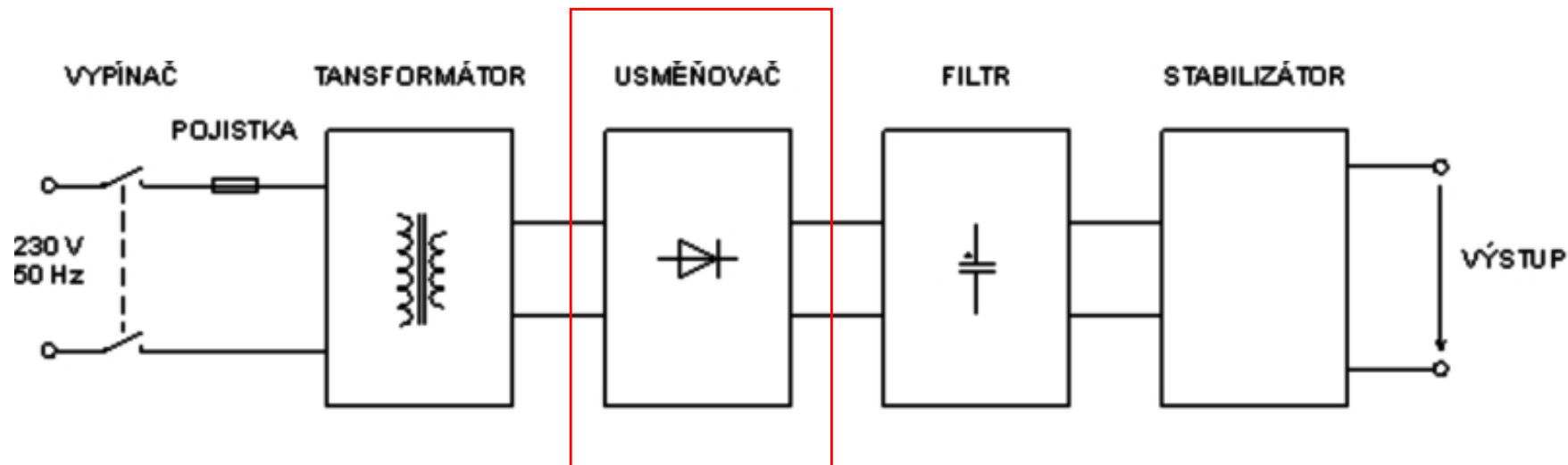


Elektronika

Přednáška č. 5 – polovodiče, diody, usměrňovače

Mgr. Pavel Černý, Ph.D.

Elektrické zdroje – blokové schéma



*Pro usměrnění proudu potřebujeme elektronický prvek,
který se bude chovat jako jednocestný ventil*

Rozdělení látek

- **VODIČE** - látky, které dobře vedou elektrický proud (např. kovy, vodné roztoky, taveniny látek).
- **NEVODIČE (IZOLANTY)** - nevedou elektrický proud, zeslabují elektrické pole (guma, plasty, dřevo).
- **POLOVODIČE** - vedou elektrický proud za určitých podmínek.

Předchůdce polovodičových součástek

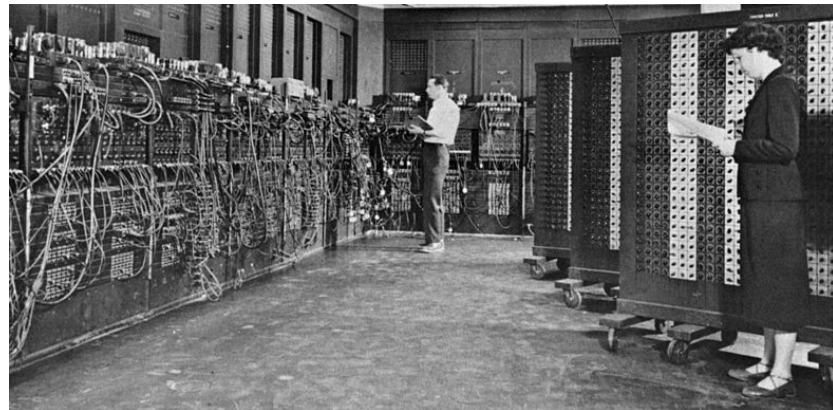
- Elektronky

- Využívá vedení elektrického proudu ve vakuu
- Obsahuje anodu, žhavenou katodu a mřížku mezi anodou a katodou
- Využití podobné jako u polovodičů: usměrňovací, zesilovací, zobrazovací (obrazovka) atd.
- Na základě elektronek byl zkonstruován i jeden z historicky prvních počítačů ENIAC



