОм}$, от напряжения E . Результаты расчета занесите в таблицу 5:

Таблица 5

Расчетные данные												
$R_H, \text{кОм}$	$E, \text{В}$	- 20	- 18	- 16	...	- 2	0	2	...	16	18	20
10	$I_P, \text{мА}$											
2	$I_P, \text{мА}$											

По данным таблиц 4 и 5 постройте экспериментальные и расчетные графики зависимостей $I_{Э}(E)$ и $I_P(E)$, сделайте вывод.

Литература

1. Данилов И.А. Общая электротехника. Люберцы: Юрайт, 2016.
2. Левченко А.С. Электроника. Рекомендации к выполнению лабораторных работ. Краснодар. 2012.
3. Попов В.П. Основы теории цепей. М.: Высшая школа. 2015.
4. Касаткин А.С., Немцов М.В. Электротехника. М.: Академия, 2008.