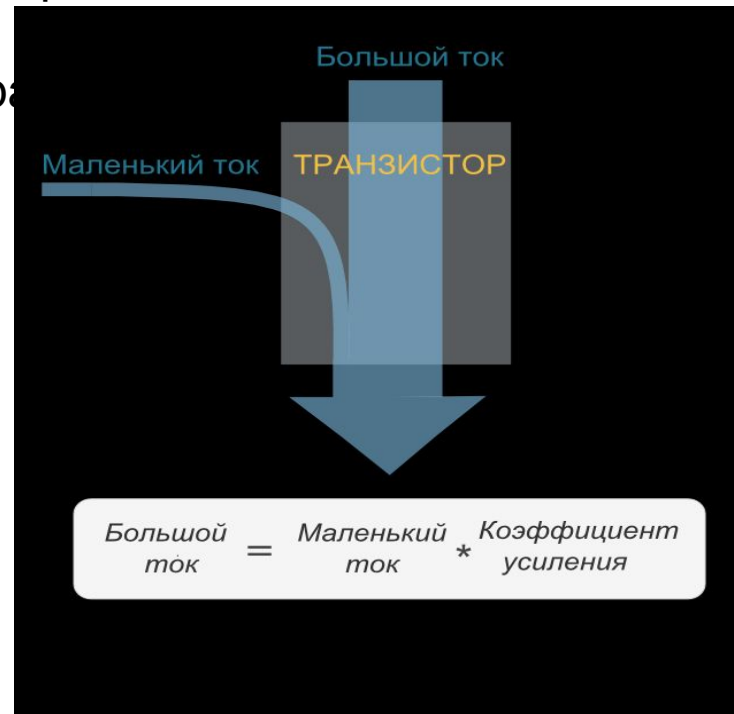


## Биполярный транзистор.

Биполярный транзистор - электронный полупроводниковый прибор, один из типов транзисторов, предназначенный для усиления, генерирования и преобразования электрических сигналов. Транзистор называется биполярный, поскольку в работе прибора одновременно участвуют два типа носителей заряда – электроны и дырки. Этим он отличается от униполярного (полевого) транзистора, в работе которого участвует только один тип носителей заряда.

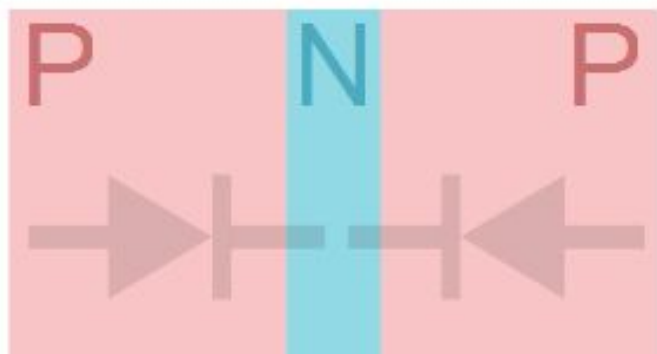
Принцип работы обоих типов транзисторов похож на работу водяного крана, который регулирует водяной поток, только через транзистор проходит поток электронов. У биполярных транзисторов через прибор проходят два тока - основной "большой" ток, и управляющий "маленький" ток. Мощность основного тока зависит от мощности управляющего. У полевых транзисторов через прибор проходит только один ток, мощность которого зависит от электромагнитного поля. В данной статье рассмотрим подробнее работу биполярного транзистора.

биполярный транзистор принцип работы

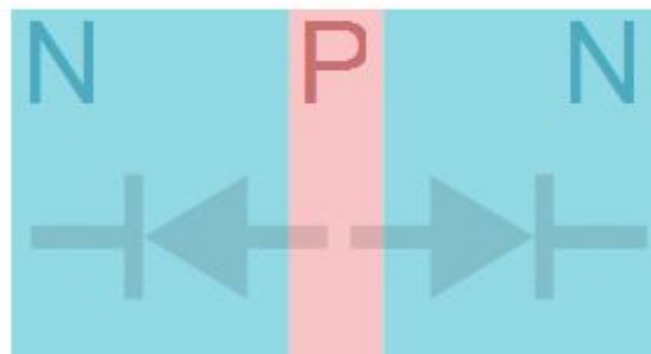


## Устройство биполярного транзистора.

Биполярный транзистор состоит из трех слоев полупроводника и двух PN-переходов. Различают PNP и NPN транзисторы по типу чередования дырочной и электронной проводимостей. Это похоже на два диода, соединенных лицом к лицу или наоборот.

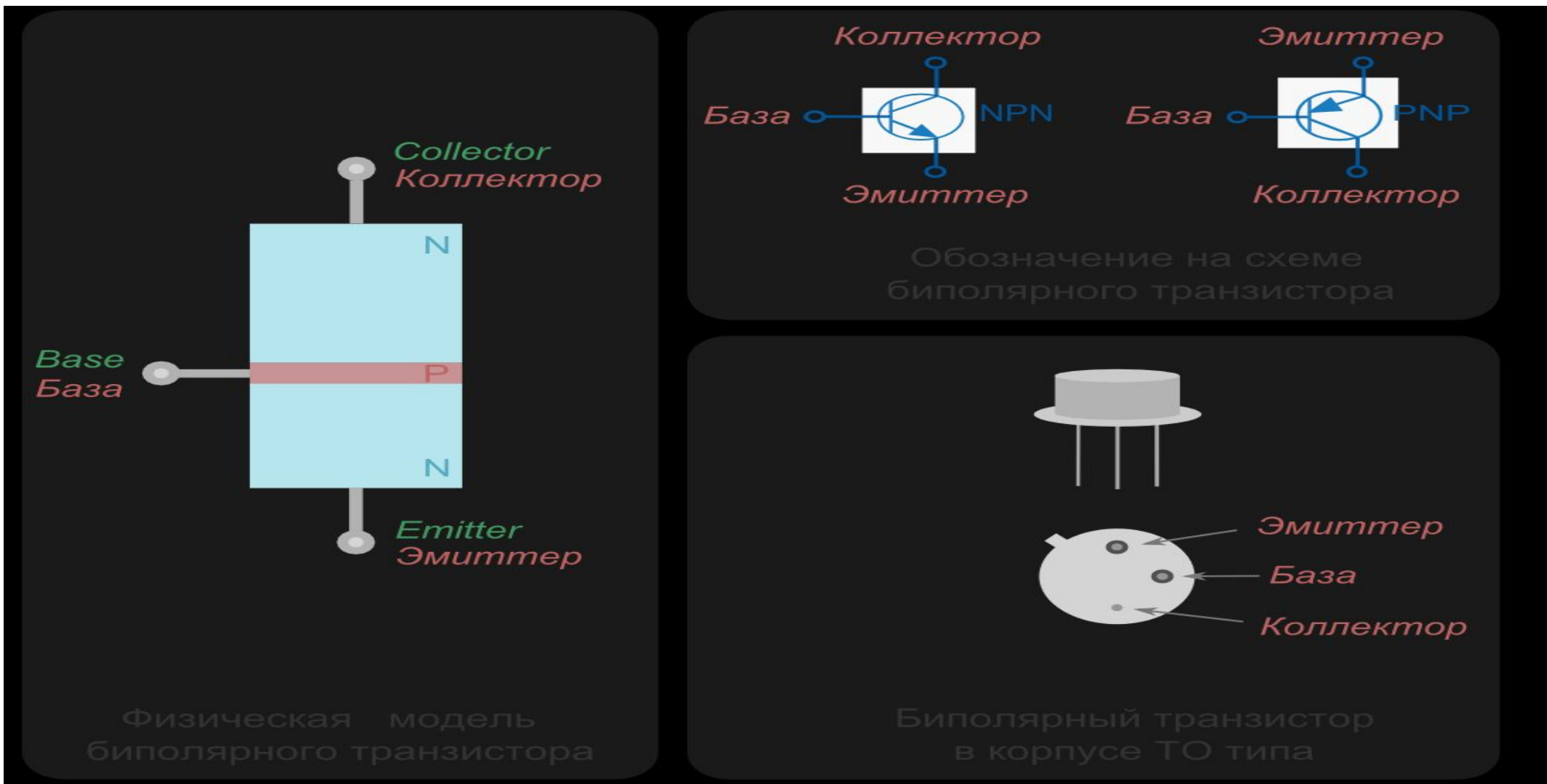


PNP транзистор



NPN транзистор

У биполярного транзистора три контакта (электрода). Контакт, выходящий из центрального слоя, называется *база* (*base*). Крайние электроды носят названия *коллектор* и *эмиттер* (*collector* и *emitter*). Прослойка базы очень тонкая относительно коллектора и эмиттера. В дополнение к этому, области полупроводников по краям транзистора несимметричны. Слой полупроводника со стороны коллектора немного толще, чем со стороны эмиттера. Это необходимо для правильной работы транзистора.



## Работа биполярного транзистора.

Рассмотрим физические процессы, происходящие во время работы биполярного транзистора. Для примера возьмем модель NPN. Принцип работы транзистора PNP аналогичен, только полярность напряжения между коллектором и эмиттером будет противоположной.

