



# مدرس‌ان شریف

## CHAPTER ONE

### (( Electronic ))

#### Capacitor

A **capacitor** (formerly known as **condenser**) is a device for storing electric charge. The forms of practical capacitors vary widely, but all contain at least two conductors separated by a non-conductor. Capacitors are used as parts of electrical systems, for example, consist of metal foils separated by a layer of insulating film.

#### خازن

خازن (که قبلاً **کندانسور** نامیده می‌شد) وسیله‌ای برای ذخیره بار الکتریکی است. خازن‌های کاربردی اشکال مختلفی دارند، اما همه آن‌ها حداقل دارای دو هادی هستند که توسط یک غیرهادی از هم جدا می‌شوند. خازن‌ها به عنوان بخش‌هایی از سیستم‌های الکتریکی مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ برای مثال از ورقه‌هایی فلزی تشکیل می‌شوند که به وسیله لایه‌ای از نوار عایق جدا شده‌اند.

A capacitor is a passive **electronic component** consisting of a pair of **conductors** separated by a **dielectric** (insulator). When there is a **potential difference** (voltage) across the conductors, a static **electric field** develops across the dielectric, causing positive charge to collect on one plate and negative charge on the other plate. **Energy** is stored in the electrostatic field. An ideal capacitor is characterized by a single constant value, **capacitance**, measured in **farads**. This is the ratio of the **electric charge** on each conductor on the potential difference between them.

خازن یک **تجهیز الکترونیکی** پسیو است که از یک جفت هادی که توسط یک دی‌الکتریک (عایق) از هم جدا شده‌اند، تشکیل شده است. وقتی در هادی‌ها اختلاف پتانسیل (ولتاژ) وجود داشته باشد، یک **میدان الکتریکی** استاتیک در سرتاسر دی‌الکتریک ایجاد می‌شود که باعث تجمع بار مثبت در یک صفحه و تجمع بار منفی در صفحه‌ی دیگر می‌شود. **انرژی** در میدان الکترواستاتیک ذخیره می‌شود. یک خازن ایده‌آل به وسیله‌ی یک مقدار ثابت، به نام ظرفیت، که برحسب فاراد اندازه‌گیری می‌شود، شناخته می‌شود. ظرفیت عبارت است از نسبت **بار الکتریکی** هر صفحه‌ی هادی به اختلاف پتانسیل بین آن‌ها.

Capacitors are widely used in electronic circuits for blocking **direct current** while allowing **alternating current** to pass, in filter networks, for smoothing the output of power supplies, in the resonant circuits that tune radios to particular frequencies and for many other purposes.

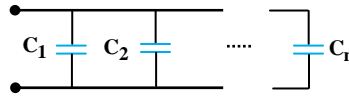
خازن‌ها به طور وسیع در مدارهای الکترونیکی برای مسدود کردن **جریان مستقیم** و عبور **جریان متناوب**، در شبکه‌های فیلتری به منظور صاف کردن خروجی منابع تغذیه، در مدارهای تشدید که رادیوها را بر روی فرکانس‌های خاص تنظیم می‌کنند و خیلی از اهداف دیگر به کار می‌روند.

The capacitance is greatest when there is a narrow separation between large areas of conductor, hence capacitor conductors are often called "plates". In practice the dielectric between the plates passes a small amount of leakage current and also has an electric field strength limit, resulting in a **breakdown voltage**, while the conductors and leads introduce an undesired **inductance** and **resistance**.

هنگامی که فاصله‌ی کمی بین سطوح وسیعی از هادی‌ها وجود دارد، ظرفیت در بالاترین حد است؛ از این رو هادی‌های خازن اغلب «صفحه» نامیده می‌شوند. در عمل، دی‌الکتریک بین صفحات مقدار کمی جریان نشتی را عبور می‌دهد و همچنین محدودیت شدت میدان الکتریکی دارد که باعث تولید ولتاژ شکست می‌شود، در حالی که هادی‌ها و کابل‌ها باعث ایجاد **اندوکتانس** و **مقاومت** نامطلوب می‌شوند.

## Series and parallel circuits

### - For capacitors in parallel



Capacitors in a parallel configuration each have the same applied voltage. Their capacitances add up. Charge is apportioned among them by size. Using the schematic diagram to visualize parallel plates, it is apparent that each capacitor contributes to the total surface area.

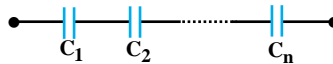
$$C_{eq} = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$

### مدارهای سری و موازی

#### – برای خازن‌ها در حالت موازی

خازن‌ها در یک ساختار موازی همگی دارای ولتاژ یکسانی هستند و ظرفیت‌شان جمع می‌شود. بار الکتریکی بر اساس اندازه‌ی آن‌ها بین‌شان تقسیم می‌شود. در صورتی که از نمودار شماتیک برای نشان دادن صفحات موازی استفاده کنیم، مشخص می‌شود که هر خازن چه تأثیری در سطح کل دارد.

### - For capacitors in series



Connected in series, the schematic diagram reveals that the separation distance, not the plate area, adds up. The capacitors each store instantaneous charge build-up equal to that of every other capacitor in the series. The total voltage difference from end to end is apportioned to each capacitor according to the inverse of its capacitance. The entire series acts as a capacitor smaller than any of its components.

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

#### – برای خازن‌ها در حالت سری

هنگامی که خازن‌ها به صورت سری وصل شوند، نمودار شماتیک (و رابطه) نشان می‌دهد که سطح صفحات جمع نمی‌شود بلکه فاصله‌ی بین آن‌ها جمع می‌شود. هر کدام از خازن‌ها بار الکتریکی را لحظه‌ای ذخیره می‌کنند که برابر با همان مقداری است که دیگر خازن‌های متصل شده به صورت سری ذخیره می‌کنند. اختلاف پتانسیل کل از سری به سر دیگر، براساس عکس ظرفیت خازن‌ها تقسیم می‌شود. سری کل خازن‌ها (خازن معادل) به عنوان خازنی کوچک‌تر از هر یک از خازن‌ها عمل می‌کند.

