

R3.2 Polovodičové diody

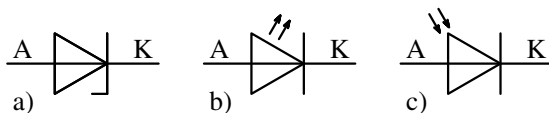
Pro praktické využití polovodičové diody jsou důležité vlastnosti přechodu PN, tenké vrstvy oddělující část krystalu polovodiče s vodivostí typu P od části, která má vodivost typu N. Vlivem difuze elektronů do oblasti s vodivostí typu P a děr do oblasti s vodivostí typu N se oblast přechodu PN ochuzuje o nosiče náboje a její odpor roste. V čl. 3.3 jsou popsány děje na přechodu při zapojení diody v propustném a závěrném (nepropustném) směru.

Při zapojení v závěrném směru, kdy je oblast P připojena k zápornému pólu zdroje, mohou procházet přechodem PN jen menšinové nosiče proudu, tzn. elektrony z oblasti P do oblasti N. Jestliže bude napětí v nepropustném směru dostatečně velké, mohou elektrony v oblasti přechodu PN získat takovou energii, že při srážkách s atomy krystalové mřížky polovodiče z ní vyraží další elektrony. Současně vznikají také díry, které se pohybují opačným směrem. Počet nosičů náboje prudce narůstá a tomu odpovídá narůstající proud v nepropustném směru. Tento děj se nazývá **lavinový jev**. Současně se přechod značně zahřívá, takže může dojít i k tepelné ionizaci atomů a dochází k nevratným změnám ve struktuře polovodiče. Po překročení mezního, tzv. *průrazného napětí* U_{BR} (viz čl. 3.3, obr. 3-17) dochází k *destruktivnímu průrazu* přechodu PN, což vede ke zničení diody.

Polovodičová dioda popsaná v čl. 3.3 se používá především k usměrňování střídavého proudu (*usměrňovací dioda*, čl. 7.8). Vlastnosti přechodu PN jsou využívány i v dalších typech diod. Jsou to např.:

1. Zenerova dioda,
2. světelná dioda (LED),
3. fotodioda, fotovoltaický článek.

Schematické značky těchto diod jsou na obr. R3-5.



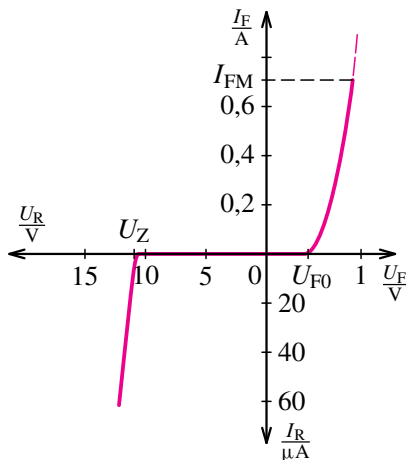
R3-5 Polovodičové diody: a) Zenerova dioda, b) světelná dioda, c) fotodioda

Zenerova dioda

Praktické využití má **Zenerův jev**, který vzniká zejména v diodách s úzkým přechodem PN ($< 0,3 \mu\text{m}$). V tomto případě má elektrické pole v oblasti

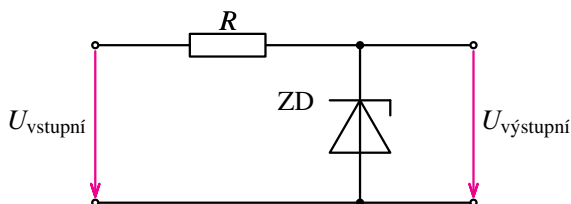
přechodu PN značnou intenzitu již při malém napětí v nepropustném směru. Vlivem elektrostatických sil dochází k ionizaci atomů v oblasti přechodu PN a ke vzniku dalších nosičů náboje.

Vodivost přechodu PN opět prudce roste, avšak dochází k *nedestruktivnímu průrazu* a po snížení napětí se činnost přechodu PN obnoví. K Zenerovu jevu dochází při překročení tzv. *Zenerova napětí* U_Z , které má např. u křemíkové diody hodnotu $U_Z > 5 \text{ V}$. Z voltampérové charakteristiky Zenerovy diody (obr. R3-6) je patrné, že po překročení tohoto napětí se proud prudce zvětšuje.