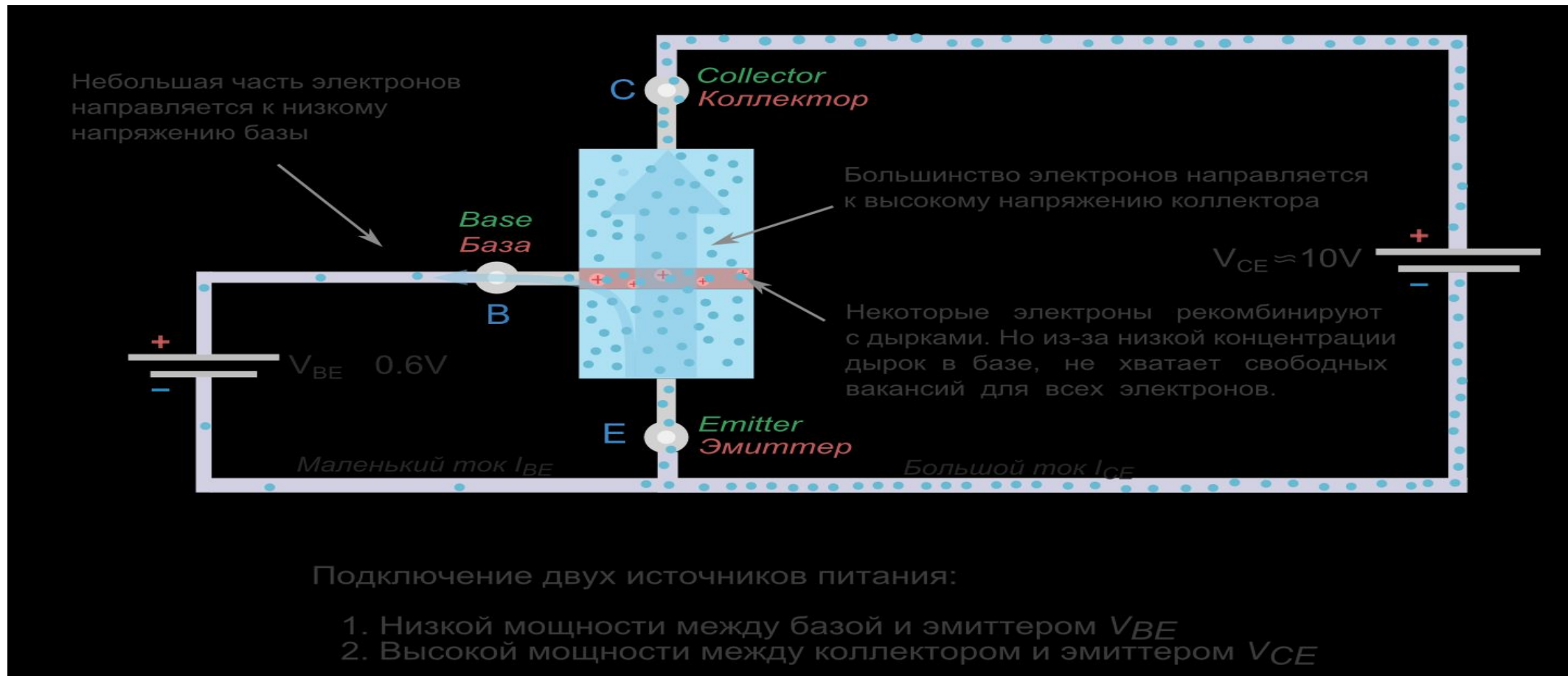
В веществе P-типа находятся положительно заряженные ионы - дырки. Вещество N-типа насыщено отрицательно заряженными электронами. В транзисторе концентрация электронов в области N значительно превышает концентрацию дырок в области P.

Подключим источник напряжения между коллектором и эмиттером  $V_{КЭ}$  ( $V_{CE}$ ). Под его действием, электроны из верхней N части начнут притягиваться к плюсу и собираться возле коллектора. Однако ток не сможет идти, потому что электрическое поле источника напряжения не достигает эмиттера. Этому мешает толстая прослойка полупроводника коллектора плюс прослойка полупроводника базы.



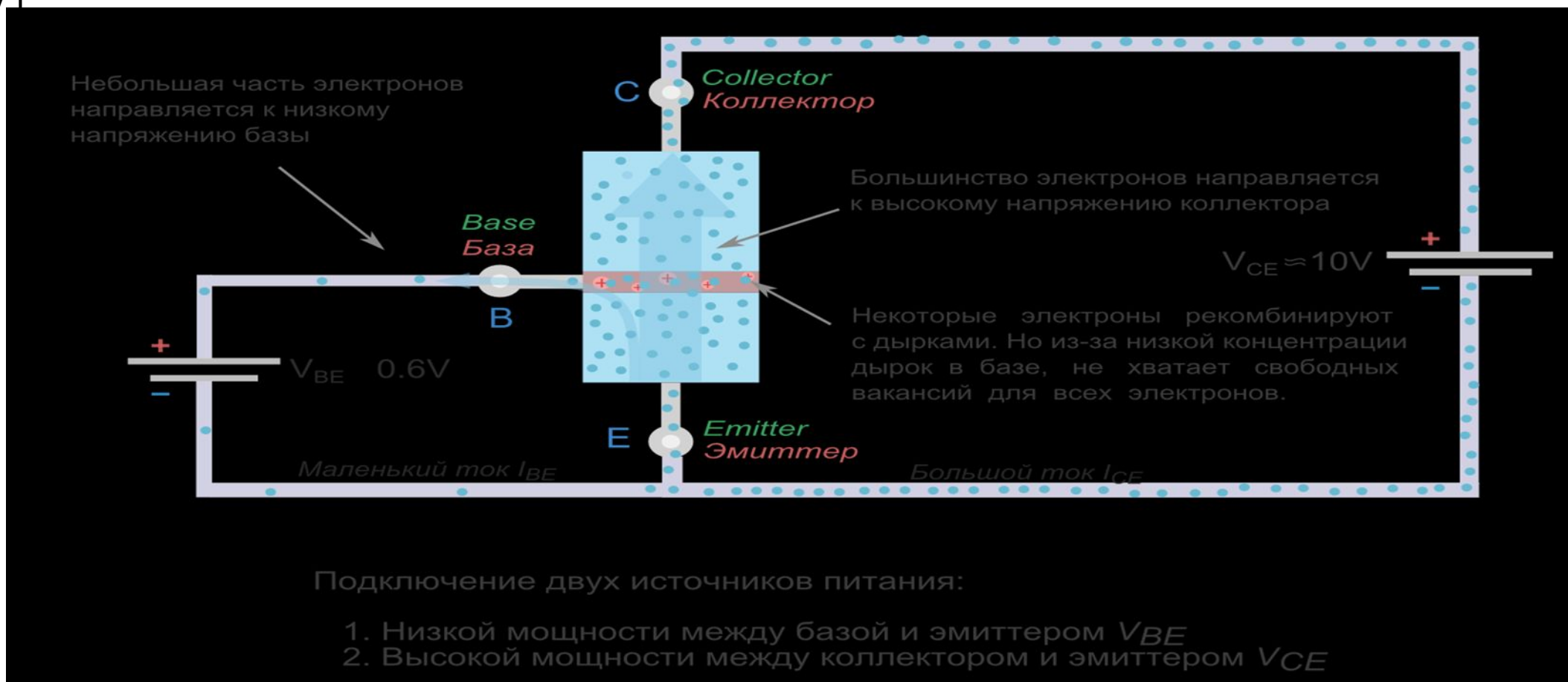
Теперь подключим напряжение между базой и эмиттером  $V_{BE}$ , но значительно ниже чем  $V_{CE}$  (для кремниевых транзисторов минимальное необходимое  $V_{BE} - 0.6V$ ). Поскольку прослойка P очень тонкая, плюс источника напряжения подключенного к базе, сможет "дотянуться" своим электрическим полем до N области эмиттера. Под его действием электроны направятся к базе. Часть из них начнет заполнять находящиеся там дырки (рекомбинировать). Другая часть не найдет себе свободную дырку, потому что концентрация дырок в базе гораздо ниже концентрации электронов в эмиттере.

В результате центральный слой базы обогащается свободными электронами. Большинство из них направится в сторону коллектора, поскольку там напряжение намного выше. Так же этому способствует очень маленькая толщина центрального слоя. Какая-то часть электронов, хоть гораздо меньшая, все равно потечет в сторону плюса базы.



В итоге мы получаем два тока: маленький - от базы к эмиттеру  $I_{BE}$ , и большой - от коллектора к эмиттеру  $I_{CE}$ . Если увеличить напряжение на базе, то в прослойке P соберется еще больше электронов. В результате немного усилится ток базы, и значительно усилится ток коллектора. Таким образом, *при небольшом изменении тока базы  $I_B$ , сильно меняется ток коллектора  $I_C$* . Так и происходит **усиление сигнала в биполярном транзисторе**. Соотношение тока коллектора  $I_C$  к току базы  $I_B$  называется коэффициентом усиления по току. Обозначается  $\beta$ ,  $hfe$  или  $h21e$ , в зависимости от специфики расчетов, проводимых с транзистором.

$$\beta = I_C / I_B$$



## **Классификация полевых транзисторов**

По физической структуре и механизму работы полевые транзисторы условно делят на 2 группы. Первую образуют транзисторы с управляющим p-n переходом или переходом металл — полупроводник (барьер Шоттки), вторую — транзисторы с управлением посредством изолированного электрода (затвора), т. н. транзисторы МДП (метал — диэлектрик — полупроводник).

# Транзисторы с управляющим р-n переходом

Полевой транзистор с управляющим р-n переходом — это полевой транзистор, затвор которого изолирован (то есть отделён в электрическом отношении) от канала р-n переходом, смещённым в обратном направлении.

Такой транзистор имеет два невыпрямляющих контакта к области, по которой проходит управляемый ток основных носителей заряда, и один или два управляющих электронно-дырочных перехода, смещённых в обратном направлении (см. рис. 1). При изменении обратного напряжения на р-n переходе изменяется его толщина и, следовательно, толщина области, по которой проходит управляемый ток основных носителей заряда. Область, толщина и поперечное сечение которой управляется внешним напряжением на управляющем р-n переходе и по которой проходит управляемый ток основных носителей, называют каналом. Электрод, из которого в канал входят основные носители заряда, называют истоком. Электрод, через который из канала уходят основные носители заряда, называют стоком. Электрод, служащий для регулирования поперечного сечения канала, называют затвором.

Электропроводность канала может быть как n-, так и p-типа. Поэтому по электропроводности канала различают полевые транзисторы с n-каналом и p-каналом. Все полярности напряжений смещения, подаваемых на электроды транзисторов с n- и с p-каналом, противоположны.

Управление током стока, то есть током от внешнего относительно мощного источника питания в цепи нагрузки, происходит при изменении обратного напряжения на р-n переходе затвора (или на двух р-n переходах одновременно). В связи с малостью обратных токов мощность, необходимая для управления током стока и потребляемая от источника сигнала в цепи затвора, оказывается ничтожно малой. Поэтому полевой транзистор может обеспечить усиление электромагнитных колебаний как по мощности, так и по току и напряжению.

