

**ПРАВИТЕЛЬСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ»**

**Московский институт электроники и математики
Им. А.Н.Тихонова НИУ ВШЭ**

Департамент компьютерной инженерии

**Практическая работа №5
«Идентификация параметров модели диода»
по курсу «Автоматизация проектных работ»**

Выполнил:

Студент группы БИВ174

Солодянкин Андрей Александрович

Проверил:

Новиков Константин Викторович

Москва 2020 г.

Содержание

1	Задание	3
2	Краткие теоретические сведения	3
2.1	Что такое идеальный диод?	3
2.2	ВАХ реального полупроводникового диода	3
2.2.1	V_γ (гамма) – напряжение порога проводимости.	4
2.2.2	I_{D_MAX} – максимальный ток через диод при прямом включении.	4
2.2.3	I_{OP} – обратный ток утечки.	5
2.2.4	PIV (Peak Inverse Voltage) – Напряжение пробоя.	5
2.2.5	Паразитическая емкость PN-перехода.	5
2.3	Приближенные модели диодов	6
2.3.1	Приближенная модель диода «идеальный диод + V_γ »	6
2.3.2	Приближенная модель диода «идеальный диод + $V_\gamma + r_D$ »	6
3	Выполнение работы	7
4	Выводы по работе	8
5	Контрольные вопросы	9

1 Задание

Экспериментально получить вольт – амперную характеристику (ВАХ) полупроводникового диода. Исследовать влияние температуры на характеристики р-п диодов.

2 Краткие теоретические сведения

2.1 Что такое идеальный диод?

Основная задача обычного выпрямительного диода – проводить электрический ток в одном направлении, и не пропускать его в обратном. Следовательно, идеальный диод должен быть очень хорошим проводником с нулевым сопротивлением при прямом подключении напряжения (плюс - к аноду, минус - к катоду), и абсолютным изолятором с бесконечным сопротивлением при обратном. Вот так это выглядит на графике:

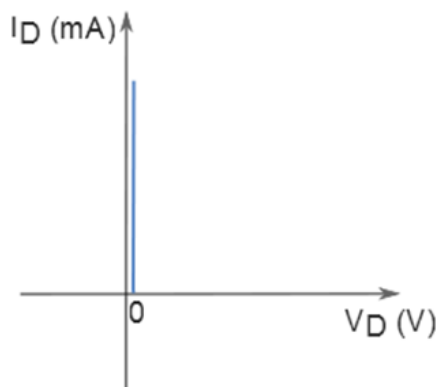


Рис. 1: График зависимости тока от напряжения на идеальном диоде

Такая модель диода используется в случаях, когда важна только логическая функция прибора. Например, в цифровой электронике.

2.2 ВАХ реального полупроводникового диода

Однако на практике, в силу своей полупроводниковой структуры, настоящий диод обладает рядом недостатков и ограничений по сравнению с идеальным диодом. Это можно увидеть на графике, приведенном ниже.