Capacitors are combined in series to achieve a higher working voltage, for example for smoothing a high voltage power supply. The voltage ratings, which are based on plate separation, add up. In such an application, several series connections may in turn be connected in parallel, forming a matrix. The goal is to maximize the energy storage utility of each capacitor without overloading it. Series connection is also used to adapt electrolytic capacitors for AC use.

خازن‌ها به صورت سری ترکیب می‌شوند تا به یک ولتاژ کاری بالاتر برسند، برای مثال برای صاف کردن یک منبع تغذیه با ولتاژ بالا. سطوح ولتاژ که براساس جدایی بین صفحات است با هم جمع می‌شوند. در چنین کاربردی، چندین اتصال سری ممکن است در حالت موازی به شکل یک ماتریس به هم وصل شده باشند. هدف ماکزیمم کردن قابلیت ذخیره‌ی انرژی هر یک از خازن‌ها بدون تحمیل اضافه بار بر آن خازن است. اتصال سری جهت تطبیق خازن‌های الکترولیتیک برای استفاده در جریان متناوب نیز به کار می‌رود.

## Diode

In **electronics**, a **diode** is a **two-terminal electronic component** that conducts **electric current** in only one direction. The term usually refers to a **semiconductor diode**, the most common type today. This is a crystalline block of **semiconductor** material connected to two electrical terminals. A **vacuum tube diode** (now little used except in some high-power technologies) is a vacuum tube with two electrodes; a **plate** and a **cathode**.



## دیود

در الکترونیک، یک دیود تجهیز الکترونیکی دوترمیناله‌ای است که جریان الکتریکی را فقط در یک جهت هدایت می‌کند. این عبارت معمولاً به دیود نیمه‌هادی اشاره می‌کند که رایج‌ترین نوع امروزی است. دیود یک بلوک کریستالی از ماده نیمه‌هادی است که به دو ترمینال الکتریکی متصل شده است. یک دیود لامپ خلاً (الان کم‌تر مورد استفاده قرار می‌گیرد به جز در بعضی از تکنولوژی‌های توان بالا) یک لامپ خلاً با دو الکترود است؛ یک صفحه و یک کاتد.

The most common function of a diode is to allow an electric current to pass in one **direction** (called the diode's forward direction) while blocking current in the opposite direction (the **reverse direction**). Thus, the diode can be thought of as an electronic version of a **check valve**. This unidirectional behavior is called **rectification**, and is used to convert **alternating** current to **direct current**, and to extract **modulation** from radio signals in radio receivers.

متداول‌ترین عملکرد دیود میسر ساختن عبور جریان الکتریکی در یک جهت (که بایاس مستقیم دیود نامیده می‌شود) و در عین حال ممانعت از عبور جریان در جهت مقابل (بایاس معکوس) می‌باشد. بنابراین دیود می‌تواند مدل الکترونیکی سوپاپ اطمینان در نظر گرفته شود. این رفتار یکسویه، یکسوسازی نامیده می‌شود و برای تبدیل جریان متناوب به جریان مستقیم (dc) و استخراج مدولاسیون از سیگنال‌های رادیویی در گیرنده‌های رادیو به کار می‌رود.

However, diodes can have more complicated behavior than this simple on-off action, due to their complex **non-linear** electrical characteristics, which can be tailored by varying the construction of their **P-N junction**. These are exploited in special purpose diodes that perform many different functions. For example, specialized diodes are used to regulate voltage (**Zener diodes**), to electronically tune radio and TV receivers (**varactor diodes**), to generate **radio frequency oscillations** (**tunnel diodes**), and to produce light (**light emitting diodes**)

با این وجود، با توجه به مشخصه الکتریکی غیرخطی پیچیده‌ی دیودها که با تغییر پیوند P-N آنها متناسب با کاربرد عوض می‌شود، دیودها می‌توانند رفتار پیچیده‌تری نسبت به عمل روشن - خاموش شدن ساده را از خود نشان دهند. این پیچیدگی‌ها در دیودهایی با اهداف ویژه که اجازه انجام کارهای مختلف را دارند استفاده شده است. برای مثال: دیودهای ویژه برای تنظیم ولتاژ (دیودهای زنر)، برای تنظیمات الکترونیکی رادیو و گیرنده‌های تلویزیون (دیودهای واراکتور) و برای تولید نوسانات فرکانس رادیو (دیودهای تونلی) و تولید نور (دیودهای ساطع کننده نور) مورد استفاده قرار می‌گیرند.

Diodes were the first **semiconductor electronic devices**. The discovery of crystals' **rectifying** abilities was made by German physicist **Ferdinand Braun** in 1874. The first semiconductor diodes, called **cat's whisker diodes** were made of crystals of minerals such as **galena**. Today most diodes are made of **silicon**, but other **semiconductors** such as **germanium** are sometimes used.

دیودها نخستین ابزارهای الکترونیکی نیمه‌هادی بودند. قابلیت یکسوسازی کریستال توسط فردیناند براون فیزیکدان آلمانی در سال ۱۸۷۴ کشف شد. نخستین دیودها، که نیمه هادی دیودهای کترویسکر نامیده می‌شدند، از کریستال‌های معدنی از قبیل گالنا ساخته شده بودند. امروزه بیشتر دیودها از سیلیکون ساخته می‌شوند، اما در مواردی نیمه هادی‌های دیگر از قبیل ژرمانیوم نیز به کار می‌روند.