Таким образом, полевой транзистор по принципу действия аналогичен вакуумному триоду. Исток в полевом транзисторе подобен катоду вакуумного триода, затвор — сетке, сток — аноду. Но при этом полевой транзистор существенно отличается от вакуумного триода. Во-первых, для работы полевого транзистора не требуется подогрева катода. Во-вторых, любую из функций истока и стока может выполнять каждый из этих электродов. В-третьих, полевые транзисторы могут быть сделаны как с n-каналом, так и с p-каналом, что позволяет удачно сочетать эти два типа полевых транзисторов в схемах.

От биполярного транзистора полевой транзистор отличается, во-первых, принципом действия: в биполярном транзисторе управление выходным сигналом производится входным током, а в полевом транзисторе — входным напряжением или электрическим полем. Во-вторых, полевые транзисторы имеют значительно большие входные сопротивления, что связано с обратным смещением р-n-перехода затвора в рассматриваемом типе полевых транзисторов. В-третьих, полевые транзисторы могут обладать низким уровнем шума (особенно на низких частотах), так как в полевых транзисторах не используется явление инжекции неосновных носителей заряда и канал полевого транзистора может быть отделён от поверхности полупроводникового кристалла. Процессы рекомбинации носителей в р-n переходе и в базе биполярного транзистора, а также генерационно-рекомбинационные процессы на поверхности кристалла полупроводника сопровождаются возникновением низкочастотных шумов.

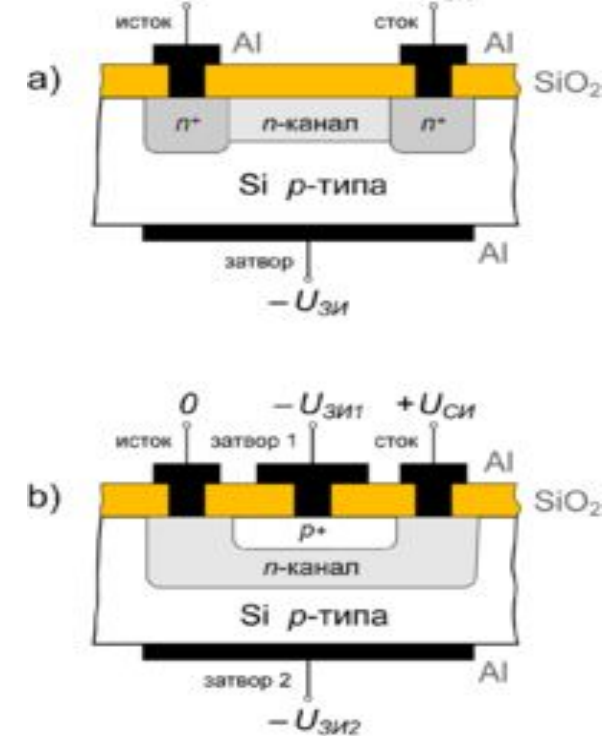


Рис. 1. Устройство полевого транзистора с управляющим р-n переходом



## Транзисторы с изолированным затвором (МДП-транзисторы)

Полевой транзистор с изолированным затвором — это полевой транзистор, затвор которого отделён в электрическом отношении от канала слоем диэлектрика.

В кристалле полупроводника с относительно высоким удельным сопротивлением, который называют подложкой, созданы две сильнолегированные области с противоположным относительно подложки типом проводимости. На эти области нанесены металлические электроды — исток и сток. Расстояние между сильно легированными областями истока и стока может быть меньше микрона. Поверхность кристалла полупроводника между истоком и стоком покрыта тонким слоем (порядка 0,1 мкм) диэлектрика. Так как исходным полупроводником для полевых транзисторов обычно является кремний, то в качестве диэлектрика используется слой двуоксида кремния  $\text{SiO}_2$ , выращенный на поверхности кристалла кремния путём высокотемпературного окисления. На слой диэлектрика нанесён металлический электрод — затвор. Получается структура, состоящая из металла, диэлектрика и полупроводника. Поэтому полевые транзисторы с изолированным затвором часто называют МДП-транзисторами.

Входное сопротивление МДП-транзисторов может достигать  $10^{10} \dots 10^{14}$  Ом (у полевых транзисторов с управляющим p-n-переходом  $10^7 \dots 10^9$ ), что является преимуществом при построении высокоточных устройств.

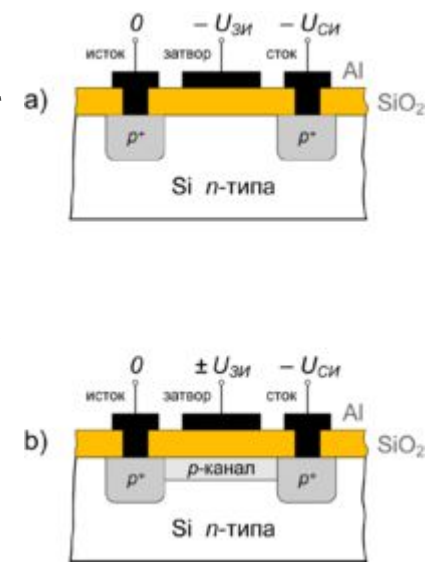
Существуют две разновидности МДП-транзисторов: с индуцированным каналом и со встроенным каналом.

В МДП-транзисторах с индуцированным каналом (рис. 2, а) проводящий канал между сильнолегированными областями истока и стока отсутствует и, следовательно, заметный ток стока появляется только при определённой полярности и при определённом значении напряжения на затворе относительно истока, которое называют пороговым напряжением ( $U_{\text{ЗИпор}}$ ).

В МДП-транзисторах со встроенным каналом (рис. 2, б) у поверхности полупроводника под затвором при нулевом напряжении на затворе относительно истока существует инверсный слой — канал, который соединяет исток со стоком.

Изображённые на рис. 2 структуры полевых транзисторов с изолированным затвором имеют подложку с электропроводностью n-типа. Поэтому сильнолегированные области под истоком и стоком, а также индуцированный и встроенный канал имеют электропроводность p-типа. Если же аналогичные транзисторы созданы на подложке с электропроводностью p-типа, то канал у них будет иметь электропроводность n-типа.

Источник: <http://www.scorcher.ru/art/electronica/electronica3.php>



## Области применения полевых транзисторов

Значительная часть производимых в настоящий момент полевых транзисторов входит в состав КМОП-структур, которые строятся из полевых транзисторов с каналами разного (р- и n-) типа проводимости и широко используются в цифровых и аналоговых интегральных схемах.

За счёт того, что полевые транзисторы управляются полем (величиной напряжения приложенного к затвору), а не током, протекающим через базу (как в биполярных транзисторах), полевые транзисторы потребляют значительно меньше энергии, что особенно актуально в схемах ждущих и следящих устройств, а также в схемах малого потребления и энергосбережения (реализация спящих режимов).

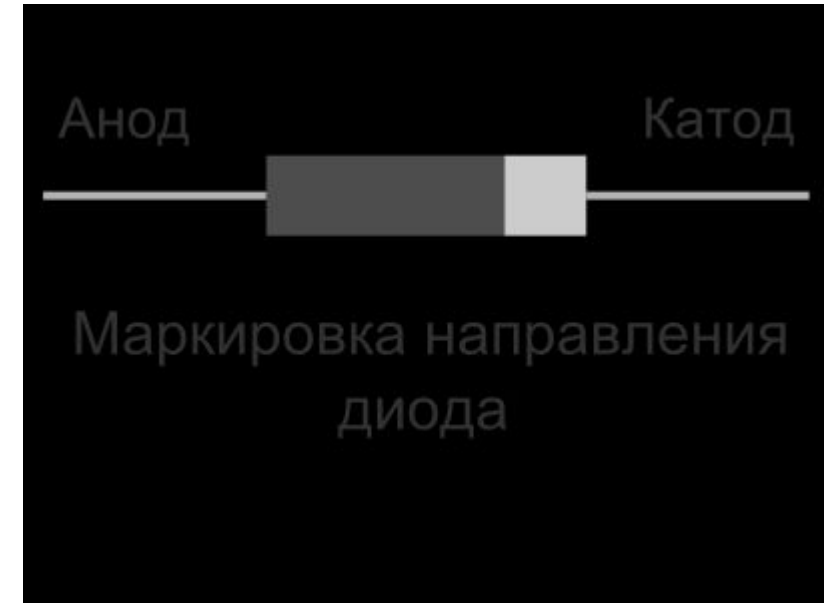
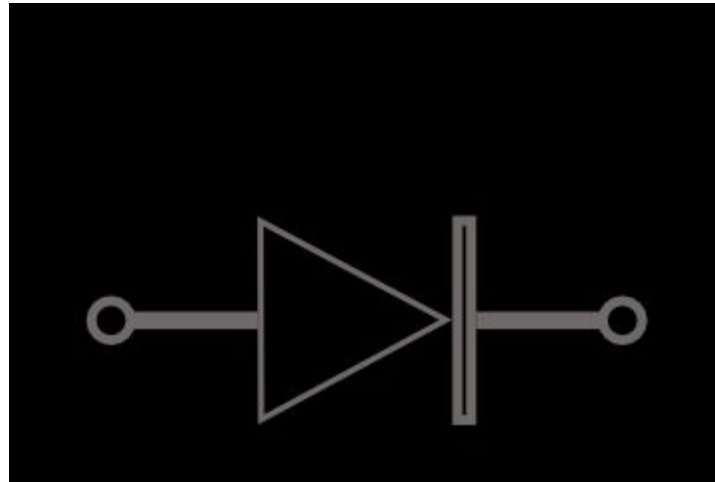
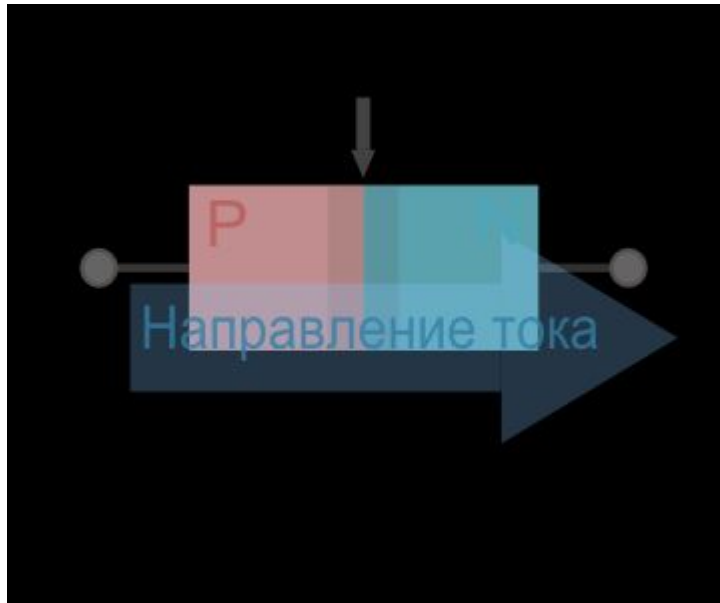
Выдающиеся примеры устройств, построенных на полевых транзисторах, — наручные кварцевые часы и пульт дистанционного управления для телевизора. За счёт применения КМОП-структур эти устройства могут работать до нескольких лет, потому что практически не потребляют энергии.