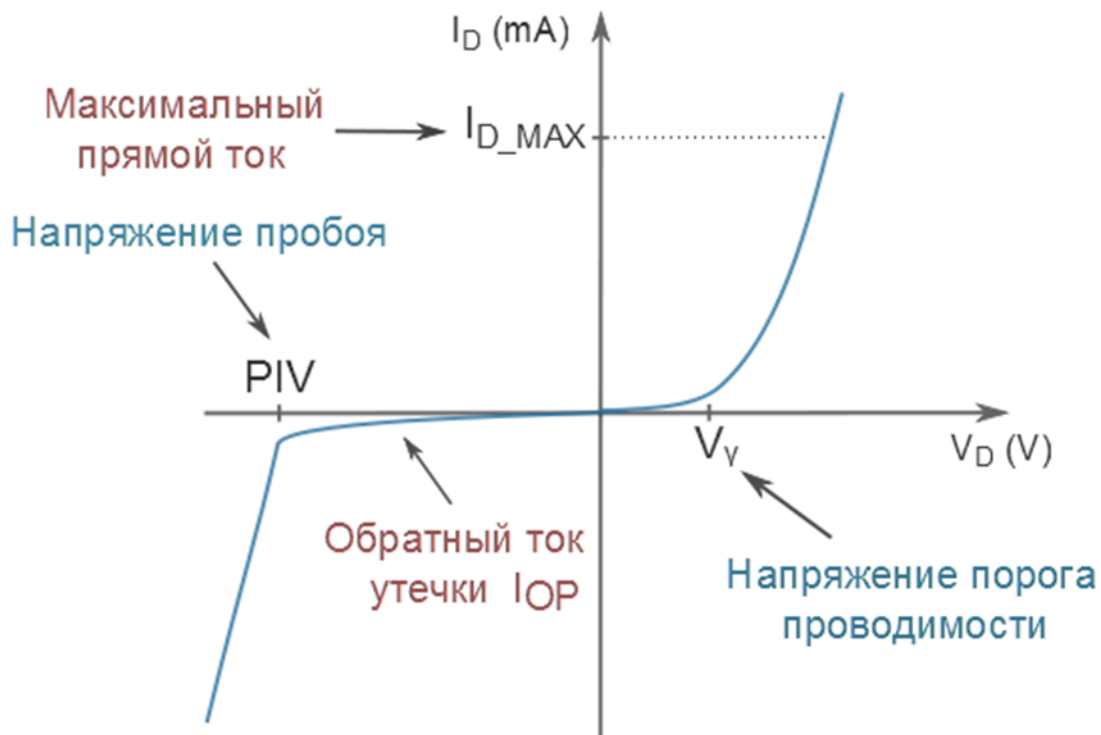


Рис. 2: Зависимость тока от напряжения в настоящем диоде

2.2.1 V_γ (гамма) – напряжение порога проводимости.

При прямом включении напряжение на диоде должно достигнуть определенного порогового значения - V_γ . Это напряжение, при котором PN-переход в полупроводнике открывается достаточно, чтобы диод начал хорошо проводить ток. До того как напряжение между анодом и катодом достигнет этого значения, диод является очень плохим проводником. V_γ у кремниевых приборов примерно 0.7V, у германиевых – около 0.3V.

2.2.2 I_{D_MAX} – максимальный ток через диод при прямом включении.

При прямом включении полупроводниковый диод способен выдержать ограниченную силу тока I_{D_MAX} . Когда ток через прибор превышает этот предел, диод перегревается. В результате разрушается кристаллическая структура полупроводника, и прибор становится непригодным. Величина данной силы тока сильно колеблется в зависимости от разных типов диодов и их производителей.

2.2.3 I_{OP} – обратный ток утечки.

При обратном включении диод не является абсолютным изолятором и имеет конечное сопротивление, хоть и очень высокое. Это служит причиной образования тока утечки или обратного тока I_{OP} . Ток утечки у германиевых приборов достигает до 200 μA , у кремниевых до нескольких десятков nA . Самые последние высококачественные кремниевые диоды с предельно низким обратным током имеют этот показатель около 0.5 nA .

2.2.4 PIV (Peak Inverse Voltage) – Напряжение пробоя.

При обратном включении диод способен выдерживать ограниченное напряжение – напряжение пробоя PIV . Если внешняя разность потенциалов превышает это значение, диод резко понижает свое сопротивление и превращается в проводник. Такой эффект нежелательный, так как диод должен быть хорошим проводником только при прямом включении. Величина напряжения пробоя колеблется в зависимости от разных типов диодов и их производителей.

2.2.5 Паразитическая емкость PN-перехода.

Даже если на диод подать напряжение значительно выше V_γ , он не начнет мгновенно проводить ток. Причиной этому является паразитическая емкость PN перехода, на наполнение которой требуется определенное время. Это сказывается на частотных характеристиках прибора.

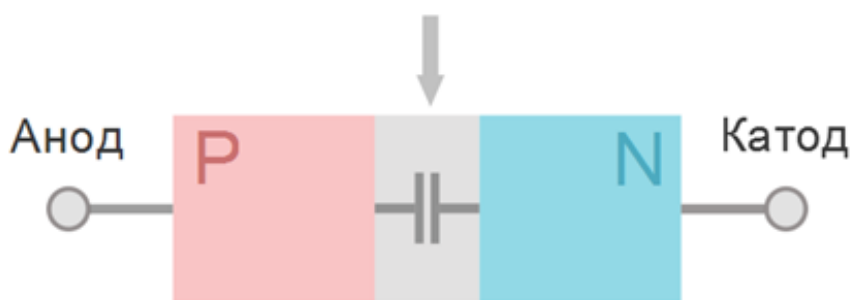


Рис. 3: Паразитическая емкость

2.3 Приближенные модели диодов

В большинстве случаев, для расчетов в электронных схемах, не используют точную модель диода со всеми его характеристиками. Нелинейность этой функции слишком усложняет задачу. Предпочитают использовать, так называемые, приближенные модели.