## Semiconductor diodes

A modern semiconductor diode is made of a crystal of **semiconductor** like silicon that has impurities added to it to create a region on one side that contains negative **charge carriers** (electrons), called **n-type semiconductor**, and a region on the other side that contains positive charge carriers (**holes**), called **p-type semiconductor**. The diode's terminals are attached to each of these regions. The boundary within the crystal between these two regions, called a PN junction, is where the action of the diode takes place.

### دیودهای نیمه هادی

دیود نیمه هادی نوین از یک کریستال نیمه هادی همانند سیلیکون تشکیل می‌شود که ناخالصی‌هایی به منظور ایجاد ناحیه‌ای در یک طرف برای تجمع حامل‌های بار منفی (الکترون‌ها)، به نام نیمه هادی نوع n، و ناحیه‌ای در طرف دیگر برای تجمع حامل‌های بار مثبت (حفره‌ها)، به نام نیمه هادی نوع P، به آن اضافه شده است. دو انتهای (پایه‌ی) دیود به هر یک از این دو ناحیه متصل می‌شوند. مرز درونی کریستال بین این دو ناحیه، اتصال PN نامیده می‌شود و جایی است که عملکرد دیود در آن قسمت اتفاق می‌افتد.

The crystal conducts **conventional current** in a direction from the p-type side (called the **anode**) to the n-type side (called the **cathode**), but not in the opposite direction.

کریستال، جریان معمول را در جهتی از سمت نوع P (که آند نامیده می‌شود) به طرف نوع n (که کاتد نامیده می‌شود) هدایت می‌کند، اما در جهت عکس هدایت نمی‌کند.

## Current-voltage characteristic

A semiconductor diode's behavior in a circuit is given by its **current-voltage characteristic**, or I-V graph. The shape of the curve is determined by the transport of charge carriers through the so-called **depletion layer** or **depletion region** that exists at the **p-n junction** between differing semiconductors. When a p-n junction is first created, conduction band (mobile) electrons from the **N-doped** region diffuse into the **P-doped** region where there is a large population of holes (vacant places for electrons) with which the electrons "recombine"

### مشخصه جریان - ولتاژ

رفتار یک دیود نیمه هادی در یک مدار توسط **مشخصه جریان-ولتاژ** آن یا گراف جریان-ولتاژ آن مشخص می‌شود. شکل منحنی، توسط انتقال حامل‌های باری از میان لایه تخلیه یا ناحیه تخلیه که در **اتصال P-N** بین نیمه‌هادی‌های مختلف است تعیین می‌شود. زمانی که یک اتصال P-N اولیه ایجاد شود، باند هدایت (سیار) الکترون‌ها از **ناحیه N** در **ناحیه P** که مقدار انبوهی از حفره‌ها قرار دارند (فضاهای خالی برای الکترون‌ها) پخش شده و با آن‌ها مجدداً ترکیب می‌شوند.

When a mobile electron recombines with a hole, both hole and electron vanish, leaving behind an immobile positively charged donor (dopant) on the N-side and negatively charged acceptor (dopant) on the P-side. The region around the p-n junction becomes depleted of **charge carriers** and thus behaves as an insulator.

زمانی که یک الکترون سیار ترکیب مجددی با یک حفره برقرار کرد، هردوی حفره و الکترون ناپدید شده و یک‌دهنده باردار مثبت ثابت (ناخالص‌ساز) در طرف N و پذیرنده باردار منفی (ناخالص‌ساز) در سمت P جا می‌گذارد. ناحیه اطراف اتصال p-n از **حامل‌های بار خالی** می‌شود و بنابراین مانند یک عایق رفتار می‌کند.

However, the width of the depletion region (called the **depletion width**) cannot grow without limit. For each **electron-hole pair** that recombines, a positively charged **dopant** ion is left behind in the N-doped region, and a negatively charged dopant ion is left behind in the P-doped region. As recombination proceeds more ions are created, an increasing electric field develops through the depletion zone which acts to slow and then finally stop recombination. At this point, there is a "built-in" potential across the depletion zone.

با این همه، عرض ناحیه تخلیه (موسوم به **عرض تخلیه**) نمی‌تواند بدون محدودیت رشد کند. برای هر **جفت الکترون-حفره** که مجدداً ترکیب می‌شوند، یک یون باردار مثبت ناخالص‌ساز در ناحیه N و یک یون باردار منفی ناخالص‌ساز در ناحیه P جا گذاشته می‌شود. در نتیجه واکنش‌های ترکیب مجدد یون‌های بیش‌تری ایجاد می‌شوند و میدان الکتریکی زیادشونده در ناحیه تخلیه گسترش می‌یابد که این عمل، سبب آرام کردن و نهایتاً توقف ترکیب مجدد می‌شود. در این مرحله، یک پتانسیل «درونی» در طول ناحیه تخلیه وجود دارد.

If an external voltage is placed across the diode with the same polarity as the built-in potential, the **depletion** zone continues to act as an insulator, preventing any significant electric current flow (unless electron/hole pairs are actively being created in the junction by, for instance, light.)

اگر یک ولتاژ خارجی در طول دیود با پلاریته مشابه پتانسیل درونی دیود قرار داده شود، ناحیه **تخلیه**، پیوسته مانند یک عایق عمل می‌کند که از جاری شدن هرگونه جریان الکتریکی قابل توجه ممانعت می‌کند. (مگر این که جفت الکترون/حفره به صورت فعالانه در محل اتصال (برای مثال توسط نور) ایجاد شود.)

This is the **reverse bias** phenomenon. However, if the polarity of the external voltage opposes the built-in potential, recombination can once again proceed, resulting in substantial electric current through the p-n junction (i.e. substantial numbers of electrons and holes recombine at the junction).