ENIAC

- Elektronkový počítač
- Vývoj zahájen v roce 1943 v Pensylvánii
- Chlazení zajišťovaly dva letecké motory
- ENIAC byl určen pro výpočty palebných tabulek pro dělostřelectvo americké armády za druhé světové války, avšak válka skončila dříve nežli mohl být stroj ve válce využit
- Proto byl použit až při vývoji jaderné termonukleární zbraně



Co jsou polovodiče?

- Jsou to pevné látky, za určitých okolností vodiče a za jiných okolností izolanty.
- Jejich vodivost je **větší** než vodivost **izolantů** a **menší** než vodivost **vodičů**.
- Mezi nejznámější polovodiče patří prvky IV. A skupiny (germanium Ge, křemík Si, selen Se), ale i některé sloučeniny např. sulfid měďný Cu_2S , galiumarsenid GaAs, sulfid kadmnatý CdS .

Jak polovodiče fungují?

- Jsou to látky, které mají tu schopnost, že se za určitých podmínek chovají buď jako:
 - Izolanty
 - Vodiče
- U polovodičů lze měnit podmínky:
 - Vnější
 - Dodáním tepelné energie
 - Dodání elektrické energie
 - Dodání světelné energie
 - vnitřní

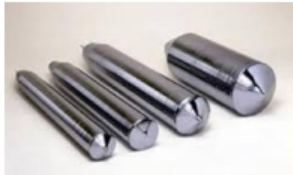
Vodivost polovodičů

- U polovodičů rozlišujeme vodivost:
 - Vlastní
 - Příměsovou
- Vlastní vodivost polovodičů:
 - Souvisí s valenční (poslední) vrstvou elektronů a jejich chováním v ní
 - Příkladem je 4-vazný **křemík**, který má 14 elektronů
 - 10 elektronů je pevně navázáno na jádro
 - 4 se nachází ve valenční vrstvě

Polovodivé vlastnosti křemíku

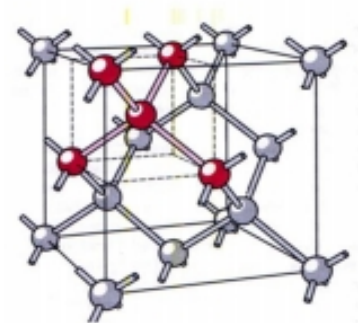
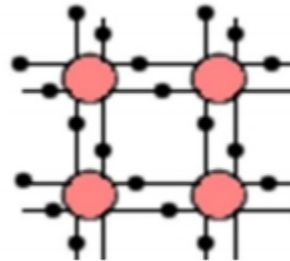
- Krátce o prvku
 - druhý nejrozšířenější prvek na Zemi,
 - základní stavební prvek zemské kůry (25,7 %),
 - v přírodě se vyskytuje ve sloučeninách, nejrozšířenější je křemen (SiO_2 – oxid křemičitý),
 - ve valenční vrstvě 4 elektrony.

Polovodičové vlastnosti křemíku objevil v 1. polovině 19. století švédský vědec J.J. Berzelius.



Polovodivé vlastnosti křemíku

- Atom křemíku má ve vnější vrstvě 4 elektrony.
- V krystalové mřížce je každý atom křemíku vázán s dalšími čtyřmi atomy křemíku pomocí těchto elektronů.
- Znamená to tedy, že neexistují volné částice (elektrony).
- Toto platí jen za velmi nízkých teplot