2.3.1 Приближенная модель диода «идеальный диод + V_γ »

Самой простой и часто используемой является приближенная модель первого уровня. Она состоит из идеального диода и, добавленного к нему, напряжения порога проводимости V_γ .

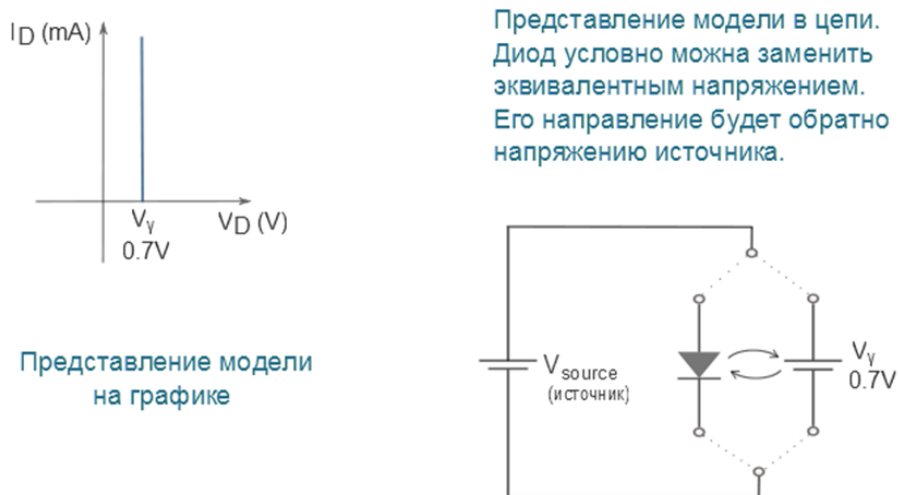


Рис. 4: Приближенная модель диода «идеальный диод + V_γ »

2.3.2 Приближенная модель диода «идеальный диод + $V_\gamma + r_D$ »

Иногда используют чуть более сложную и точную приближенную модель второго уровня. В этом случае добавляют к модели первого уровня внутреннее сопротивление диода, преобразовав его функцию из экспоненты в линейную.

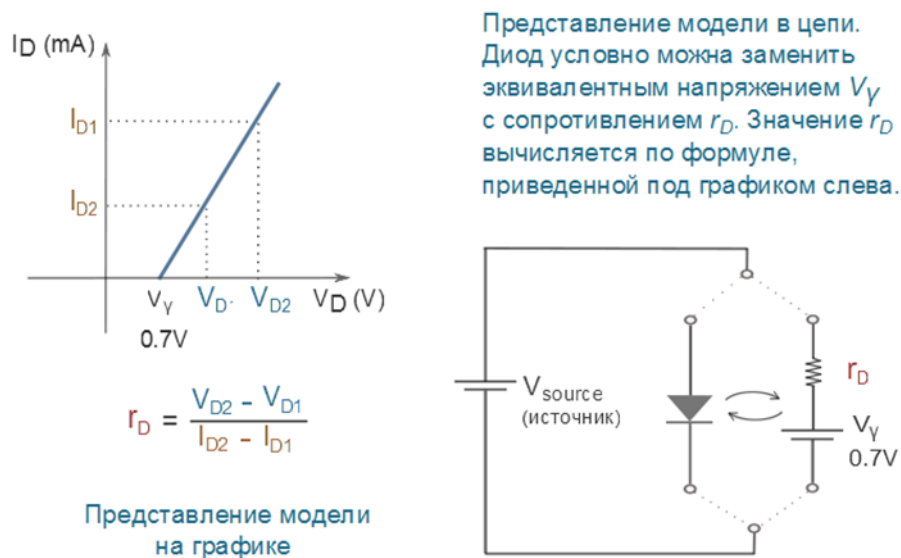


Рис. 5: Приближенная модель диода «идеальный диод + $V_\gamma + r_D$ »

3 Выполнение работы

На рис. 6 изображена ВАХ диода при значении тока $I_o = 1.5 \mu A$. По информации из таблицы, данный диод – КД204А. На рис. 7 и 8 представлены ВАХ диода при $T = 0^\circ C$ и $T = 75^\circ C$ соответственно. При увеличении температуры можно наблюдать, как график ВАХ сдвигается вправо. Это происходит по причине уменьшения контактной разности потенциалов, возрастания энергии основных носителей заряда, росту диффузионной составляющей тока и увеличению прямого тока.

