

## Лабораторная работа № 4

### ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК НЕЛИНЕЙНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

**Цель работы:** экспериментальные исследования вольтамперных характеристик стабилитронов.

**Материалы и приборы:** регулируемый источник напряжения, вольтметр, амперметр, исследуемые стабилитроны.

#### Краткие сведения из теории.

Самой общей характеристикой любого элемента, через который протекает электрический ток, является вольтамперная характеристика. **Вольтамперная характеристика (ВАХ)** – это зависимость тока протекающего через устройство от напряжения на его входах. Вольтамперными характеристиками различного характера обладают и генератор гидроэлектростанции, и транзистор в процессоре компьютера.

Всё множество приборов, используемых в электронике и электротехнике, можно разделить на две группы – устройства с линейной и с нелинейной вольтамперной характеристикой. К элементам с линейной ВАХ относятся резисторы, конденсаторы в цепи переменного тока и некоторое количество иных элементов. Граница линейной и нелинейной зависимости тока в цепи от приложенного напряжения достаточно условна и зависит от чувствительности проводимых измерений и от величины токов и напряжений, действующих в цепи.

Всё множество нелинейных элементов можно разделить на три большие группы: нелинейные сопротивления, нелинейные ёмкости и нелинейные индуктивности.

Нелинейные сопротивления (НС) в свою очередь можно подразделить на две большие подгруппы: неуправляемые НС и управляемые НС. Особенностью управляемых НС является наличие дополнительной ( по отношению к основной) управляющей цепи. Изменением тока или напряжения в управляющей цепи можно изменять (управлять) ВАХ основной цепи. К нелинейным элементам с управляемыми характеристиками относятся такие важные и широко распространённые приборы как электронные лампы, полупроводниковые транзисторы, тиристоры, полупроводниковые резисторы и некоторые другие НС. Управляемые НС описываются не одной ВАХ, а семейством ВАХ.

К неуправляемым элементам с нелинейными характеристиками можно отнести лампы накаливания, электрическую дугу, газотронные приборы, стабилитроны,

полупроводниковые сопротивления и некоторые другие устройства.

На рис.1 изображено одиннадцать типов наиболее часто встречающихся вольтамперных характеристик нелинейных элементов. Рассмотрим особенности этих характеристик. На рис.1,а изображена симметричная вольтамперная характеристика. Эта характеристика удовлетворяет условию  $f(x)=f(-x)$ . Такие элементы называют нелинейными сопротивлениями с симметричной вольтамперной характеристикой. Примером такой характеристики является ВАХ лампы накаливания с металлической нитью. Симметрия

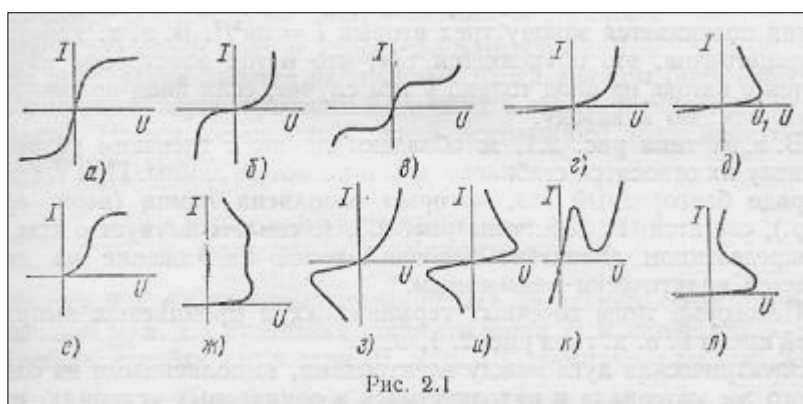


Рис. 2.1

характеристика удовлетворяет условию  $f(x)=f(-x)$ . Такие элементы называют нелинейными сопротивлениями с симметричной вольтамперной характеристикой. Примером такой характеристики является ВАХ лампы накаливания с металлической нитью. Симметрия

характеристики обусловлена тем, что нить лампы имеет одинаковое сопротивление при любом направлении тока. Нелинейность характеристики проявляется из-за того, что нить лампы работает в очень большом диапазоне температур. Например, температура нити обычной лампы накаливания меняется от комнатной до 1800 - 2400°C.