این پدیده **بایاس معکوس** است. اگرچه، چنانچه پلاریته ولتاژ خارجی برخلاف پتانسیل درونی باشد، ترکیب مجدد می‌تواند دوباره صورت پذیرد، موجب ایجاد جریان الکتریکی قابل توجهی درون اتصال p-n خواهد شد (برای مثال تعداد قابل توجهی از الکترون‌ها و حفره‌های درونی در اتصال مجدداً ترکیب می‌شوند).

For silicon diodes, the built-in potential is approximately 0.7 V. Thus, if an external current is passed through the diode, about 0.7 V will be developed across the diode such that the P-doped region is positive with respect to the N-doped region and the diode is said to be "turned on" as it has a forward bias.

برای دیودهای سیلیکون پتانسیل درونی حدوداً 0.7 V ولت است. بنابراین اگر یک جریان خارجی از دیود عبور کند، حدود 0.7 V ولت در طول دیود تقویت می‌شود؛ به طوری که ناحیه P نسبت به ناحیه N مثبت خواهد بود و گفته می‌شود که دیود «روشن» است در نتیجه بایاس مستقیم دارد.



A diode's 'I-V characteristic' can be approximated by four regions of operation. At very large reverse bias, beyond the **peak inverse voltage** or PIV, a process called reverse **breakdown** occurs which causes a large increase in current (i.e. a large number of electrons and holes are created at, and move away from the pn junction) that usually damages the device permanently

مشخصه I-V دیود می‌تواند توسط چهار ناحیه عملکردی تقریب زده شود. در بایاس معکوس خیلی بزرگ، آنسوی ولتاژ پیک معکوس یا PIV یک پروسه‌ای به نام شکست معکوس اتفاق می‌افتد که افزایش زیادی در جریان ایجاد خواهد کرد (مثلاً تعداد زیادی الکترون‌ها و حفره‌ها ایجاد می‌شود و در مسیر اتصال pn حرکت می‌کنند) که معمولاً به دستگاه‌ها آسیب دائمی می‌رساند.

The **avalanche diode** is deliberately designed for use in the avalanche region. In the **zener diode** the concept of **PIV** is not applicable. A zener diode contains a heavily doped p-n junction allowing electrons to tunnel from the valence band of the p-type material to the conduction band of the n-type material, such that the reverse voltage is "clamped" to a known value (called the zener voltage), and avalanche does not occur. Both devices, however, do have a limit to the maximum current and power in the clamped reverse voltage region. Also, following the end of forward conduction in any diode, there is reverse current for a short time. The device does not attain its full blocking capability until the reverse current ceases.

دیود آوالانچ (بهمنی) عمداً برای استفاده در ناحیه بهمنی طراحی شده است. در دیود زنر، مفهوم ولتاژ پیک معکوس کاربردی نیست. یک دیود زنر شامل یک اتصال p-n خیلی تقویت شده است که به الکترون‌ها اجازه عبور از باند ظرفیت ماده نوع p و ورود به باند هدایت ماده نوع n را می‌دهد، به طوری که ولتاژ معکوس در یک مقدار مشخصی نگه داشته شده (که ولتاژ زنر نامیده می‌شود) و بهمن اتفاق نمی‌افتد. اگرچه هر دو دستگاه حدی برای جریان و توان ماکزیمم در ناحیه ولتاژ معکوس کلمپ شده دارند. همچنین، بعد از اتمام هدایت مستقیم در هر دیود، برای مدت کوتاهی جریان معکوس وجود دارد. دستگاه قابلیت انسداد کامل را تا زمانی که جریان معکوس خاتمه نیابد، به دست نمی‌آورد.

The second region, at reverse biases more positive than the **PIV**, has only a very small reverse saturation current. In the reverse bias region for a normal P-N rectifier diode, the current through the device is very low (in the  $\mu A$  range). However, this is temperature dependent, and at sufficiently high temperatures, a substantial amount of reverse current can be observed (mA or more).

ناحیه دوم، در بایاس معکوس خیلی مثبت نسبت به ولتاژ پیک معکوس، فقط جریان اشباع معکوس بسیار کمی دارد. در ناحیه بایاس معکوس برای یک دیود یکسوساز P-N معمولی، جریان دستگاه خیلی پایین است (در رنج میکروآمپر). اگرچه، این جریان وابسته به دماست و در دماهای به اندازه کافی بالا، مقدار قابل توجهی از جریان برگشتی را می‌توان مشاهده نمود (میلی‌آمپر یا بیشتر).

The third region is forward but small bias, where only a small forward current is conducted. As the potential difference is increased above an arbitrarily defined "cut-in voltage" or "On-voltage" or "diode forward voltage drop ( $V_d$ )", the diode current becomes appreciable (the level of current considered "appreciable" and the value of cut-in voltage depends on the application) and the diode presents a very low resistance. The current-voltage curve is **exponential**.

ناحیه سوم مستقیم اما بایاس کوچک است، جایی که فقط یک جریان مستقیم کوچک هدایت شده است. چنانچه اختلاف پتانسیل بالاتر از مقدار قرارداد تعریف شده برای «ولتاژ قطع» یا «ولتاژ وصل» یا «افت ولتاژ مستقیم دیود ( $V_d$ )» افزایش یابد، جریان دیود قابل ملاحظه می‌شود (سطح جریانی که «قابل ملاحظه» تلقی می‌شود و مقدار ولتاژ قطع به کاربرد آن وابسته است) و دیود یک مقاومت خیلی پایین نشان می‌دهد. منحنی جریان - ولتاژ به صورت نمایی است.

In a normal silicon diode at rated currents, the arbitrary "cut-in" voltage is defined as 0.6 to 0.7 volts. The value is different for other diode types – **Schottky diodes** can be rated as low as 0.2 V and red or blue **light-emitting diodes** (LEDs) can have values of 1.4 V and 4.0 V respectively.