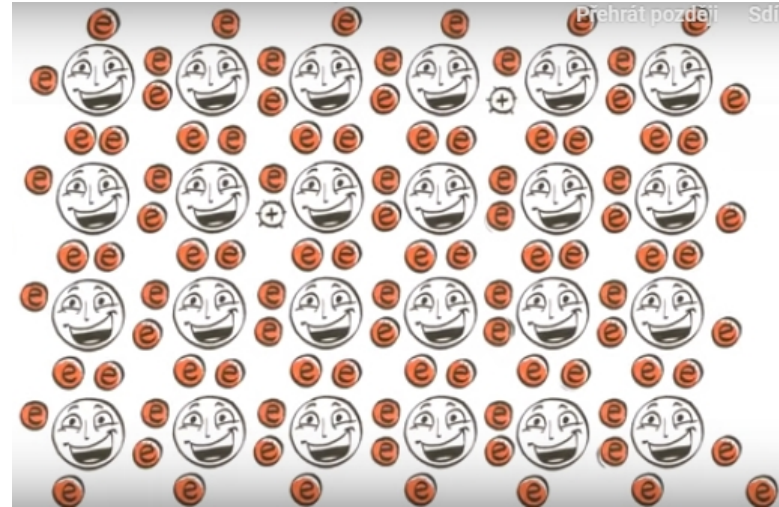
Chování křemíku

- Křemík má při nízkých teplotách vysoký elektrický odpor
 - Neobsahuje žádné volné elektrony, které by mohly vést elektrický proud
- **Při zvýšení teploty** křemíkového krystalu:
 - Elektrony ve valenční vrstvě získají energii
 - Valenční elektrony se v krystalové mřížce rozkmitají a mohou opustit své původní místo
 - -> vznikají tak volné elektrony (mohou tvořit elektrický proud)
 - Po elektronu zbývá volné místo, které představuje kladný elektrický náboj
 - Tomuto místu se říká **díra** – jedná se o fiktivní kladně nabitou částici



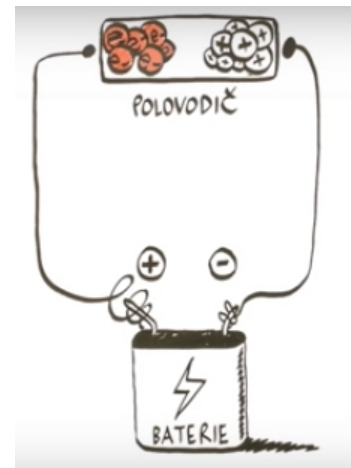
Chování děr

- Do díry může přeskočit jiný uvolněný elektron
- Na venek to vypadá, jako by se kladná díra posouvala
- Po přesutém elektronu zbyla díra jinde a do ní může přeskočit zase jiný elektron
- Setkáváním děr s elektrony dochází k zániku děr i volných elektronů – tomuto jevu se říká **rekombinace**



Jak se chová polovodič s vlastní vodivostí po připojení ke zdroji napětí?

- Volné elektrony se přesouvají ke kladnému pólu zdroje
- Díry se přesouvají k zápornému pólu zdroje
- Teče elektrický proud



Polovodiče s příměsovou vodivostí

- Na rozdíl od polovodičů s vlastní vodivostí, nejsou vodiče s příměsovou vodivostí tvořeny pouze atomy jednoho jediného prvku
- Vznikají z polovodičových prvků (třeba z křemíku)
 - Navíc je do nich přimíchán prvek jiný
 - Přitom postačuje jen velmi málo takových atomů
- Příměsí se snažíme dosáhnout, aby v polovodiči:
 - Převládł proud tvořený volnými elektrony – **vodivost typu N**
 - Převládł proud tvořený kladnými dírami – **vodivost typu P**

Vodivost typu N

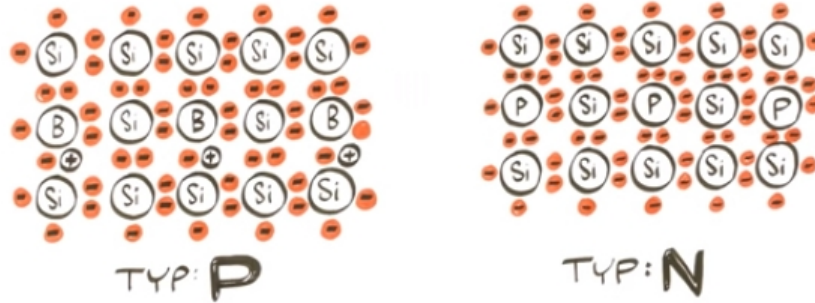
- Jako příklad ponechme křemík
- Vodivost typu N vzniká příměsí prvku, který má navíc jeden vazebný elektron – tedy 5-vazného prvku
- Příkladem může být fosfor
- Pokud je v krystalové mřížce křemíku navázán atom fosforu, nemá se pátý elektron na co navázat – zůstává volný
- Takový to příměs se nazývá **donorem** – neboli dárcem (daruje jeden volný elektron)