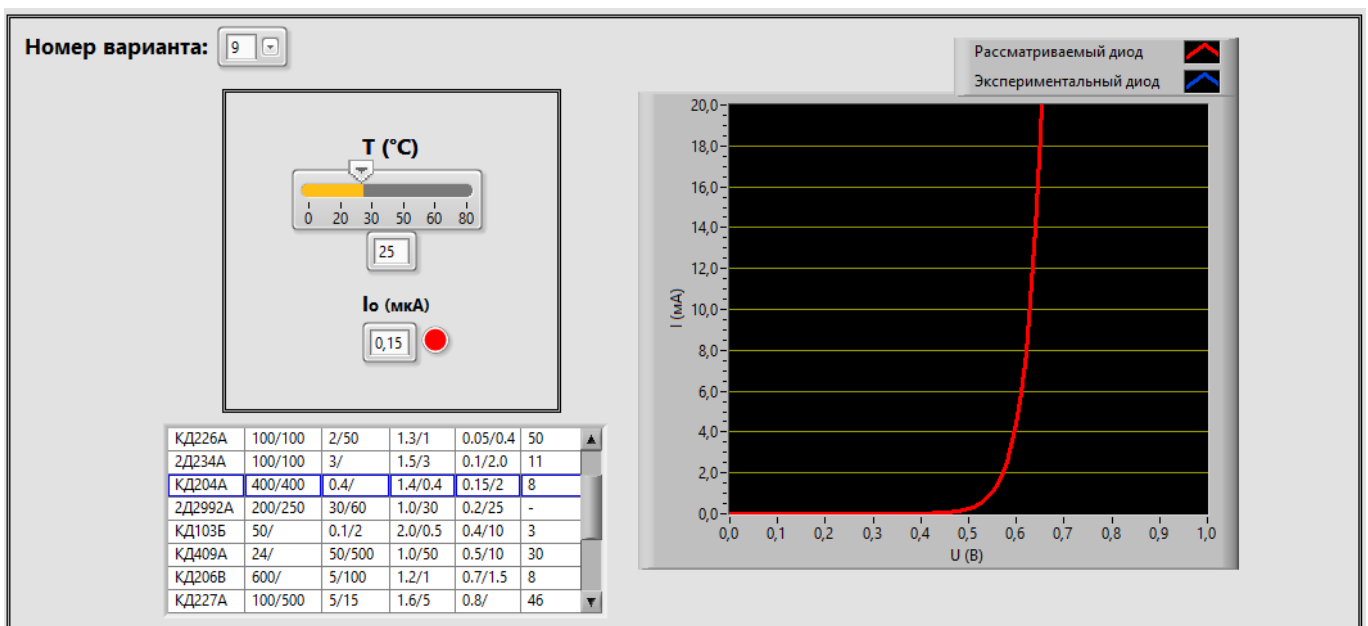


Рис. 6: ВАХ диода при $T = 25^\circ C$

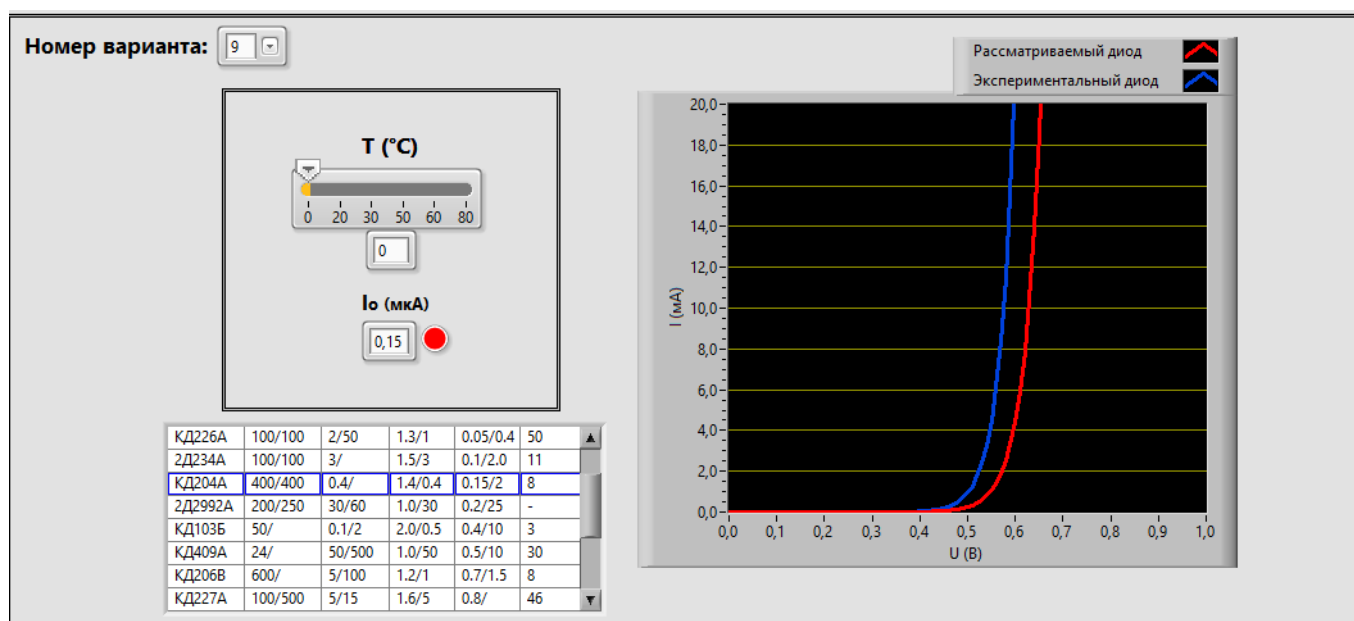


Рис. 7: ВАХ диода при $T = 0^{\circ}\text{C}$

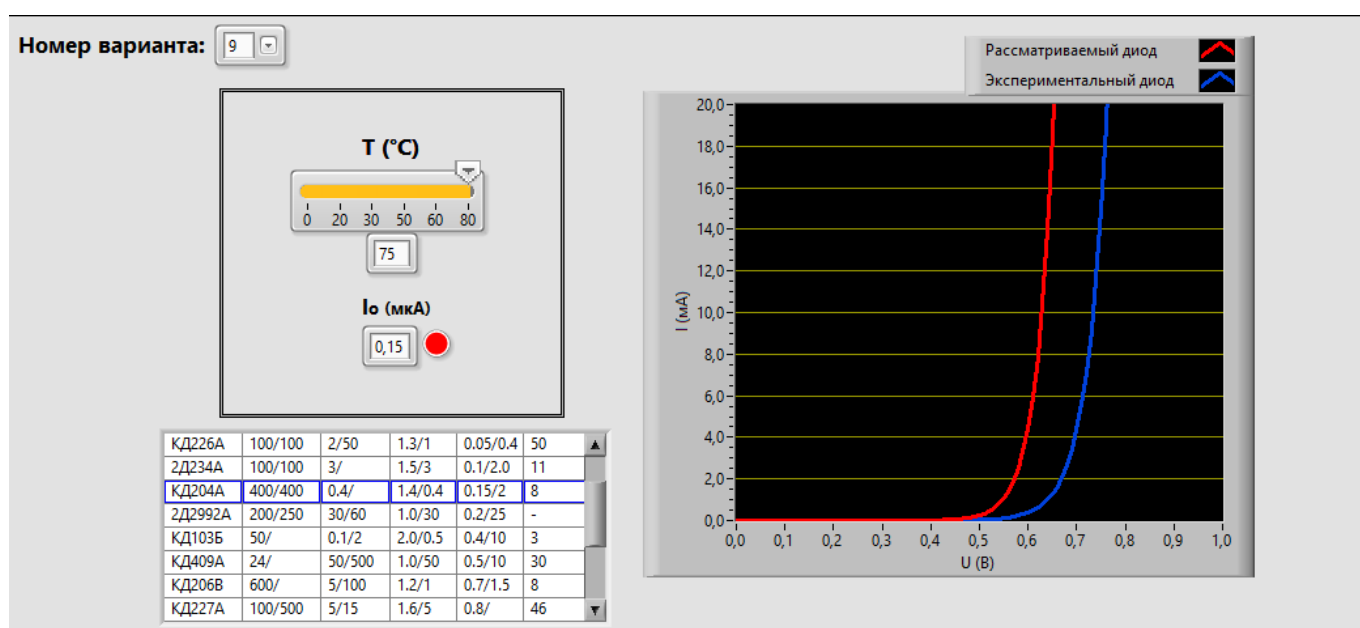


Рис. 8: ВАХ диода при $T = 75^{\circ}\text{C}$

4 Выводы по работе

В ходе выполнения лабораторной работы было получено экспериментальным путем ВАХ полупроводникового диода. Найдено значение обратного тока, при котором возможно совпадение графиков ВАХ экспериментального и рассматриваемого диода. Исследовано влияние температуры на вольтамперные характеристики диодов.