At higher currents the forward voltage drop of the diode increases. A drop of 1 V to 1.5 V is typical at full rated current for power diodes.

در یک دیود سیلیکونی معمولی در جریان‌های نامی، ولتاژ قطع قراردادی ۰/۶ الی ۰/۷ ولت تعریف شده است. این مقدار برای انواع دیگر دیودها متفاوت است - دیودهای شاتکی می‌توانند به اندازه پایینی چون ۰/۲ ولت نرخ‌بندی شوند و «دیودهای انتشار نور» (LED) قرمز یا آبی می‌توانند به ترتیب مقادیر ۱/۴ ولت و ۴ ولت داشته باشند. در جریان‌های بالاتر، افت ولتاژ مستقیم دیود افزایش پیدا می‌کند. افت ۱ تا ۱/۵ ولتی در جریان نامی کامل برای دیودهای قدرت معمول است.

## Shockley diode equation

The Shockley ideal diode equation or the diode law (named after **transistor** co-inventor **William Bradford Shockly**, not to be confused with **tetrode** inventor **Walter H. Schottky**) gives the I-V characteristic of an ideal diode in either **forward** or **reverse bias** (or no bias). The equation is:

$$I = I_S (e^{\frac{V_D}{nV_t}} - 1). \quad (1)$$

### معادله دیود شاکلی

معادله دیود ایده‌آل شاکلی یا قانون دیود (به نام یک دستیار مخترع ترانزیستور، ویلیام بردفورد شاکلی نامیده شده که نباید با مخترع لامپ تترود (چهار قطبی) والتر شاکلی اشتباه گرفته شود)، مشخصه I-V دیود ایده‌آل را در بایاس مستقیم یا معکوس (یا حالت بدون بایاس) به دست می‌دهد. این معادله عبارت است از:

$$I = I_S (e^{\frac{V_d}{nV_t}} - 1)$$

Where  $I$  is the diode current,  $I_S$  is the reverse bias **saturation current** (or scale current),  $V_d$  is the voltage across the diode,  $V_t$  is the thermal voltage, and  $N$  is the **emission coefficient**, also known as the ideality factor. The emission coefficient  $n$  varies from about 1 to 2 depending on the fabrication process and semiconductor material and in many cases is assumed to be approximately equal to 1 (thus the notation  $n$  is omitted).

که در این معادله:

$I$ : جریان دیود است،  $I_S$ : **جریان اشباع** بایاس معکوس است (یا جریان مقیاس)،  $V_d$ : ولتاژ سرتاسر دیود است،  $V_t$ : ولتاژ حرارتی است،  $N$ : **ضریب انتشار** است، که به عنوان فاکتور ایده‌آل نیز شناخته می‌شود. ضریب انتشار  $n$  از حدود ۱ الی ۲ تغییر می‌کند که وابسته به پروسه‌های تولید و ماده نیمه‌هادی است و در موارد بسیاری تقریباً برابر با ۱ در نظر گرفته می‌شود (بنابراین نماد  $n$  حذف می‌شود).

The **thermal voltage**  $V_T$  is approximately 25.85 mV at 300 K, a temperature close to "room temperature" commonly used in device simulation software. At any temperature it is a known constant defined by:  $V_T = \frac{kT}{q}$ ,

where  $k$  is the **Boltzmann constant**,  $T$  is the absolute temperature of the p-n junction, and  $q$  is the magnitude of charge on an electron (the elementary charge).

**ولتاژ حرارتی**  $V_T$  حدوداً ۲۵/۸۵ میلی ولت در ۳۰۰ کلوین بوده که دمای نزدیک به «دمای اتاق» است و معمولاً در نرم‌افزار شبیه‌سازی دستگاه استفاده می‌شود. این مقدار در هر دمایی ثابت مشخصی است که توسط رابطه  $V_T = \frac{kT}{q}$  تعریف می‌شود به طوری که  $k$  ثابت بولتزمن،  $T$  دمای مطلق اتصال

p-n، و  $q$  اندازه بار یک الکترون است (شارژ اولیه).

The Shockley ideal diode equation or the diode law is derived with the assumption that the only processes giving rise to the current in the diode are drift (due to electrical field), diffusion, and thermal recombination-generation. It also assumes that the recombination-generation (R-G) current in the **depletion** region is insignificant. This means that the Shockley equation doesn't account for the processes involved in reverse breakdown and photon-assisted R-G. Additionally, it doesn't describe the "leveling off" of the I-V curve at high forward bias due to internal resistance.

معادله دیود ایده‌آل شاکلی یا قانون دیود با این فرض استخراج شده که تنها فرآیندهایی که باعث افزایش جریان در دیود می‌شوند خلأ (به علت میدان الکتریکی)، انتشار و تولید - ترکیب مجدد حرارتی هستند. علاوه بر این فرض شده که جریان تولید - ترکیب مجدد در ناحیه **تخلیه** ناچیز است. این بدان معناست که معادله شاکلی پروسه‌هایی را که شامل شکست معکوس و تولید ترکیب مجدد با کمک فوتون هستند، دربر نمی‌گیرد. به علاوه این معادله «سطح خاموش» از منحنی I-V در بایاس مستقیم بالا را به علت مقاومت درونی تشریح نمی‌کند.