Vodivost typu P

- Příměs tvoří prvek, který má o jeden valenční elektron méně
- V případě křemíku to může například bór
- Bór je 3-vazný, tudíž po navázání do krystalové mřížky křemíku mu chybí jeden vazebný elektron – vzniká díra
- Takové příměsi říkáme **akceptor**

Přechod PN

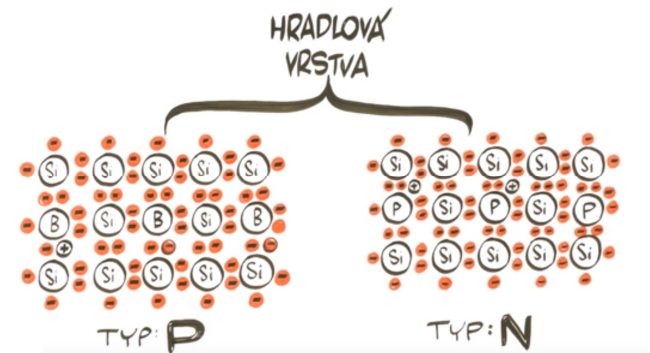
- Vznikne tak, že spojíme polovodič typu P a polovodič typu N



- Přechod vede elektrický proud pouze při přiložení napětí jedné polarity!

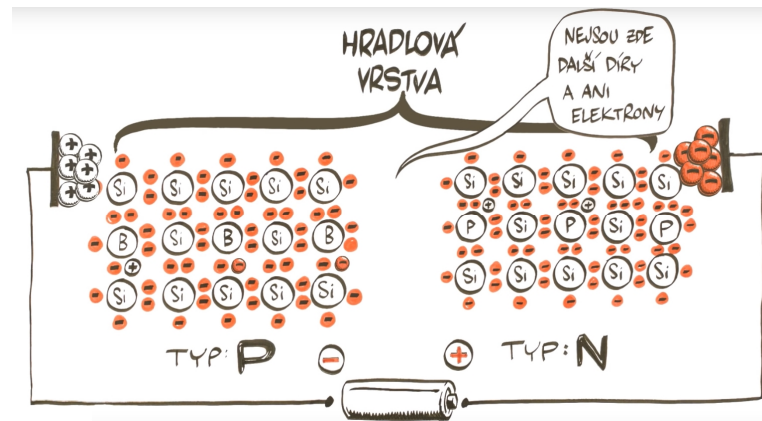
Přechod PN

- Na jedné straně máme velké množství kladných děr (oblast typu P)
- Na druhé straně máme volné záporné elektrony (oblast typu N)
- Není-li připojen zdroj napětí:
 - Volné elektrony přecházejí přes přechod do oblasti typu P a zaplňují volné díry
 - Vytvoří se tzv. hradlová vrstva v okolí přechodu, která je nevodivá
 - V hradlové vrstvě nejsou následně žádné volné elektrony ani díry



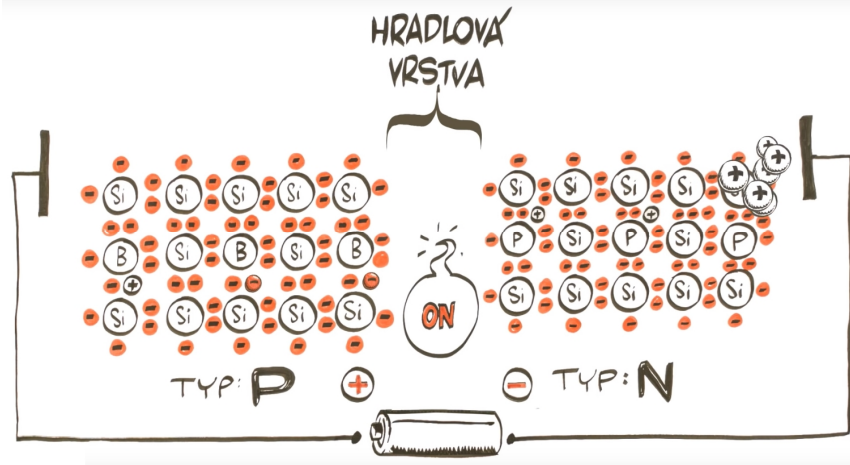
Přechod PN při přiložení vnějšího napětí