5 Контрольные вопросы

1. Что такое полупроводниковый диод.

Полупроводниковый диод – это полупроводниковый прибор, во внутренней структуре которого сформирован один р-n-переход.

2. Влияние температуры на характеристики р-n диодов.

При большей температуре р-n-перехода тот же прямой ток достигается при меньшем смещении.

3. Способ снятия ВАХ диодов с помощью амперметра и вольтметра.

Вольтметр подключается параллельно диоду, а амперметр – последовательно.

4. Работа р-n перехода при прямом и обратном включении.

При прямом включении р-n-перехода внешнее напряжение создает в переходе поле, которое противоположно по направлению внутреннему диффузионному полю. Напряженность результирующего поля падает, что сопровождается сужением запирающего слоя. В результате этого большое количество основных носителей зарядов получает возможность диффузионно переходить в соседнюю область. Диффузионный ток зависит от высоты потенциального барьера и по мере его снижения увеличивается экспоненциально. Повышенная диффузия носителей зарядов через переход приводит к повышению концентрации дырок в области n-типа и электронов в области р-типа. Такое повышение концентрации неосновных носителей вследствие влияния внешнего напряжения, приложенного к переходу, называется инжекцией неосновных носителей. Неравновесные неосновные носители диффундируют вглубь полупроводника и нарушают его электронейтральность. Восстановление нейтрального состояния полупроводника происходит за счет поступления носителей зарядов от внешнего источника. Это является причиной возникновения тока во внешней цепи, называемого прямым.

При включении р-n-перехода в обратном направлении внешнее обратное напряжение создает электрическое поле, совпадающее по направлению с диффузионным, что приводит к росту потенциального барьера и увеличению ширины запирающего слоя. Все это уменьшает диффузионные токи основных носителей.

Для неосновных носителей поле в р-п-переходе остается ускоряющим, и поэтому дрейфовый ток не изменяется. Таким образом, через переход будет протекать результирующий ток, определяемый в основном током дрейфа неосновных носителей. Поскольку количество дрейфующих неосновных носителей не зависит от приложенного напряжения (оно влияет только на их скорость), то при увеличении обратного напряжения ток через переход стремится к предельному значению I_S , которое называется током насыщения.

5. Основные параметры диода.

- $U_{obr.max.}$ – максимально-допустимое постоянное обратное напряжение диода;
- $U_{obr.i.max.}$ – максимально-допустимое импульсное обратное напряжение диода;
- $I_{f.max.}$ – максимальный средний прямой ток за период;
- $I_{f.i.max.}$ – максимальный импульсный прямой ток за период;
- $I_{over.max.}$ – ток перегрузки выпрямительного диода;
- f_{max} – максимально-допустимая частота переключения диода;
- f_{work} – рабочая частота переключения диода;
- $U_f|I_f$ – постоянное прямое напряжения диода при токе $I_{пр}$;
- I_{obr} – постоянный обратный ток диода;
- $T_{k.max.}$ – максимально-допустимая температура корпуса диода;
- $T_{p.max.}$ – максимально-допустимая температура перехода диода.

6. ВАХ идеального диода.

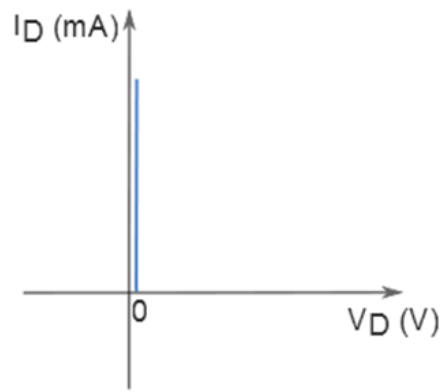


Рис. 9: График зависимости тока от напряжения на идеальном диоде