Under reverse bias voltages the **exponential** in the diode equation is negligible, and the current is a constant (negative) reverse current value of  $-I_S$ . The reverse breakdown region is not modeled by the Shockley diode equation. For even rather small forward bias voltages the exponential is very large because the thermal voltage is very small, so the subtracted '1' in the diode equation is negligible and the forward diode current is often approximated as :

$$I = I_S e^{V_d / (nV_T)}$$

تحت ولتاژهای بایاس معکوس بخش نمایی معادله دیود ناچیز است، و جریان مقدار جریان معکوس ثابت  $-I_S$  است. ناحیه شکست معکوس توسط معادله دیود شاکلی مدل نشده است. حتی برای ولتاژهای بایاس مستقیم نسبتاً کوچک بخش نمایی خیلی بزرگ است چرا که ولتاژ حرارتی خیلی کوچک بوده و

بنابراین قسمت منهای یک در معادله دیود مقدار ناچیزی می‌باشد و جریان مستقیم دیود اغلب با معادله مقابل تقریب زده می‌شود:

$$I = I_S e^{\frac{v_d}{nV_T}}$$

### Small-signal behaviour

For circuit design, a small-signal model of the diode behavior often proves useful.

### رفتار سیگنال کوچک

برای طراحی مدار، مدل سیگنال کوچک از رفتار دیود، اغلب سودمند است.

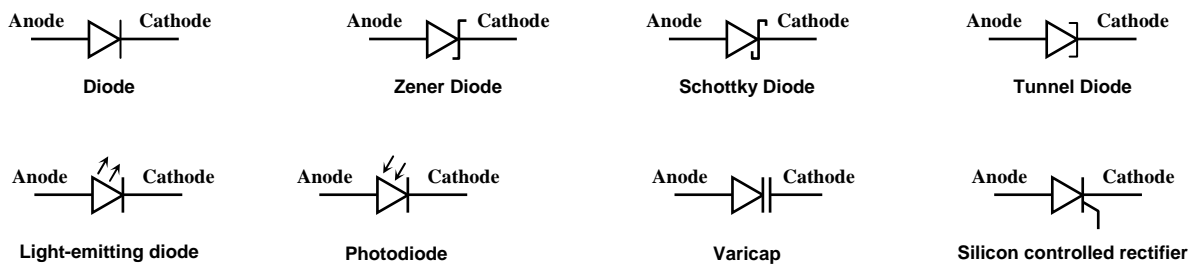


Figure 1. Some diode symbols.

برخی نمادهای دیودها

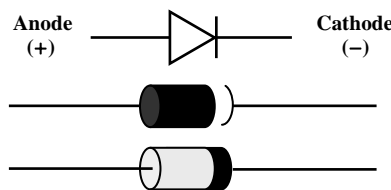


Figure 2. Typical diode packages in same alignment as diode symbol. Thin bar depicts the cathode.

دیودهای مرسوم در تطبیق با نماد دیود. قسمت باریک کاتد را نشان می‌دهد.

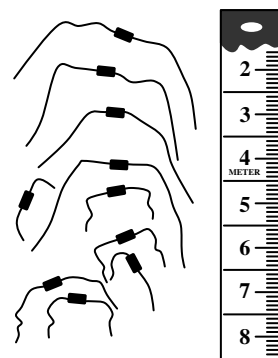


Figure 3. Several types of diodes. The scale is centimeters.

انواع دیودها (مقیاس سانتی متر است)

### Types of semiconductor diodes

There are several types of junction diodes, which either emphasize a different physical aspect of a diode often by geometric scaling, doping level, choosing the right electrodes, are just an application of a diode in a special circuit, or are really different devices like the Gunn and laser diode and the MOSFET:

### انواع دیودهای نیمه هادی

انواع مختلفی از دیودهای پیوندی وجود دارد، که یا به یک جنبه فیزیکی متفاوت از دیود، اغلب توسط مقیاس هندسی، سطح تغلیظ، انتخاب الکترودهای مناسب، تأکید دارند که فقط یک کاربرد از یک دیود در یک مدار خاص هستند، یا واقعاً دستگاه‌های متفاوتی شبیه به گان و دیود لیزری و ماسفت هستند:

Normal (p-n) diodes, which operate as described above, are usually made of doped **silicon** or, more rarely, **germanium**. Before the development of modern silicon power rectifier diodes, **cuprous oxide** and later **selenium** was used; its low efficiency gave it a much higher forward voltage drop (typically 1.4-1.7 V per "cell", with multiple cells stacked to increase the peak inverse voltage rating in high voltage rectifiers), and required a large heat sink (often an extension of the diode's metal substrate), much larger than a silicon diode of the same current ratings would require. The vast majority of all diodes are the p-n diodes found in **CMOS integrated** circuits, which include two diodes per pin and many other internal diodes.

دیودهای (p-n) نرمال، که به صورت شرح داده شده در بالا عمل می‌کنند، معمولاً از **سیلیکون** و یا بسیار به ندرت از **ژرمانیوم** ساخته می‌شوند. قبل از توسعه دیودهای یکسوکننده قدرت سیلیکونی مدرن، از **اکسید مس** و بعداً از **سلنیوم** استفاده می‌شد. بازده پایین این مواد افت ولتاژ مستقیم بسیار زیادی در آن‌ها تولید می‌کرد (معمولاً  $1/4 - 1/7$  ولت در هر سلول، با چندین سلول انباشته شده برای افزایش نرخ ولتاژ معکوس در یکسوکننده‌های ولتاژ بالا) و به خنک‌کننده‌های بزرگتری (معمولاً گستره‌ای از لایه‌های فلزی دیود)، بسیار بزرگ‌تر نسبت به آنچه که دیود سیلیکونی با جریان اسمی مشابه نیاز دارد، نیاز داشت. اکثریت دیودها عبارتند از دیودهای p-n که در مدارات مجتمع **CMOS** یافت می‌شوند، که شامل دو دیود در هر پین و بسیاری از دیودهای داخلی دیگر هستند.