- K polovodiči P připojíme záporný pól a k polovodiči N připojíme kladný pól
 - Takto zapojený přechod je připojen v **závěrném směru**
 - Elektrony jsou přitahovány k plusovému pólu
 - Díry jsou přitahovány k minusovému pólu
 - Hradlová vrstva se ještě více rozšíří
 - Neprochází elektrický proud

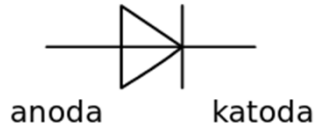


Přechod PN při přiložení vnějšího napětí

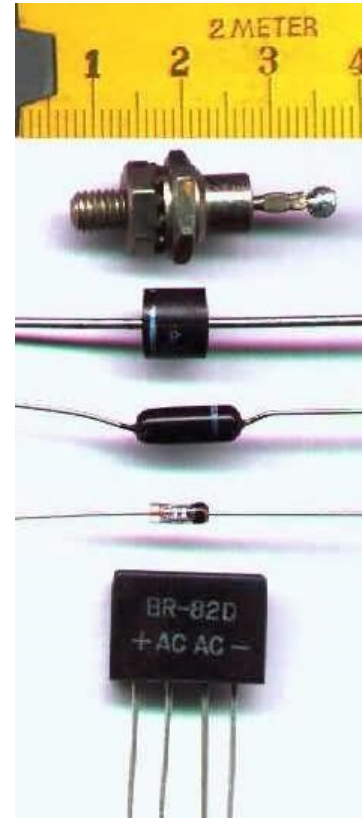
- Při přiložení napětí tak, že kladný pól je přiložen na polovodič typu P a záporný pól na polovodič typu N
 - Hovoříme o tzv. **propustném směru**
 - Hradlová vrstva se zmenší
 - Elektrony se pohybují ke kladnému pólu přes přechod PN
 - Díry se pohybují k zápornému pólu přes přechod PN
 - Přechodem PN teče elektrický proud



Dioda



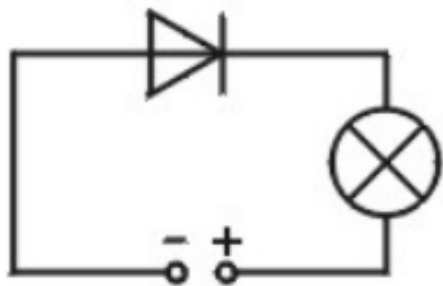
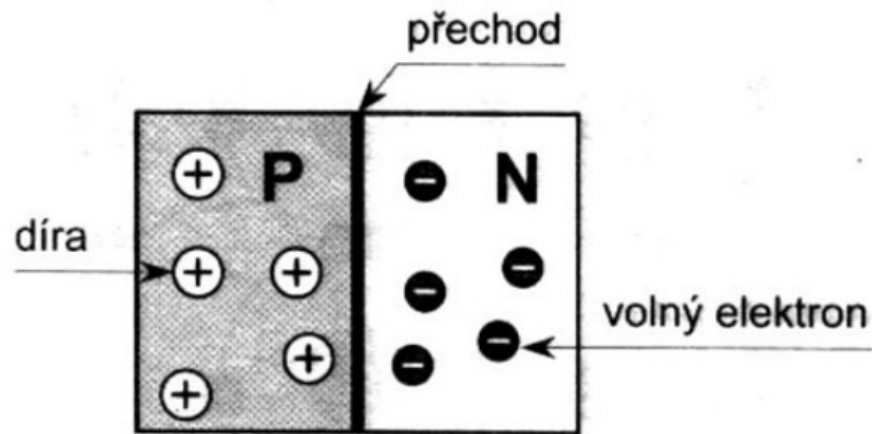
- Dioda je elektrotechnická součástka se dvěma elektrodami, označovanými jako anoda a katoda
- Vyznačuje se velmi odlišným tvarem voltampérové charakteristiky v závislosti na polaritě přiloženého napětí
- Po připojení anody na kladnější napětí nežli je na katodě, klade dioda jen malý odpor průchodu elektrického proudu (PN přechod v propustném směru)
- zatímco při opačném zapojení je dioda téměř nevodivá (přechod PN v závěrném směru)