На рис.1,б изображена симметричная ВАХ, которой обладают полупроводниковые резисторы и термисторы. Количество таких приборов очень велико. Они применяются в качестве датчиков температуры в измерительных устройствах и системах автоматики. Недостатком полупроводниковых резисторов является большой разброс параметров.

На рис.1,в изображена ВАХ прибора под названием бареттер. Это устройство применяется для стабилизации тока. Характеристика прибора симметрична. Поэтому бареттер может применяться для стабилизации переменного и постоянного тока.

Характеристика на рис.1г в отличие от прежних характеристик несимметрична. Такой характеристикой обладают полупроводниковые диоды. Такая несимметричная характеристика обеспечивает преобразование переменного электрического тока в постоянный, т.е., выпрямление электрического тока.

Электрическая дуга с разнородными электродами, газотрон и некоторые типы терморезисторов имеют ВАХ вида 1,д. Если повышать напряжение начиная с нуля, то с начала ток растёт, но остаётся весьма малым. При достижении определённого напряжения, которое называется напряжением зажигания, происходит значительное увеличение тока в цепи и снижение напряжения на разрядном промежутке. Для верхнего участка ВАХ приращению тока соответствует уменьшение напряжения на нелинейном сопротивлении. Этот участок ВАХ называют **падающим участком вольтамперной характеристики**. Электрическая дуга широко применяется для сварки металлов, для выплавки металлов в дуговых печах, в качестве мощного источника света в прожекторах.

Двухэлектродная вакуумная лампа называется кенотроном и применяется для выпрямления электрического тока. Её ВАХ изображена на рис.1,е. Эта лампа внутри вакуумированного баллона имеет анод и подогреваемый катод. При пропускании электрического тока через нить накала катод лампы разогревается. Возникает термоэлектронная эмиссия и под действием электрического поля, приложенного между анодом и катодом, возникает электрический ток. Обратная ветвь ВАХ, которая есть у полупроводникового диода, у вакуумного диода отсутствует. Применяют вакуумные диоды для выпрямления высоких напряжений.

На рис.1,ж изображена ВАХ газонаполненного прибора с тлеющим разрядом. К этим приборам относятся стабилитроны и неоновые лампы. Основной особенностью этих приборов является то, что в некотором интервале значений токов напряжение на приборе остаётся постоянным.

Вольтамперную характеристику изображённую на рис.1,з имеют некоторые типы точечных германиевых и кремниевых выпрямителей.

Если электроды дуги выполнены из одинакового материала и находятся в одинаковых условиях, вольтамперная характеристика имеет вид 1,и.

Большая группа переключательных полупроводниковых приборов имеет ВАХ, изображённую на рис.1,л. К приборам с такой характеристикой относятся диносторы и тиристоры.

Особенностью вольтамперной характеристики туннельного диода является наличие участка ВАХ с отрицательным сопротивлением. Это свойство характеристики туннельного диода позволяет использовать его для генерации и усиления электрических сигналов. Вольтамперная характеристика такого типа изображена на рис.1,к.

### **Исследование вольтамперной характеристики полупроводникового стабилитрона.**

Полупроводниковые стабилитроны – это очень большой класс приборов. Основное назначение этих диодов – стабилизация напряжения. В настоящее время выпускаются

стабилитроны на напряжения стабилизации от 3 В до нескольких сот вольт. Стабилитроны характеризуются минимальным и максимальным током стабилизации. Минимальный ток стабилизации соответствует току, при котором развивается электрический пробой **p-n** перехода. Максимальный ток стабилизации ограничен мощностью  $P_{\text{макс}}$ , при превышении которой электрический пробой переходит в тепловой. Физическим механизмом, обеспечивающим особенность ВАХ стабилитронов, является работа в режиме пробоя. Практически при напряжениях стабилизации ниже 6 В имеет место туннельный пробой, а при напряжениях выше 8 В – лавинный.