Грандиозными темпами развиваются области применения мощных полевых транзисторов. Их применение в радиопередающих устройствах позволяет получить повышенную чистоту спектра излучаемых радиосигналов, уменьшить уровень помех и повысить надёжность радиопередатчиков. В силовой электронике ключевые мощные полевые транзисторы успешно заменяют и вытесняют мощные биполярные транзисторы. В силовых преобразователях они позволяют на 1-2 порядка повысить частоту преобразования и резко уменьшить габариты и массу энергетических преобразователей. В устройствах большой мощности используются биполярные транзисторы с полевым управлением (IGBT) успешно вытесняющие тиристоры. В усилителях мощности звуковых частот высшего класса HiFi и HiEnd мощные полевые транзисторы успешно заменяют мощные электронные лампы, обладающие малыми нелинейными и динамическими искажениями.

## Полупроводниковый диод

Полупроводниковый диод - самый простой полупроводниковый прибор, состоящий из одного PN перехода. Основная его функция - это проводить электрический ток в одном направлении, и не пропускать его в обратном. Состоит диод из двух слоев полупроводника типов N и P.

[полупроводниковая модель диода] [обозначение диода на схеме] [расположение катода на диоде]



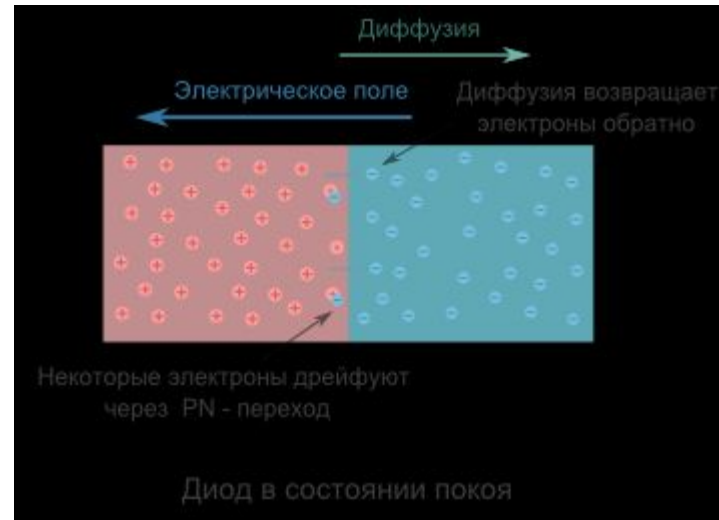
На стыке соединения P и N образуется PN-переход (PN-junction). Электрод, подключенный к P, называется анод. Электрод, подключенный к N, называется катод. Диод проводит ток в направлении от анода к катоду, и не проводит обратно.

## Диод в состоянии покоя

Посмотрим, что происходит внутри PN-перехода, когда полупроводниковый диод находится в состоянии покоя. То есть тогда, когда ни к аноду, ни к катоду не подключено напряжения.

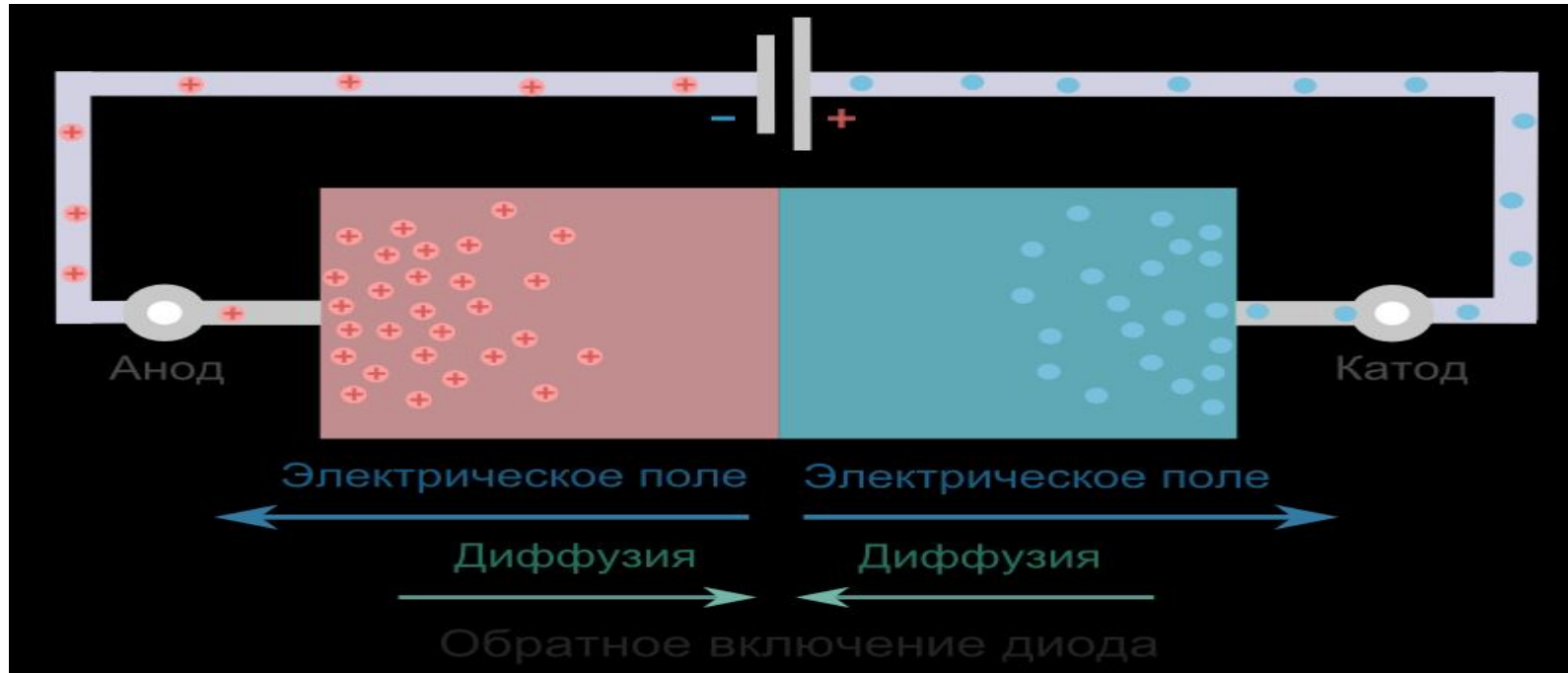
Итак, в части N имеются в наличии свободные электроны – отрицательно заряженные частицы. В части P находятся положительно заряженные ионы – дырки. В результате, в том месте, где есть частицы с зарядами разных знаков, возникает электрическое поле, притягивающее их друг к другу.

Под действием этого поля свободные электроны из части N дрейфуют через PN переход в часть P и заполняют некоторые дырки. В итоге получается очень слабый электрический ток, измеряемый в наноамперах. В результате, плотность вещества в P части повышается и возникает диффузия (стремление вещества к равномерной концентрации), толкающая частицы обратно на сторону N.



## Обратное включение диода

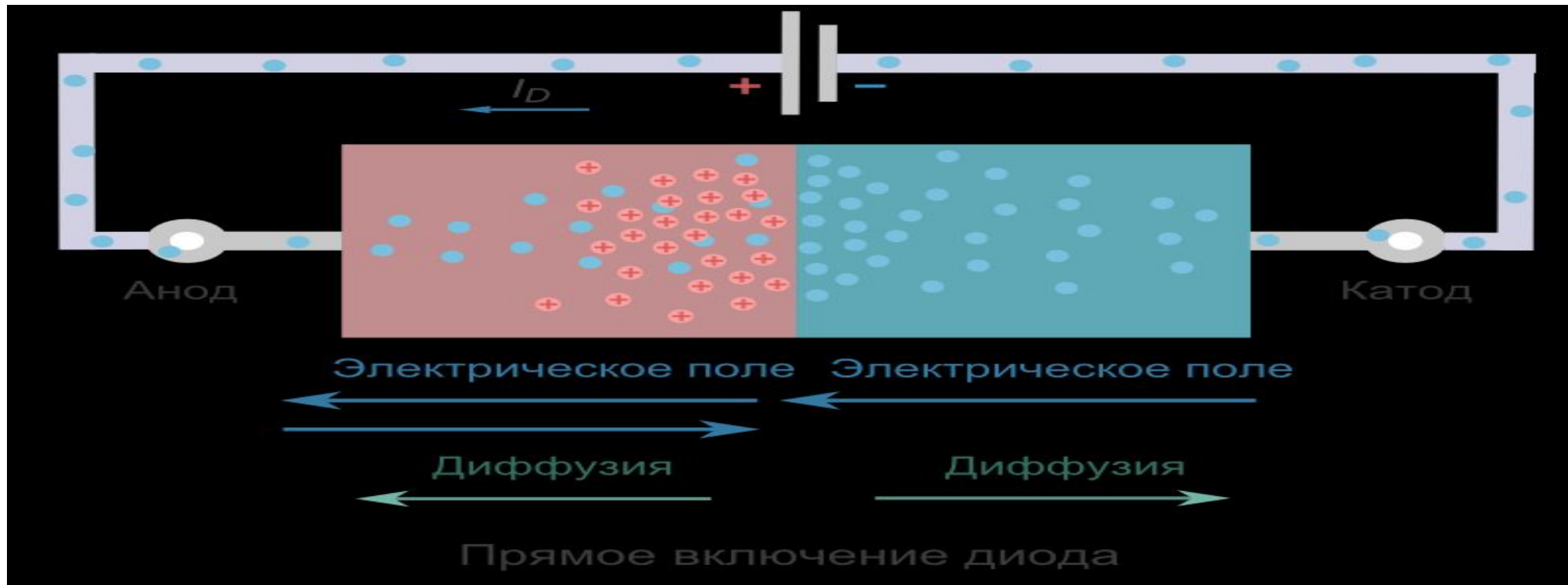
Теперь посмотрим, как у полупроводникового диода получается выполнять свою основную функцию – проводить ток только в одном направлении. Подключим источник питания - плюс к катоду, минус к аноду. В соответствии с силой притяжения, возникшей между зарядами разной полярности, электроны из N начнут движение к плюсу и отдалятся от PN перехода. Аналогично, дырки из P будут притягиваться к минусу, и также отдалятся от PN перехода. В результате, плотность вещества у электродов повышается. В действие приходит диффузия и начинает толкать частицы обратно, стремясь к равномерной плотности вещества.