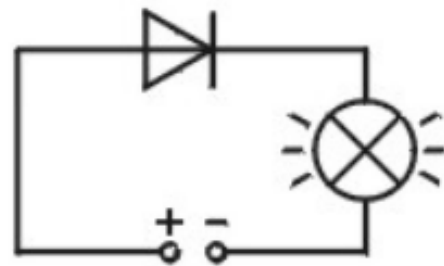
Pracovní stavy diody

- **Propustný směr** – na anodě je kladnější napětí než na katodě – dioda zpočátku, až do určitého prahového napětí téměř nevede, **pak ale začne proud se zvyšujícím se napětím prudce růst** a pokud není omezen dalšími obvodovými prvky, brzy dosáhne maximálního propustného proudu
 - pro běžnou křemíkovou diodu je to asi 0,7 V
- **Závěrný směr** – na anodě je zápornější napětí než na katodě – diodou protéká jen minimální proud prakticky bez ohledu na napětí až do dosažení závěrného napětí (*což můžou být řádově volty pro LED nebo tisíce voltů pro speciální diody*) při kterém začne proud opět prudce růst a pokud není omezen ostatními prvky obvodu dojde k **destrukci** diody

Pracovní stavy diody



Závěrný směr



Propustný směr

Stavba polovodičové diody

- Polovodičová dioda se skládá ze dvou příměsových polovodičů - jeden polovodič je typu N (katoda) a druhý polovodič je typu P (anoda)
 - Základem diody bývá křemíková nebo germaniová destička, obohacená z jedné strany o prvek s pěti valenčními elektrony (fosfor, arsen)
 - z druhé strany o prvek s třemi valenčními elektrony (bor, hliník, gallium, indium)

Použití polovodičových diod

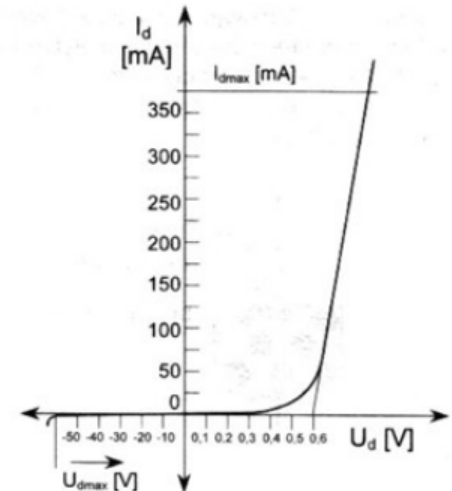
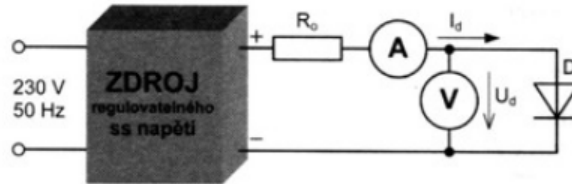
- **Usměrňovací dioda** - usměrnění střídavého proudu (samostatně nebo jako součást usměrňovače)
- **Stabilizační (Zenerova) dioda** - vyrovnávání průběhu napětí ve stabilizačních obvodech
- **LED** - signalizace průchodu proudu (s nízkým nárokem na spotřebu) nebo zdroj světla např. v optických myších
- **Fotodioda** - součást fotobuněk, polovodičových detektorů záření nebo slunečních článků

Voltampérová charakteristika

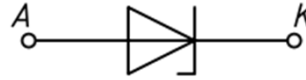
- je **závislost mezi elektrickým napětím a proudem**, případně její grafické znázornění
- U dvoupólových elektrických prvků, jako je rezistor, fotovoltaiický článek, akumulátor nebo dioda, se jedná o závislost proudu protékajícího prvkem na napětí na jeho svorkách