R3-6 Voltampérová charakteristika Zenerovy diody

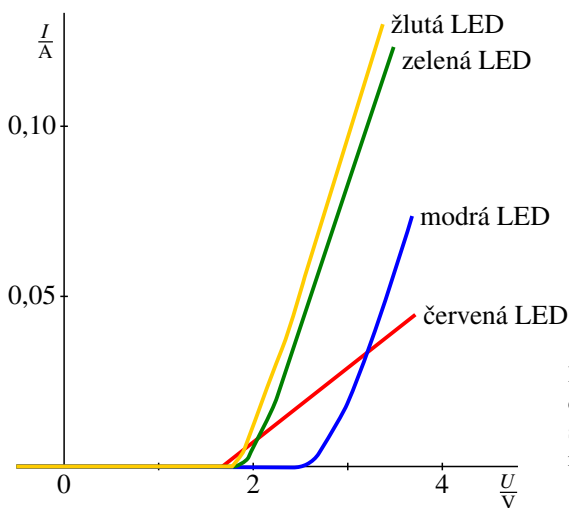
Zenerův jev se uplatňuje u speciálních tzv. Zenerových diod, které se v praxi používají v obvodech pro stabilizaci napětí. V této funkci se Zenerova dioda zapojuje do obvodu vždy v nepropustném směru (obr. R3-7), sériově s rezistorem R . Při větší změně vstupního napětí začne po překročení Zenerova napětí diodou procházet narůstající proud, vzroste napětí na rezistoru R , ale výstupní napětí se prakticky nezmění.



R3-7 Zapojení Zenerovy diody ke stabilizaci napětí

Světelná dioda – LED

Označení světelné diody LED odpovídá anglickému názvu *Light Emitting Diode*, čili světlo emitující dioda a odtud má i hovorové označení *ledka*. K výrobě světelných diod se používají různé sloučeniny gallia, např. GaP (fosfid gallitý), GaAs (arsenid gallitý) aj. Dioda se do elektrického obvodu zapojuje v propustném směru a v oblasti přechodu dochází k intenzivní rekombinaci nosičů náboje. Každá taková rekombinace je spojena s uvolněním energie, která je vyzařena v podobě světla. Barvu světla určuje materiál, z něhož je světelná dioda vyrobena. Charakteristické je, že diodou začíná procházet elektrický proud při prahovém napětí, které je tím větší, čím kratší je vlnová délka vyzařovaného světla (červené světlo má nejdelší a modré světlo nejkratší vlnovou délku, obr. R3-8). Měření charakteristiky světelné diody je obsahem videoexperimentu na CD **AV2** a laboratorního cvičení **LC5**.

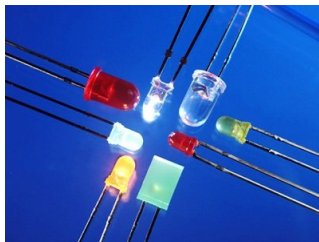


R3-8 Voltampérové charakteristiky světelných diod různých barev

Světelné diody vyzařují světlo jen určité barvy, a nelze tedy vytvořit diodu, která by vyzařovala bílé světlo, složené ze světél různých barev. Výrazným krokem ve vývoji světelných diod byla konstrukce diody vyzařující modré, popř. ultrafialové světlo s ještě kratší vlnovou délkou. S využitím těchto diod byly zkonstruovány **elektroluminiscenční diody**, v nichž se bílé světlo získává na základě elektroluminiscence vhodných látek, tzv. *luminoforů*. Dioda ozařuje modrým, popř. ultrafialovým světlem o krátké vlnové délce luminofor a ten

intenzivně září světlem o delší vlnové délce. Použitím luminoforů různého chemického složení lze získat složené světlo, které vnímáme jako bílé.

Barevné diody (obr. R3-9) se využívají především pro signalizační účely a prochází jimi malý proud (řádově mA). Poněvadž jsou zapojeny v propustném směru, musejí být vždy sériově spojeny s předřadným rezistorem takové hodnoty, aby nebyla překročena největší dovolená hodnota proudu, která bývá obvykle 5 mA až 20 mA.



R3-9 Světelné diody

Konstrukce elektroluminiscenčních diod s bílým světlem znamená zásadní zvrat ve vývoji osvětlovací techniky. V současnosti mají široké využití intenzivně zářící tzv. supersvítivé diody, které představují úsporný zdroj světla s velkou životností. Diody se obvykle sdružují do jednoho celku s různým konstrukčním uspořádáním. Příkladem může být osvětlovací zdroj označovaný jako „LED žárovka“, která ve svítidlech nahrazuje klasickou žárovku (obr. R3-10a). Perspektivní jsou pásy supersvítivých diod, které nahrazují zářivky (obr. R3-10b).



a)



b)

R3-10 Supersvítivé diody pro osvětlovací účely

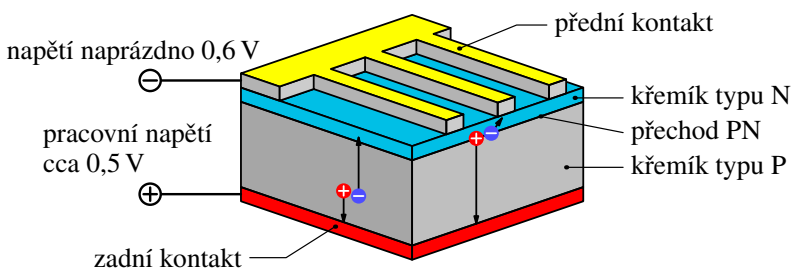
Poznámka: Za vývoj modrých světelných diod umožňujících vytvoření supersvítivých diod jako nového ekologického světelného zdroje obdrželi v roce 2014 japoňští vědci ISAMU AKASAKI, HIROŠI AMANO a SHUJI NAKAMURA Nobelovu cenu za fyziku.