Как мы видим, в этом состоянии диод не проводит ток. При повышении напряжения, в PN переходе будет все меньше и меньше заряженных частиц.

## Прямое включение диода

Меняем полярность источника питания - плюс к аноду, минус к катоду. В таком положении, между зарядами одинаковой полярности возникает сила отталкивания. Отрицательно заряженные электроны отдаляются от минуса и двигаются сторону рп перехода. В свою очередь, положительно заряженные дырки отталкиваются от плюса и направляются навстречу электронам. PN переход обогащается заряженными частицами с разной полярностью, между которыми возникает электрическое поле – *внутреннее электрическое поле PN перехода*. Под его действием электроны начинают дрейфовать на сторону P. Часть из них рекомбинируют с дырками (заполняют место в атомах, где не хватает электрона). Остальные электроны устремляются к плюсу батарейки. Через диод пошел ток  $I_D$ .



Чтобы не возникло путаницы, напомню, что направление тока на электрических схемах обратно направлению потока электронов.

# Резистор

Резистор - это самый распространенный электронный компонент, название которого произошло от английского слова «resistor» и от латинского «resisto» - сопротивляюсь. Основным параметром резистора считается сопротивление, которое характеризуется его способностью в препятствии протекания электрического тока. Единицами сопротивления у резисторов являются – Омы ( $\Omega$ ), Килоомы (1000 Ом или  $1\text{K}\Omega$ ) и Мегаомы (1000000 Ом или  $1\text{M}\Omega$ ).

Практически ни одна схема не обходится без резисторов. С помощью подбора соответствующих величин резисторов и их соединений, происходит нужное распределение электрического тока в цепи.



## Характеристики резистора

Кроме предельного сопротивления, резисторы обладают рядом других физикотехнических показателей, которые имеют большое значение в его применении.

Среди основных параметров выделяются такие характеристики резистора, как

- сопротивление по номинальному значению и его возможное отклонение,
- рассеиваемая мощность,
- предельное рабочее напряжение,
- максимальная температура,
- температурный коэффициент сопротивления,
- частотный отклик и шумы.

## Основные типы резисторов

По физическому устройству резисторы бывают следующих типов:

- углеродные пленочные
- углеродные композиционные
- металлооксидные
- пленочные металлические
- проволочные



## Температурный коэффициент сопротивления ТКС

Температурный коэффициент сопротивления (ТКС) определяет относительное изменение величины сопротивления резистора при изменении температуры окружающей среды на 1 ° по Цельсию. ТКС может быть как положительным, так и отрицательным. Если резистивная пленка имеет относительно большую толщину, то она обладает свойствами объемного тела, сопротивляемость которого с увеличением температуры становится больше. Если же резистивная пленка имеет относительно небольшую толщину, то она состоит как бы из небольших «островков», расположенных отдельно друг от друга, и сопротивление такой пленочной структуры с увеличением температурных значений становится меньше, так как взаимодействие между отдельными «островками» улучшается. Для непроволочных резисторов, применяемых в радиоэлектронике и телевизионной промышленности, температурный коэффициент сопротивления не больше  $\pm 0,04 - 0,2$  %, у проволочных деталей  $-\pm 0,003 - 0,2$  %.

## Рассеиваемая мощность резистора

Номинальная мощность рассеивания, или рассеиваемая мощность резистора показывает предельно значимую мощность, которую сопротивление может рассеивать при долговременной электрической нагрузке, атмосферном давлении и температуре в нормальных значениях. Непроволочные резисторы подразделяются на мощность по номиналу от 0,05 до 10 Вт, а сопротивления проволочного типа от 0,2 до 150 Вт. На электросхемах рассеиваемая мощность резистора выделяется условно пунктиром на обозначении сопротивления для мощностей меньше 1 Вт и римскими цифрами на обозначении сопротивления для мощности больше 1 Вт. Номинальная мощность рассеивания этих деталей должна быть на 20—30 % больше

## **Максимальное напряжение резистора**

Предельное или максимальное напряжение резистора - это предельно возможное напряжение, подведенное к выводам сопротивления, которое не допускает превышения показателей техусловий (ТУ) на параметры электричества. По- другому, максимальное напряжение резистора – предельно допустимая величина, которая может быть приложена к резистору. Этот показатель выводится для обычных пределов работы детали и напрямую зависит от линейных размеров резистора, шага спиральной нарезки, температурных показателей, давления эксплуатационной среды и давления атмосферы. Чем выше температурные показатели и меньше давление атмосферы, тем больше шансов для пробоя теплового или электрического типа и выхода резистора из строя.

## **Максимальная температура резистора**

Одной из характеристик резистора является такой показатель, как максимальная температура резистора, напрямую зависит от мощности детали. Получается, что при увеличении мощности, которая выделяется в сопротивлении, увеличивается температура резистора, что может привести к его поломке. Во избежание этого, необходимо уменьшить температуру резистора. Это можно достичь укрупнением габаритов сопротивления.. Для всех типов сопротивлений определена максимальная температура резистора, превышение которой чревато выходом детали из строя.

Температурный показатель сопротивления находится в прямой зависимости и от температуры окружающего воздуха. Если этот показатель достигает большого значения, то температурный показатель сопротивления может стать выше максимальной температуры резистора, что крайне нежелательно. Чтобы этого не

## Частотный отклик резистора

Значение такой характеристики, как частотный отклик резистора, связано с определением значения максимального сопротивления и минимальной ёмкости. При прохождении тока высокой частоты сопротивление стремится к проявлению реактивных свойств в зависимости от конструктивного исполнения – доминируют либо емкостные, либо индуктивные значения.

Если в одно и то же время дискретно уменьшать и значение сопротивления и значение емкости, то можно вызвать быстрый демпфированный частотный отклик резистора, который позволит определить как максимальное сопротивление, так и минимальную емкость. При этих значениях не возникает колебаний и в то же время достигается мгновенная стабилизация выходного напряжения. Но в теории это рассматривается, как частный случай. На высоких частотах резистор начинает проявлять реактивные свойства в зависимости от конструктивного исполнения - либо преимущественно емкостные, либо индуктивные.

## Основные типы резисторов

По физическому устройству резисторы бывают следующих типов:

- углеродные пленочные
- углеродные композиционные
- металлооксидные
- пленочные металлические
- проволочные

**Углеродные пленочные** выпускают в виде керамического стержня, который покрыт специальной пленкой кристаллического углерода. Она в свою очередь и является резистивным элементом. Их номинальный диапазон сопротивления от двух до одного МОм, а максимальная мощность от 0,2 до 2 Вт.

**Углеродные композиционные** являются самыми дешевыми. Поэтому их стабильность не высока и их сопротивление, как правило, может меняться на пару процентов. Также при протекании тока, через такие резисторы могут возникать шумы. Такое обстоятельство имеет важное значение, особенно в медицинской электронной аппаратуре, так как там часто требуется большое усилие, но с малым уровнем шума

**Металлооксидные** являются вторым типом пленочных резисторов. В этих резисторах окончательное сопротивление получается за счет нанесения спиральной канавки на керамической основе. За счет этого увеличивается эффективная длина между концами резистора, а также сопротивление. Пленочные металлические используются в транзисторных выходных, так как они имеют сопротивление меньше, чем 10 Ом, что для этого и необходимо. Эти резисторы рассеивают большую мощность при малых размерах. Это и является самым большим их достоинством. Также он имеет стабильность нагрузки, которая достигает не более  $\pm 3\%$ , малый коэффициент сопротивления под напряжением, а также очень малый уровень шумов. Еще у него температурный коэффициент достигает от 0 до  $600-10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ .

**Проволочные резисторы** делаются из безиндуктивной или обычной обмотки. Они применяются тогда, когда нужна большая рассеиваемая мощность или высокая стабильность, так как другие резисторы не могут этого обеспечить. Они рассеивают мощность до 100 Вт, но их сопротивление ограничено до 50 кОм. Температура их поверхности при работе может достигать очень больших размеров, поэтому их нужно располагать так, чтобы могла обеспечиваться вентиляция воздуха и их охлаждение, потому что в противном случае они выйдут из

## Конденсатор

Конденсатор – электронный компонент, предназначенный для накопления электрического заряда. Способность конденсатора накапливать электрический заряд зависит от его главной характеристики – емкости. Емкость конденсатора (C) определяется как соотношение количества электрического заряда (Q) к напряжению (U).

емкость конденсатора

$$C = \frac{Q}{U}$$

Емкость конденсатора измеряется в фарадах (F) – единицах, названных в честь британского ученого физика Майкла Фарадея. Емкость в один фарад (1F) равняется количеству заряда в один кулон (1C), создающему напряжение на конденсаторе в один вольт (1V). Вспомним, что один кулон (1C) равняется величине заряда, прошедшего через проводник за одну секунду (1sec) при силе тока в один ампер (1A).

Однако кулон, это очень большое количество заряда относительно того, сколько способно хранить большинство конденсаторов. По этой причине, для измерения емкости обычно используют микрофарады ( $\mu\text{F}$  или  $\mu\text{F}$ ), нанофарады (nF) и пикофарады (pF).