Стабилитроны для стабилизации напряжения меньше 3 В называют стабисторами.

Отличительной особенностью стабисторов является то, что они работают на прямой ветви ВАХ.

Очень важным параметром для стабилитрона является температурный коэффициент напряжения. Это параметр, который показывает, как сильно изменяется напряжение при изменении температуры на 1 К. Для лучших стабилитронов эта величина составляет 0,0001 % град<sup>-1</sup>.

На рис. 2 изображена схема для измерения вольтамперной характеристики стабилитрона. Она состоит из регулируемого источника напряжения ИП, дополнительного резистора  $R_d$ , исследуемого диода VD, миллиамперметра и вольтметра для измерения тока и напряжения. Регистрируются две

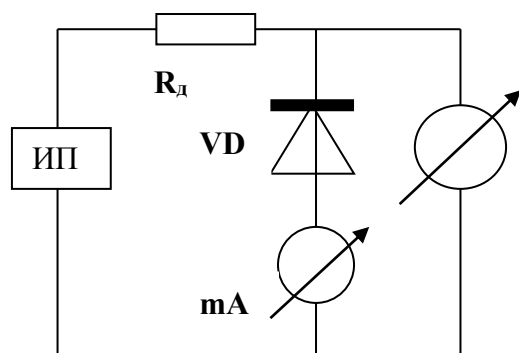


Рис.2

ветви ВАХ – положительная и отрицательная. Положительная ветвь ВАХ снимается для напряжения, приложенного к переходу в прямом направлении, а отрицательная – для напряжения, приложенного в обратном направлении. Диапазон напряжений, подаваемых на диод от 0 В до до 5...15 В. Максимальная величина напряжения зависит от типа исследуемого стабилитрона.

Измеряемыми величинами являются ток, протекающий через диод и падение напряжения на диоде.

Результаты измерения заносятся в таблицу.

U, (В)											
I, (А)											

По результатам измерений строится график и **определяется напряжение стабилизации.**

### Контрольные вопросы

1. Приведите примеры элементов с нелинейными ВАХ.
2. В каком режиме работает стабилитрон на обратном участке ВАХ?
3. Укажите на графике напряжение стабилизации стабилитрона.
4. Как зависит напряжение стабилизации от температуры?
5. Чем определяется минимальный ток стабилизации стабилитрона?
6. Чем определяется максимальный ток стабилизации стабилитрона?

### Основная литература

1. Росадо Л. Физическая электроника и микроэлектроника М., 1991
2. Власов А.Б. Физические основы электроники.
3. Носова Г.И., Задворный А.Г.. Физические основы электроники.
4. Бобылев Ю.Н. Физические основы электроники.
5. Соболев В.Д. Физические основы электронной техники. Москва, “Высшая школа”, 1979.

6. Степаненко И.П.. Основы теории транзисторов и транзисторных схем. Москва, “Энергия”, 1977.
7. Блэйкмор Дж. Физика твёрдого тела. Москва, “Мир”, 1988.

#### **Дополнительная литература**

1. Манаев Е.И. Основы радиоэлектроники. М., Радио и связь. 1985 504с.
2. Ефимчик М.К., Шушкевич С.С. Основы радиоэлектроники. Минск, изд-во Бел.Ун-та, 1986, 302 с.
3. Горелик С.С., Дашевский М.Я. Материаловедение полупроводников и диэлектриков. М., Металлургия, 1988, 574 с.
4. Тугов Н.М., Глебов Б.А., Чарыков Н.А.. Полупроводниковые приборы. М., Энергоатомиздат, 1990,575 с.
5. Карлов Н. В. Лекции по квантовой электронике. М.. Наука 1988 335 с.