Voltampérová charakteristika diody

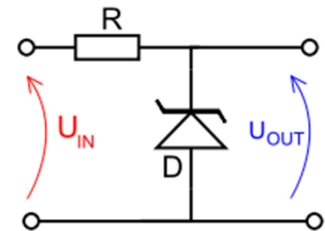
- $I_{d\max}$ – maximální dovolený proud v propustném směru
- $U_{d\max}$ – maximální závěrné napětí



Zenerova dioda

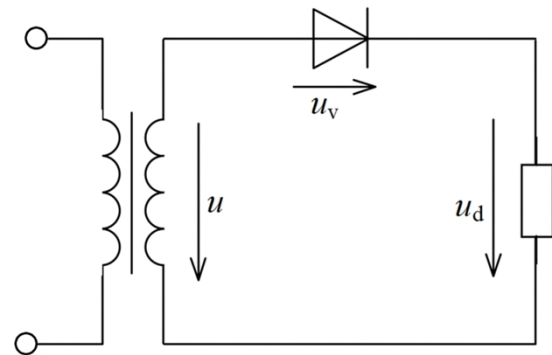
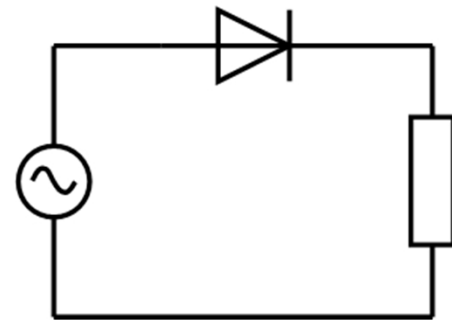
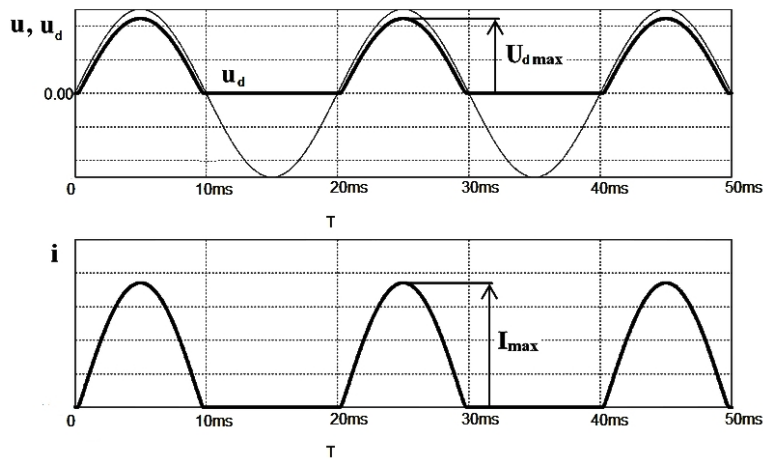


- neboli referenční dioda je polovodičová součástka s PN přechodem, která se užívá především v zapojení **ke stabilizaci napětí**
- Konstrukčně určena k zapojení v závěrném (nepropustném) směru, k čemuž je přizpůsobena tím, že **její průraz v tomto směru není destruktivní** (snese opakovaný průraz v závěrném směru)
- V propustném směru se chová jako klasická usměrňovací dioda