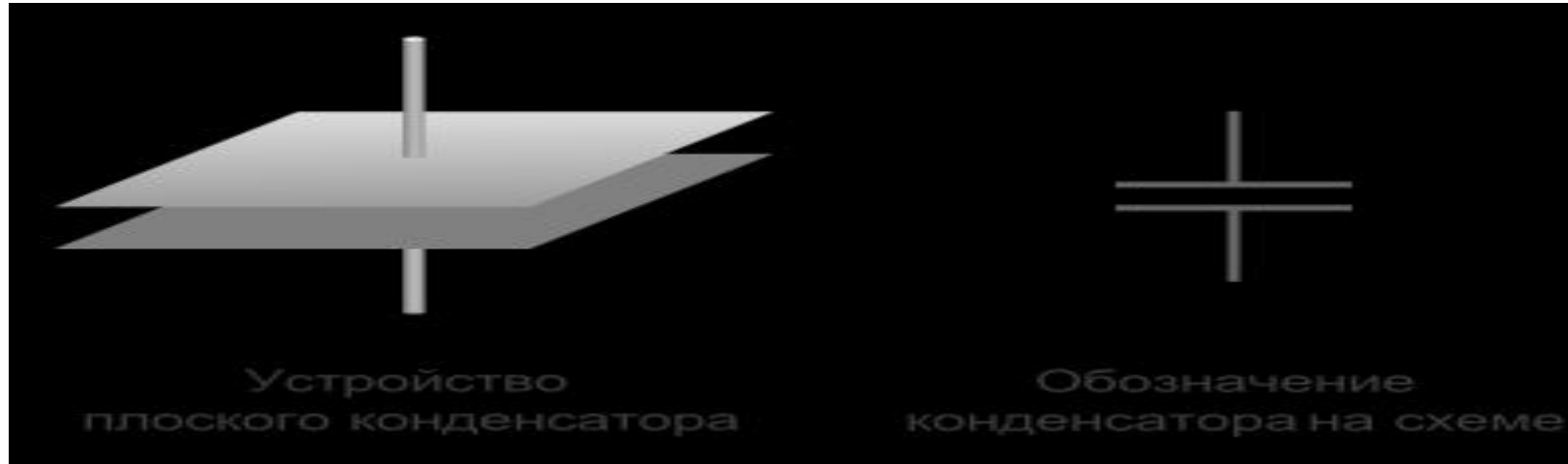
$$1\mu\text{F} = 0.000001 = 10^{-6} \text{ F}$$

$$1\text{nF} = 0.000000001 = 10^{-9} \text{ F}$$

$$1\text{pF} = 0.000000000001 = 10^{-12} \text{ F}$$

## Плоский конденсатор

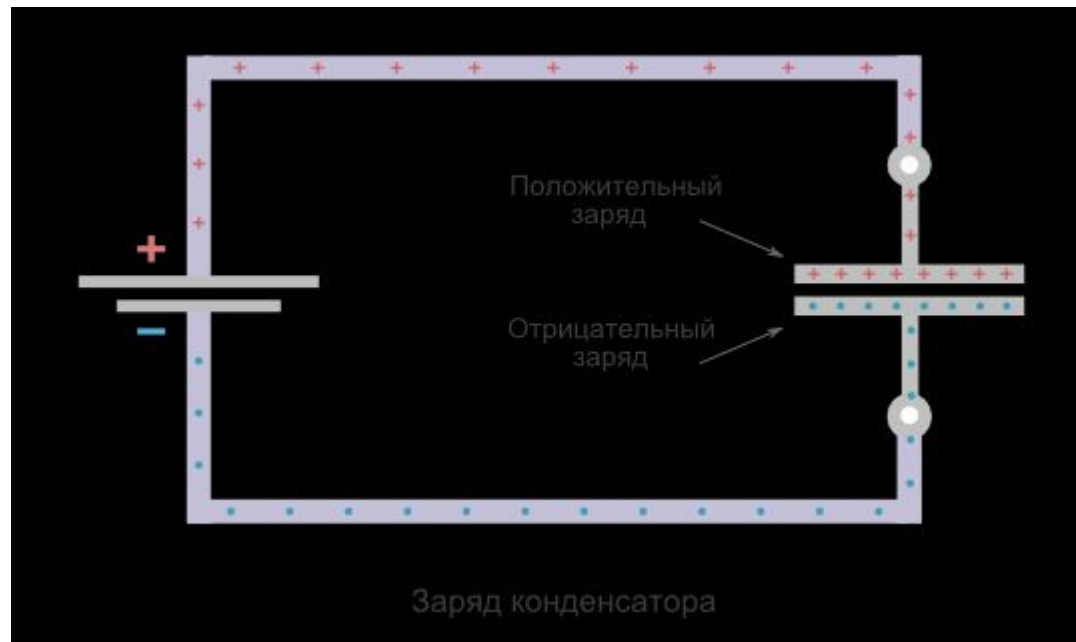
Существует множество типов конденсаторов различной формы и внутреннего устройства. Рассмотрим самый простой и принципиальный - плоский конденсатор. Плоский конденсатор состоит из двух параллельных пластин проводника (обкладок), электрически изолированных друг от друга воздухом, или специальным диэлектрическим материалом (например бумага, стекло или слюда).



## Заряд конденсатора. Ток

По своему предназначению конденсатор напоминает батарейку, однако все же он сильно отличается по принципу работы, максимальной емкости, а также скорости зарядки/разрядки.

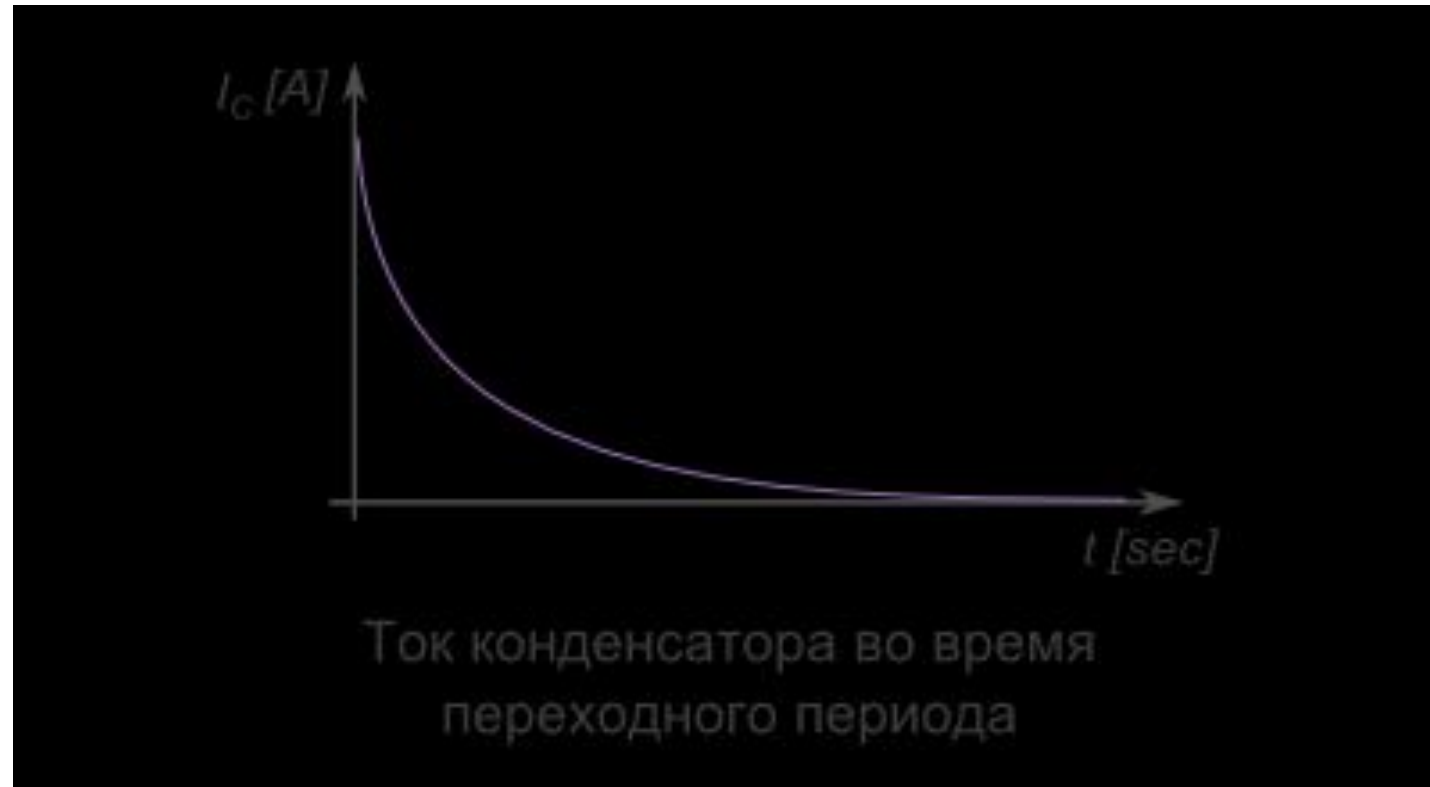
Рассмотрим принцип работы плоского конденсатора. Если подключить к нему источник питания, на одной пластине проводника начнут собираться отрицательно заряженные частицы в виде электронов, на другой – положительно заряженные частицы в виде ионов. Поскольку между обкладками находится диэлектрик, заряженные частицы не могут «перескочить» на противоположную сторону конденсатора. Тем не менее, электроны передвигаются от источника питания - до пластины конденсатора. Поэтому в цепи идет электрический ток.





В самом начале включения конденсатора в цепь, на его обкладках больше всего свободного места. Следовательно, начальный ток в этот момент встречает меньше всего сопротивления и является максимальным. По мере заполнения конденсатора заряженными частицами ток постепенно падает, пока не закончится свободное место на обкладках и ток совсем не прекратится.