### Avalanche diodes

Diodes that conduct in the reverse direction when the reverse bias voltage exceeds the **breakdown** voltage. These are electrically very similar to Zener diodes, and are often mistakenly called Zener diodes, but break down by a different mechanism, the avalanche effect. This occurs when the reverse electric field across the p-n junction causes a wave of ionization, reminiscent of an avalanche, leading to a large current. Avalanche diodes are designed to break down at a well-defined reverse voltage without being destroyed. The difference between the avalanche diode (which has a reverse breakdown above about 6.2 V) and the Zener is that the channel length of the former exceeds the "mean free path" of the electrons, so there are collisions between them on the way out. The only practical difference is that the two types have temperature coefficients of opposite polarities.

#### دیودهای بهمنی

دیودهایی هستند که وقتی ولتاژ بایاس معکوس از ولتاژ شکست فراتر رود، در جهت معکوس هدایت می‌کنند. این دیودها از لحاظ الکتریکی خیلی شبیه به دیودهای زنر هستند و اغلب به اشتباه دیودهای زنر نامیده می‌شوند، اما شکست با مکانیسم متفاوتی به نام اثر بهمنی روی می‌دهد. این امر زمانی اتفاق می‌افتد که میدان الکتریکی معکوس عبوری از پیوند p-n باعث ایجاد یک موجی از یونیزاسیون می‌شود، که یادآور بهمن است و یک جریان بزرگ تولید می‌کند. دیودهای بهمنی برای شکست در یک ولتاژ معکوس مناسب تعریف شده بدون این که از بین بروند طراحی شده‌اند. تفاوت بین دیود بهمنی (که یک شکست معکوس بالای حدود  $6/2$  ولت دارد) و زنر این است که طول کانال دیود بهمنی از «متوسط مسیر آزاد» الکترون‌ها فراتر می‌رود، بنابراین برخوردی بین آن‌ها در خروجی وجود دارد. تنها تفاوت عملی این است که هر دو نوع، ضرایب دمایی با پلاریته‌های متفاوت دارند.

### Cat's whisker or crystal diodes

These are a type of point-contact diode. The cat's whisker diode consists of a thin or sharpened metal wire pressed against a semiconducting crystal, typically **galena** or a piece of **coal**. The wire forms the anode and the crystal forms the cathode. Cat's whisker diodes were also called crystal diodes and found application in **crystal radio receivers**. Cat's whisker diodes are generally obsolete, but may be available from a few manufacturers.

#### دیودهای کتزویسکری یا کریستالی

نوعی از دیود اتصال نقطه‌ای هستند. دیود کتزویسکر شامل یک سیم فلزی تیز شده یا نازک پرس شده در برابر یک کریستال نیمه‌هادی است، که اغلب سرب طبیعی یا تکه‌ای از زغال سنگ می‌باشد. سیم، آند و کریستال کاتد را تشکیل می‌دهد. دیودهای کتزویسکر دیودهای کریستالی نیز نامیده می‌شدند و در دریافت کننده‌های رادیویی کریستال کاربرد داشتند. دیودهای کتزویسکر به صورت معمول منسوخ شده‌اند ولی ممکن است تولیدکنندگان کمی از آن‌ها استفاده کنند.





## Constant current diodes

These are actually a **JFET** with the gate shorted to the source, and function like a two terminal current-limiter analog to the Zener diode, which is limiting voltage. They allow a current through them to rise to a certain value, and then level off at a specific value. Also called **CLDs**, constant-current diodes, diode-connected transistors, or current-regulating diodes

### دیودهای جریان ثابت

این دیودها در حقیقت یک **JFET** با گیت متصل شده به منبع هستند، و مانند محدود کننده جریان دو ترمیناله همانند دیود زنر که ولتاژ را محدود می‌کند عمل می‌کنند. این دیودها به جریان عبوری اجازه می‌دهند که تا میزان مشخصی افزایش یابد و سپس در سطح خاصی خاموش شود. به این دیودها، **CLD**، دیودهای جریان ثابت، ترانزیستورهای متصل شده دیودی، یا دیودهای تنظیم جریان نیز گفته می‌شود.

## Esaki or tunnel diodes

These have a region of operation showing **negative resistance** caused by **Quantum tunneling**, thus allowing amplification of signals and very simple bistable circuits. These diodes are also the type most resistant to nuclear radiation.

### اساکی یا دیودهای تونلی

این دیودها ناحیه عملکردی دارند که **مقاومت منفی** نشان می‌دهد که به وسیله **تونل کوانتومی** ایجاد شده است. بنابراین تقویت سیگنال‌ها و خیلی از مدارات دو پایای ساده را میسر می‌کنند. این دیودها همچنین نوعی هستند که بالاترین مقاومت را در برابر تشعشعات هسته‌ای دارند.

## Gunn diodes

These are similar to tunnel diodes in that they are made of materials such as gas or InP that exhibit a region of **negative differential resistance**. With appropriate biasing, dipole domains form and travel across the diode, allowing high frequency microwave oscillators to be built.

### دیودهای گان

این دیودها شبیه به دیودهای تونلی هستند از این حیث که آن‌ها از موادی مثل گاز یا InP ساخته شده‌اند که یک ناحیه **مقاومت دیفرانسیلی منفی** را ارائه می‌دهد. با بایاسینگ مناسب، نواحی دوقطبی در سرتاسر دیود شکل گرفته و حرکت می‌کنند و بدین ترتیب، اجازه ساخته شدن نوسان‌سازهای میکرو موج فرکانس بالا را می‌دهند.

## Light-emitting diodes (LEDs)

In a diode formed from a **direct band-gap** semiconductor, such as **gallium arsenide**, carriers that cross the junction emit photons when they recombine with the majority carrier on the other side. Depending on the material, **wavelengths** (or colors) from the **infrared** to the near **ultraviolet** may be produced. The forward potential of these diodes depends on the wavelength of the emitted photons: 1.2 V corresponds to red, 2.4 V to violet. The first LEDs were red and yellow, and higher-frequency diodes have been developed over time. All LEDs produce incoherent, narrow-spectrum light; "white" LEDs are actually combinations of three LEDs of a different color, or a blue LED with a yellow **scintillator** coating. LEDs can also be used as low-efficiency photodiodes in signal applications. An LED may be paired with a photodiode or phototransistor in the same package, to form an **photo-isolator**.