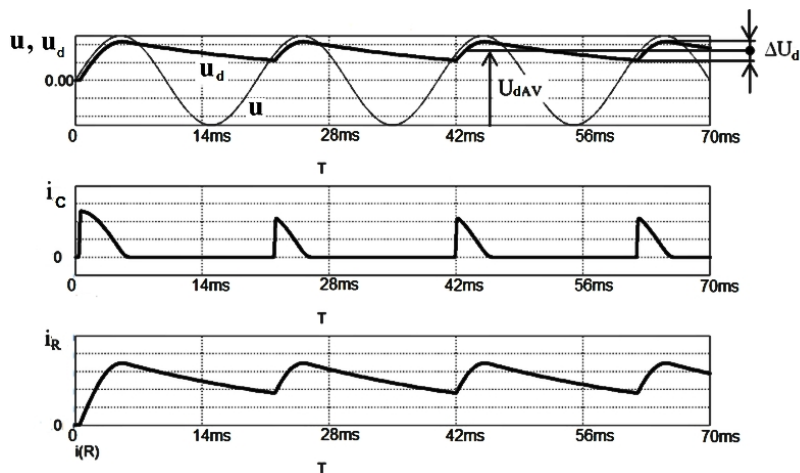
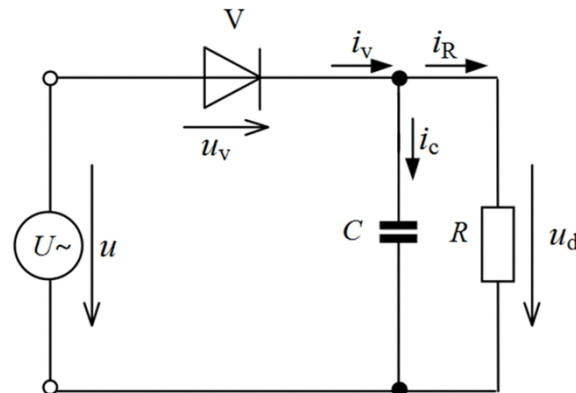
Jednocestný usměrňovač

- Je to nejjednodušší zapojení usměrňovače, kdy v sérii zátěží je zapojena jedna výkonová polovodičová součástka – **dioda**



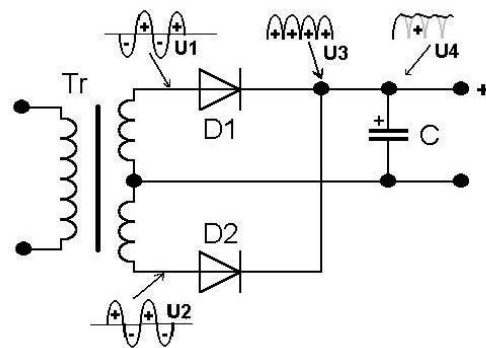
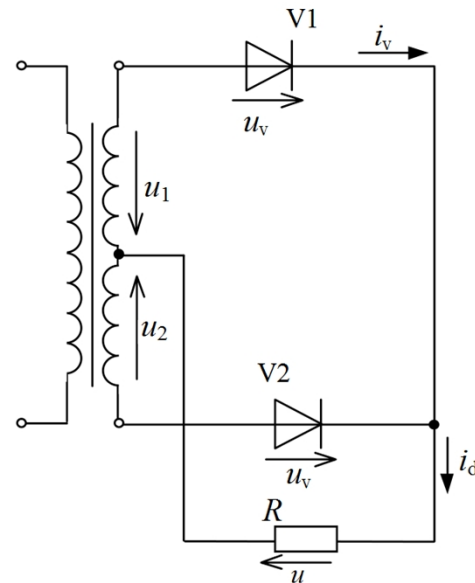
Jednocestný usměrňovač s kondenzátorem

- K vyhlazení pulzujícího průběhu usměrněného napětí se používá **kondenzátor C**, který je zapojen na výstupní straně usměrňovače, tj. paralelně k odporové zátěži R



Dvoucestný usměrňovač

- Tento druh zapojení usměrňovače se často používá pro malé výkony a malá napětí.
- Dvoucestný usměrňovač je napájen z jednofázového transformátoru, jehož sekundární vinutí je opatřeno středním vývodem (odbočkou).
- Tento vývod je připojen k jednomu přívodu zátěže a většinou se uzemňuje.
- Druhý přívod zátěže je připojen k uzlu diod.
- V tomto zapojení usměrňovače prochází proud každou polovinou sekundárního vinutí transformátoru jen po dobu jedné poloviny periody.



Dvoucestný můstkový usměrňovač

- Usměrňovač v můstkovém zapojení je v podstatě sériové spojení dvou jednocestných usměrňovačů.
- Na vstupní svorky dvou usměrňovačů, zapojených s opačnou polaritou ventilů, je přiváděno společné napájecí napětí.
- Používají se jednofázová a třífázová zapojení usměrňovačů.