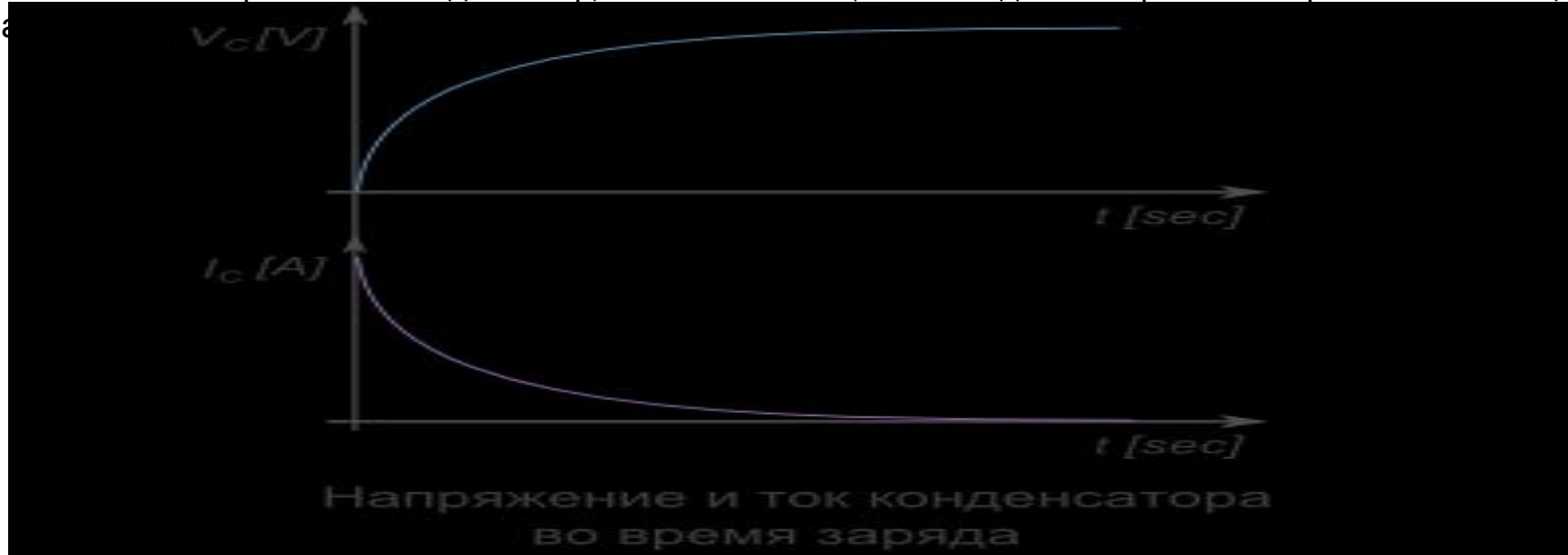
Время между состояниями «пустого» конденсатора с максимальным значением тока, и «полного» конденсатора с минимальным значением тока (т.е. его отсутствием), называют переходным периодом заряда конденсатора.



## Заряд конденсатора. Напряжение

В самом начале переходного периода зарядки, напряжение между обкладками конденсатора равняется нулю. Как только на обкладках начинают появляться заряженные частицы, между разноименными зарядами возникает напряжение. Причиной этому является диэлектрик между пластинами, который «мешает» стремящимся друг к другу зарядам с противоположным знаком перейти на другую сторону конденсатора.

На начальном этапе зарядки, напряжение быстро растет, потому что большой ток очень быстро увеличивает количество заряженных частиц на обкладках. Чем больше заряжается конденсатор, тем меньше ток, и тем медленнее растет напряжение. В конце переходного периода, напряжение на



Как видно на графике, сила тока конденсатора напрямую зависит от изменения напряжения.

Формула для нахождения тока конденсатора во время переходного периода:

$I_c$  - ток конденсатора

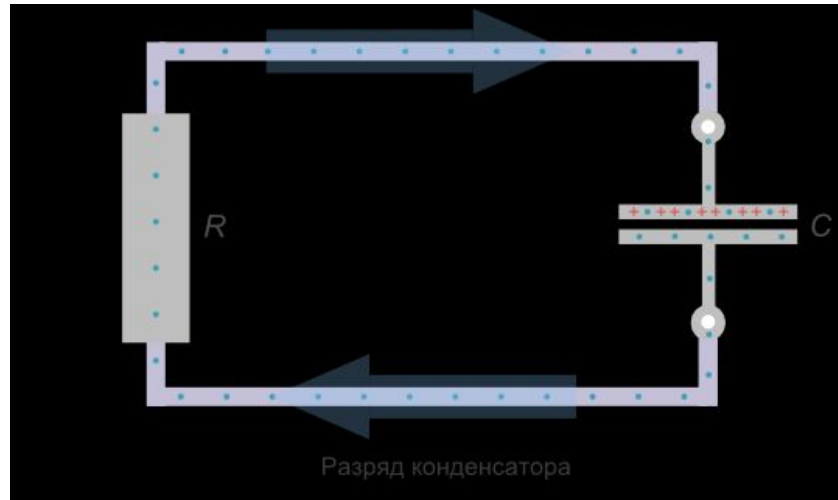
$C$  - Емкость конденсатора

$\Delta V_c / \Delta t$  – Изменение напряжения на конденсаторе за отрезок времени

$$I_c = C \frac{\Delta V_c}{\Delta t}$$

## Разряд конденсатора

После того как конденсатор зарядился, отключим источник питания и подключим нагрузку  $R$ . Так как конденсатор уже заряжен, он сам превратился в источник питания. Нагрузка  $R$  образовала проход между пластинами. Отрицательно заряженные электроны, накопленные на одной пластине, согласно силе притяжения между разноименными зарядами, двинутся в сторону положительно заряженных ионов на другой пластине.



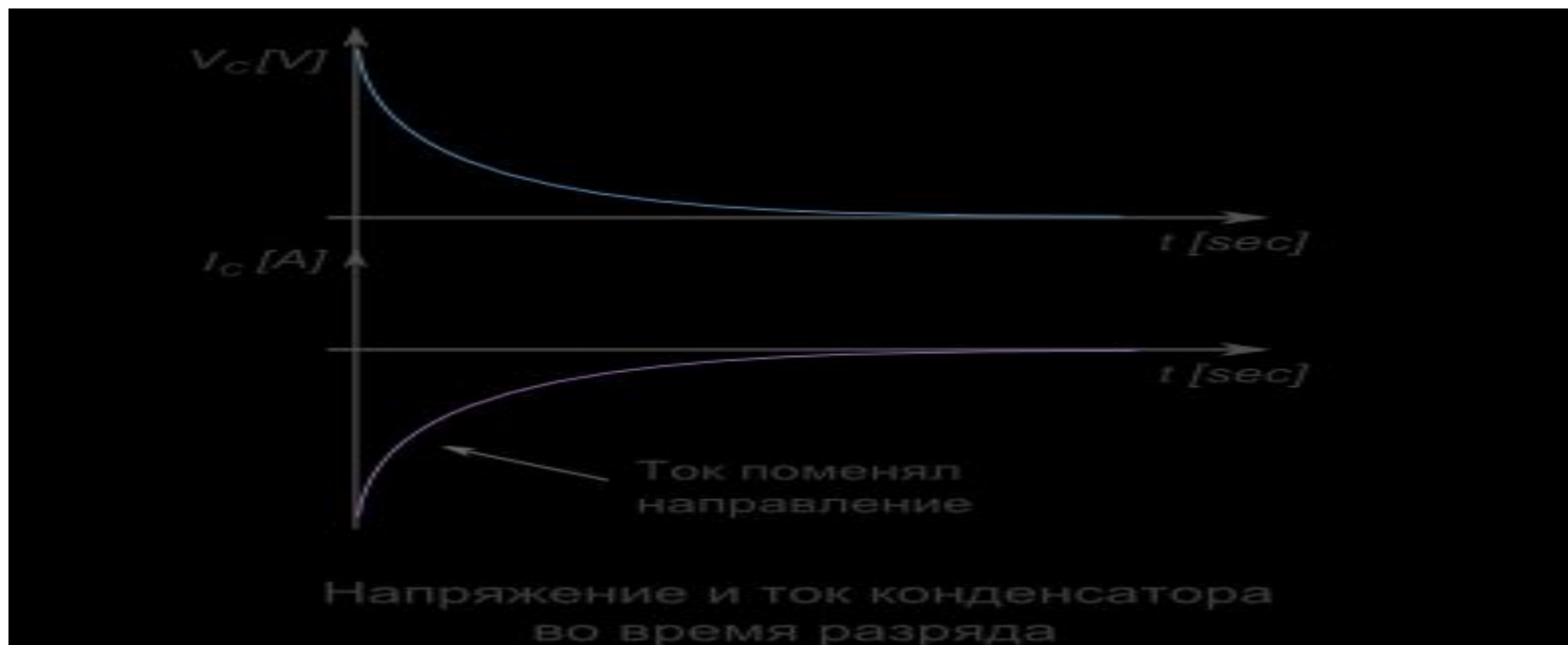
Время зарядки и разрядки конденсатора зависит от двух параметров – емкости конденсатора  $C$  и общего сопротивления в цепи  $R$ . Чем больше емкость конденсатора, тем большее количество заряда должно пройти по цепи, и тем больше времени потребует процесс зарядки/разрядки (ток определяется как количество заряда, прошедшего по проводнику за единицу времени). Чем больше сопротивление  $R$ , тем меньше ток. Соответственно, больше времени потребуется на зарядку.

Продукт  $RC$  (сопротивление, умноженное на емкость) формирует временную константу  $\tau$  (тау). За один  $\tau$  конденсатор заряжается или разряжается на 63%. За пять  $\tau$  конденсатор заряжается или разряжается полностью.

В момент подключения R, напряжение на конденсаторе то же, что и после окончания переходного периода зарядки. Начальный ток по закону Ома будет равняться напряжению на обкладках, разделенном на сопротивление нагрузки.

$$I_c = \frac{V_c}{R}$$

Как только в цепи пойдет ток, конденсатор начнет разряжаться. По мере потери заряда, напряжение начнет падать. Следовательно, ток тоже упадет. По мере понижения значений напряжения и тока, будет снижаться их скорость падения.