Fotodioda, fotovoltaický článek

Fotodioda je polovodičová dioda konstruovaná tak, aby na přechod PN mohlo dopadat světlo. Při osvětlení se v oblasti přechodu generují elektrony a díry a zvětšuje se potenciálový rozdíl na přechodu. Fotodioda je zdrojem elektrického

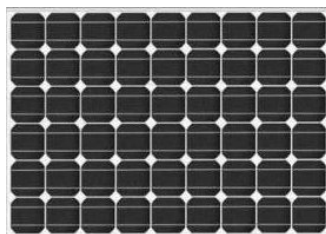
napětí, jehož velikost závisí na osvětlení diody. Jednotlivé fotodiody se uplatňují např. v měřicí a automatizační technice jako světelná čidla.

Fotovoltaický článek, nebo také *solární článek* je v podstatě velkoplošná polovodičová dioda. Aby účinnost přeměny energie světla na elektrickou energii byla dostatečná, musí být plocha přechodu PN ozařovaná světlem co největší. Struktura fotovoltaického článku je zjednodušeně znázorněna na obr. R3-11. Základem článku je vrstva polovodiče typu P vyříznutá z monokrystalu křemíku. V ní je speciální technologií vytvořena vrstva s vodivostí typu N, takže mezi oběma vrstvami vznikne přechod PN. Zadní plocha článku je spojena s kontaktní plochou, kdežto přední kontaktní vrstva má podobu mřížky. Její tvar je volen tak, aby zastiňovala jen asi 4 % až 8 % plochy a světlo mohlo pronikat k co největší ploše přechodu.



R3-11 Fotovoltaický článek

Pokud přechod PN není osvětlen, existuje v oblasti přechodu, podobně jako u polovodičové diody, elektrické pole. Oblast s vodivostí typu P má záporný potenciál a oblast s vodivostí typu N má kladný potenciál. Při osvětlení přechodu se generují páry elektron-díra a kladné díry směřují působením elektrického pole do oblasti P a elektrony do oblasti N. Dochází k rozdělení nosičů náboje tak, že zadní kontaktní plocha solárního článku má kladný potenciál, přední plocha záporný potenciál a rozdíl potenciálů odpovídá vnější napětí článku. Toto napětí je poměrně malé a u křemíku má hodnotu přibližně 0,5 V. Proto se v praxi jednotlivé články spojují sériově a paralelně do větších celků označovaných jako *fotovoltaické* nebo *solární panely* (obr. R3-12). Napětí těchto panelů bývá 12 V nebo 24 V.



R3-12 Fotovoltaický panel

Fotovoltaický článek je zdrojem stejnosměrného napětí a v této podobě se využívá např. v kalkulačkách. Pro využití v energetice je však nutné přeměnit stejnosměrné napětí solárního článku na napětí střídavé. K tomu slouží zvláštní elektronické zařízení, tzv. *střídač*, které převádí stejnosměrné napětí na střídavé napětí 230 V o frekvenci 50 Hz. To umožňuje vytvářet velké *fotovoltaické solární systémy* (obr. R3-13), které jsou připojeny do veřejné elektrické sítě. Jejich elektrický výkon je řádově 10 kW až 1 MW. Při optimálních podmínkách slunečního svitu je možné získat maximální výkon 1 kW ze solárních panelů o ploše 8 m² až 10 m².



R3-13 Fotovoltaická elektrárna

R3.3 Polem řízený tranzistor. Integrovaný obvod

Podstata tranzistoru je v čl. 3.4 vyložena na tzv. **bipolárním tranzistoru**, při jehož činnosti se uplatňují oba typy nosičů náboje – elektrony i díry. Zejména v integrovaných obvodech má uplatnění další typ – **unipolární tranzistor**. Na jeho činnosti se podílí vždy jen jeden typ nosičů náboje. Od bipolárního tranzistoru se liší především tím, že kolektorový proud není řízen vstupním proudem I_B , ale napětím. Poněvadž vstupní odpor těchto tranzistorů je veliký ($R_{vst} \rightarrow \infty$), je vstupní proud zanedbatelný a mluvíme o tranzistoru řízeném elektrickým polem. Tomu odpovídá označení unipolárního tranzistoru jako typ FET (z angl. *Field Effect Transistor*).

Existuje řada typů unipolárních tranzistorů, které se liší konstrukcí i technologií výroby. Jedním z nich je **unipolární tranzistor s indukovaným kanálem N**, jehož schéma je na obr. R3-14. V křemíkové destičce s vodivostí typu P jsou planární technologií vytvořeny dvě oblasti s vodivostí typu N. Ty tvoří kolektor C a emitor E tranzistoru. Povrch destičky je pokryt izolační