### دیودهای انتشار نور (LEDها)

در یک دیود شکل گرفته از نیمه‌هادی **باند مستقیم فاصله‌دار**، از قبیل **ارسنید گالیوم**، حامل‌هایی که از اتصال عبور می‌کنند زمانی که با اکثر حامل‌های طرف دیگر ترکیب مجدد می‌شوند از خود نور ساطع می‌کنند. بسته به نوع ماده، ممکن است طول موج‌هایی (یا رنگ‌هایی) از **مادون قرمز** تا نزدیک **ماوراءبنفش** ایجاد شود. پتانسیل مستقیم این دیودها به **طول موج** فوتون‌های ساطع شده وابسته است:  $1/2$  ولت مربوط به قرمز است و  $2/4$  ولت مربوط به بنفش. LEDهای اولیه قرمز و زرد بودند و دیودهای فرکانس بالاتر به مرور زمان توسعه پیدا کرده‌اند. تمامی LEDها طیف باریک نور گسسته تولید می‌کنند؛ LEDهای نور «سفید» در حقیقت ترکیبی از سه LED از سه رنگ متفاوت هستند، یا یک LED آبی با یک پوشش **جرقه زنده** زرد می‌باشد. LEDها همچنین می‌توانند به عنوان دیودهای حساس به نور با بازده پایین در کاربردهای سیگنال استفاده شوند. یک LED ممکن است با یک دیود حساس به نور یا فوتو ترانزیستور در بسته مشابه جفت شود تا یک **ایزولاتور نوری** را تشکیل دهد.

## Laser diodes

When an LED-like structure is contained in a **resonant cavity** formed by polishing the parallel end faces, a **laser** can be formed. Laser diodes are commonly used in **optical storage** devices and for high speed optical communication.

### دیوهای لیزری

زمانی که یک ساختار مشابه LED در یک فضای رزونانسی قرار می‌گیرد که با صیقل دادن سطوح انتهایی به وجود آمده، یک لیزر شکل می‌گیرد. دیوهای لیزری اغلب در دستگاه‌های ذخیره نور و برای ارتباط نوری سرعت بالا مورد استفاده قرار می‌گیرند.

## Peltier diodes

These diodes are used as sensors, **heat engines** for **thermoelectric cooling**. Charge carriers absorb and emit their band gap energies as heat.

### دیوهای پلتیر

این دیوها به عنوان سنسور در موتورهای حرارتی برای خنک‌سازی ترموالکتریکی مورد استفاده قرار می‌گیرند. حامل‌های بار، انرژی فاصله باندی را به صورت گرما جذب و منتشر می‌کنند.

## Photodiodes

All semiconductors are subject to optical **charge carrier** generation. This is typically an undesired effect, so most semiconductors are packaged in light blocking material. Photodiodes are intended to sense light (**photodetector**), so they are packaged in materials that allow light to pass, and are usually PIN (the kind of diode most sensitive to light). A photodiode can be used in **solar cells**, in **photometry**, or in **optical communications**. Multiple photodiodes may be packaged in a single device, either as a linear array or as a two dimensional array. These arrays should not be confused with **charge-coupled** devices.

### دیوهای حساس به نور

تمامی نیمه‌هادی‌ها ابزاری برای تولید حامل‌های بار نوری هستند. این موضوع نوعاً پیامدی نامطلوب است، بنابراین اکثر نیمه‌هادی‌ها در ماده مسدود کننده‌ی نور بسته‌بندی می‌شوند. دیوهای حساس به نور تمایل به تشخیص روشنایی دارند (آشکارساز نور)، بنابراین در بسته‌هایی قرار گرفته‌اند که به روشنایی اجازه‌ی عبور می‌دهد، و معمولاً PIN هستند (نوعی از دیود که بیش‌ترین حساسیت به نور را دارد). دیود حساس به نور می‌تواند در سلول‌های خورشیدی، فوتومتری، یا در ارتباطات نوری، مورد استفاده قرار گیرد. چندین دیود حساس به نور ممکن است در یک دستگاه یا به عنوان یک آرایه خطی یا به عنوان یک آرایه دوبعدی قرار گیرند. این آرایه‌ها را نباید با دستگاه‌های کوپل شارژ اشتباه گرفت.

## Point-contact diodes

These work the same as the junction **semiconductor** diodes described above, but their construction is simpler. A block of n-type semiconductor is built, and a conducting sharp point contact made with some group-3 metal is placed in contact with the **semiconductor**. Some metal migrates into the **semiconductor** to make a small region of p-type **semiconductor** near the contact. The long-popular IN34 germanium version is still used in radio receivers as a detector and occasionally in specialized analog electronics.

### دیوهای اتصال نقطه‌ای

این دیوها مشابه دیوهای نیمه‌هادی پیوندی تشریح شده در بالا کار می‌کنند، اما ساختار آن‌ها ساده‌تر است. یک بلوک از نیمه‌هادی نوع n ساخته شده، و یک اتصال نقطه‌ای تیز هادی که با یک فلز گروه ۳ ساخته شده و به نیمه هادی متصل می‌شود. تعدادی فلز به نیمه هادی انتقال پیدا می‌کنند تا یک ناحیه کوچکی از نیمه‌هادی نوع p نزدیک نقطه اتصال، ایجاد کنند. مدل ژرمانیوم IN34 که مدت‌ها مورد استفاده قرار می‌گرفته است، هنوز هم در دریافت کننده‌های رادیویی به عنوان یک آشکارساز و گاهی اوقات در الکترونیک آنالوگ تخصصی استفاده می‌شود.