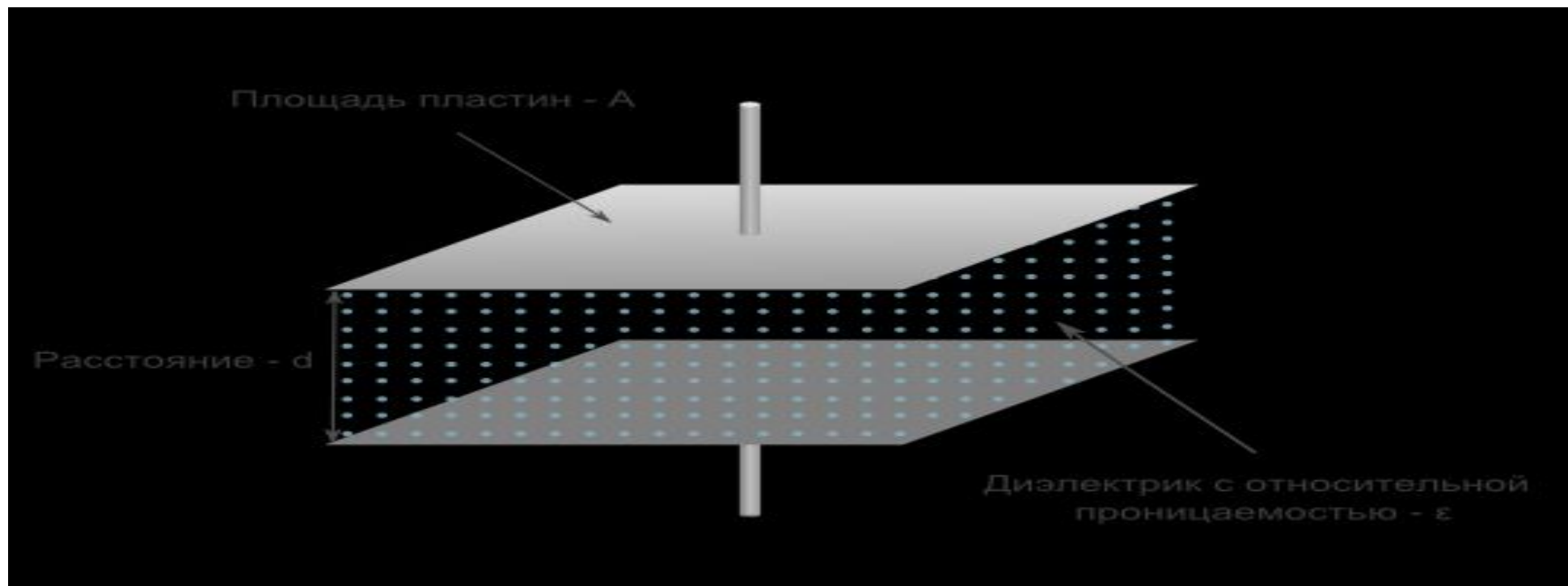
## Устройство конденсатора. От чего зависит емкость?

Емкость плоского конденсатора зависит от трех основных факторов:

Площадь пластин -  $A$

Расстояние между пластинами -  $d$

Относительная диэлектрическая проницаемость вещества между пластинами -  $\epsilon$



## Площадь пластин

Чем больше площадь пластин конденсатора, тем больше заряженных частиц могут на них разместиться, и тем больше емкость.

## Расстояние между пластинами

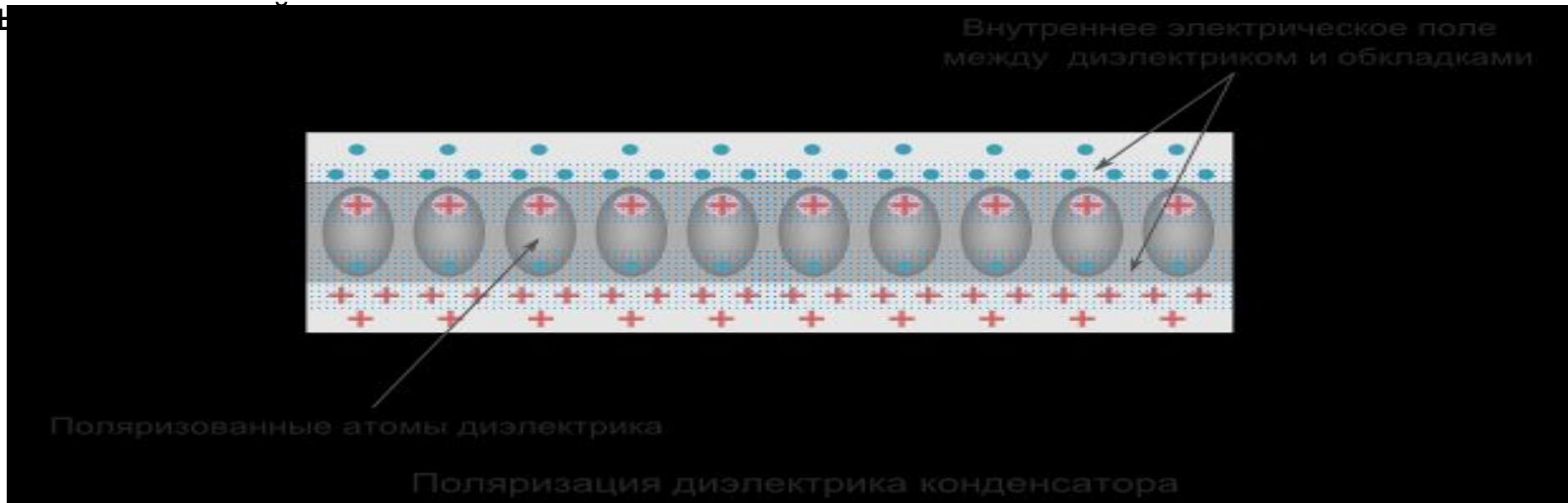
Емкость конденсатора обратно пропорциональна расстоянию между пластинами. Для того чтобы объяснить природу влияния этого фактора, необходимо вспомнить механику взаимодействия зарядов в пространстве (электростатику).

Если конденсатор не находится в электрической цепи, то на заряженные частицы, расположенные на его пластинах влияют две силы. Первая - это сила отталкивания между одноименными зарядами соседних частиц на одной пластине. Вторая – это сила притяжения разноименных зарядов между частицами, находящимися на противоположных пластинах. Получается, что чем ближе друг к другу находятся пластины, тем больше суммарная сила притяжения зарядов с противоположным знаком, и тем больше заряда может разместиться на одной пластине.

## Относительная диэлектрическая проницаемость

Не менее значимым фактором, влияющим на емкость конденсатора, является такое свойство материала между обкладками как относительная диэлектрическая проницаемость  $\epsilon$ . Это безразмерная физическая величина, которая показывает во сколько раз сила взаимодействия двух свободных зарядов в диэлектрике меньше, чем в вакууме.

Материалы с более высокой диэлектрической проницаемостью позволяют обеспечить большую емкость. Объясняется это эффектом поляризации – смещением электронов атомов диэлектрика в сторону положительной обкладки.



Поляризация создает внутренне электрическое поле диэлектрика, которое ослабляет общую разность потенциала (напряжения) конденсатора. Напряжение  $U$  препятствует притоку заряда  $Q$  на конденсатор. Следовательно, понижение напряжения способствует размещению на конденсаторе большего количества электрического заряда.

Ниже приведены примеры значений диэлектрической проницаемости для некоторых изоляционных материалов, используемых в конденсаторах.

Воздух – 1.0005

Бумага – от 2.5 до 3.5

Стекло – от 3 до 10

Слюда – от 5 до 7

Порошки оксидов металлов – от 6 до 20



## **Номинальное напряжение**

Второй по значимости характеристикой после емкости является максимальное номинальное напряжение конденсатора. Данный параметр обозначает максимальное напряжение, которое может выдержать конденсатор. Превышение этого значения приводит к «пробиванию» изолятора между пластинами и короткому замыканию. Номинальное напряжение зависит от материала изолятора и его толщины (расстояния между обкладками).

Следует отметить, что при работе с переменным напряжением нужно учитывать именно пиковое значение (наибольшее мгновенное значение напряжения за период). Например, если эффективное напряжение источника питания будет 50В, то его пиковое значение будет свыше 70В. Соответственно необходимо использовать конденсатор с номинальным напряжением более 70В. Однако на практике, рекомендуется использовать конденсатор с номинальным напряжением не менее в два раза превышающим максимально возможное напряжение, которое будет к нему приложено.

## **Ток утечки**

Также при работе конденсатора учитывается такой параметр как ток утечки. Поскольку в реальной жизни диэлектрик между пластинами все же пропускает маленький ток, это приводит к потере со временем начального заряда конденсатора.

## Индуктивность

Индуктивность — это способность извлекать энергию из источника и сохранять ее в виде магнитного поля. Это свойство проводника, предотвращающее резкие изменения текущего через него тока. Например, если ток в катушке увеличивается, магнитное поле вокруг катушки расширяется. Если ток в катушке уменьшается, магнитное поле сжимается. Однако сжатие магнитного поля индуцирует в катушке напряжение, которое поддерживает ток. Таким образом, индуктивность позволяет энергии сохраняться в виде магнитного поля, зависящего от тока. Когда ток уменьшается, уменьшается и магнитное поле, возвращая в цепь запасенную энергию.

Единица, которой измеряется индуктивность называется генри (Гн). Она названа в честь американского физика Джозефа Генри (1797-1878). Генри — это такая индуктивность, которая требуется для индуцирования электродвижущей силы (э.д.с.) в 1 вольт при изменении тока в проводнике со скоростью 1 ампер в секунду. Генри — большая единица, значительно чаще используются миллигенри (мГн) и микрогенри (мкГн). Индуктивность обозначается символом  $L$ .

## Катушки индуктивности

Катушки индуктивности — это устройства, имеющие определенную индуктивность. Они состоят из провода, намотанного на сердечник, и классифицируются по материалу сердечника. Сердечник катушки может быть либо магнитным, либо немагнитным.

Катушки могут иметь как постоянную, так и изменяемую индуктивность. Катушки с переменной индуктивностью содержат подстроечный сердечник. Максимальная индуктивность регистрируется, когда сердечник полностью введен в катушку.

Катушки индуктивности с воздушным сердечником, или катушки без сердечника, используются в тех случаях, когда индуктивность не превышает 5 миллигенри. Они наматываются на керамические или композитные сердечники.

Сердечники из феррита или порошкообразного железа используются для индуктивностей до 200 миллигенри.

Тороидальные сердечники имеют кольцеобразную форму и позволяют получить высокую индуктивность при малых размерах. Их магнитное поле сосредоточено внутри сердечника.

Экранированные индуктивности заключены в корпус (экран), сделанный из магнитного материала для защиты их от влияния внешних магнитных полей.

Многослойные катушки индуктивности с железным сердечником используются для получения большой индуктивности. Индуктивность этих катушек изменяется от 0,1 до 100 генри и зависит от величины тока