

# Vážení zákazníci,

dovolujeme si Vás upozornit, že na tuto ukázkou knihy se vztahují autorská práva, tzv. copyright.

To znamená, že ukáзка má sloužit výhradně pro osobní potřebu potenciálního kupujícího (aby čtenář viděl, jakým způsobem je titul zpracován a mohl se také podle tohoto, jako jednoho z parametrů, rozhodnout, zda titul koupí či ne).

Z toho vyplývá, že není dovoleno tuto ukázkou jakýmkoliv způsobem dále šířit, veřejně či neveřejně např. umístováním na datová média, na jiné internetové stránky (ani prostřednictvím odkazů) apod.

*redakce nakladatelství BEN – technická literatura*  
[redakce@ben.cz](mailto:redakce@ben.cz)



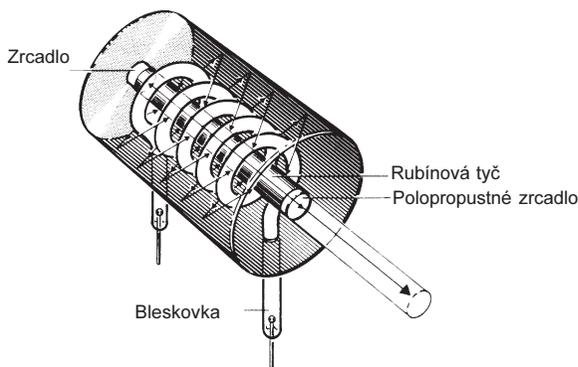
## 8. Jiné zdroje světla

Ačkoliv jsou diody LED nejčastějšími světelnými zdroji v optoelektronice, přesto nesmíme zapomenout na jiné zdroje, např. laser, plynové výbojky a žárovky.

### Laser

I když jsou laserové diody zabudovány v každém přehrávači kompaktních disků (CD) a jsou tedy vyráběny ve velkých sériích, jsou jako samostatné součástky pro experimentování zatím ještě příliš drahé. Kromě toho pracují laserové diody v přístrojích pracujících s CD jen v neviditelném infračerveném (IR) pásmu. Teprve v poslední době byly polovodičové diody vyzařující viditelné světlo dovedeny do stadia dokonalosti umožňujícího jejich sériovou výrobu.

V prvních laserech nebyly žádné polovodičové diody. Tvořila je rubínová tyč cileně znečištěná atomy chromu, jejíž konce byly s největší přesností vybroušeny do rovnoběžnosti a opatřeny zrcadlícím povlakem. Kolem této tyče byla spirálově ovinuta elektronová blesková trubice.



Obr. 8.1 Konstrukce rubínového laseru

Když došlo v trubici k bleskovému výboji, byly elektrony atomů chromu „nabity“ energií. Podstatnou vlastností chromu důležitou pro laser je, že jeho elektrony tuto energii ihned zase neodvzdávají, nýbrž až když jsou k tomu vybudeny. K tomu dojde, jakmile je takový elektron zasažen světelným paprskem určité barvy. Uchovávaná energie se uvolní ve formě světelného paprsku (stejně barvy), který může vybudit další elektrony k uvolnění jejich energie atd.: vznikají malé laviny. Mnohé zaniknou, protože světelné paprsky po stranách rubínovou tyč opustí. Jen paprsky šířící se přesně rovnoběžně s osou tyče se stále odrážejí mezi oběma zrcadlícími

rovnoběžnými konci tyče. Energie této laviny roste, až tyto paprsky nakonec jako energii nabitý záblesk laseru proniknou jedním z obou konců tyče, které ostatně zrcadlí jen z 90 %. Tak vlastně vzniká extrémně úzký svazek laserových paprsků. Obr. 8.2 ukazuje, že světelný paprsek, který nesměřuje přesně podélně, rubínovou tyč předčasně opustí.



Obr. 8.2 Paprsek nesměřující zcela ve směru osy rubínové tyče ji předčasně opustí

Další typickou vlastností světla laseru je jeho jednobarevnost (je monochromatické), tzn. že obsahuje jen jedinou barvu. To lze vysvětlit vlnovým charakterem světla. Při šíření paprsků tam a zpátky se tyto nutně překrývají. Přitom se předčasně mizí paprsky, které nemají vlnovou délku přesně zapadající do vzdálenosti mezi oběma zrcadly. Jen tato vlnová délka vede k lavinovému laserovému efektu a spolu s materiálovými vlastnostmi rubínu určuje barvu vycházejícího světla.

Existují různá provedení laseru. Liší se např. použitým materiálem. Vedle laserů z tuhých látek, jako je rubínový laser, jsou plynové a dnes i kapalné lasery. Budí-li se laser bleskovou trubicí, dostáváme laserové světlo jen po dobu krátkého záblesku (impulzní laser). Proti nim stojí trvale svítící lasery, takzvané lasery s trvalou vlnou. Naopak je možno do konstrukce laseru zabudovat optický ventil, takzvaný Kerrův článek. Ten nejdříve přeruší dráhu mezi zrcadly a tím znemožní aktivaci energie elektronů. V této době se „pumpuje“ světelná energie do laserové tyče. Když se Kerrův článek zase otevře, vytvoří se rychle mohutné laviny, které vyvolají mimořádně silný impuls světla o trvání 5–50 ns (nanosekund, tedy miliardtin sekundy).

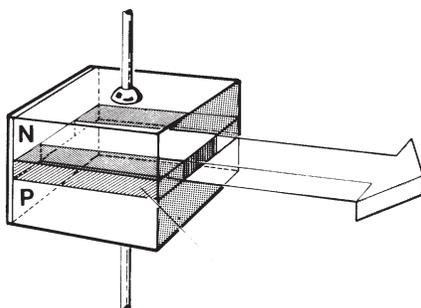
Ještě pár poznámek: intenzita ozáření laserem je  $10^6$ – $10^{12}$  W/cm<sup>2</sup>. Na první pohled se to zdá gigantické ( $10^{12}$  W = 1 TW [terawatt] = 1 milion MW). Protože ale díky extrémnímu soustředění svazku činí plocha jeho průniku a tedy i osvětlená plocha řádově čtvereční mikrometry – tj. stomiliontiny čtverečního centimetru, pohybuje se celkový výkon kolem  $10^{-2}$  až  $10^4$  W. Rovněž může takový úzký svazek laserového světla zničit sítnici oka, když na ni dopadne. Při manipulaci se zaostřenými laserovými paprsky se musí používat speciální ochranné brýle.

## Laserová dioda

V podstatě na stejném principu, ale se zcela jinými materiály pracují polovodičové lasery. Přitom se vlastně jedná o diody LED, jejichž polovodičový přechod je tak utvořen a opatřen zrcadlicími konci, že dochází k laserovému efektu.

Laserové diody vydávají světlo obsahující méně energie a jejich paprsky nejsou soustředěny do tak úzkého svazku jako u výše popsanych laserů. Naproti tomu jsou

malé a jednoduše provozovatelné a především se dá intenzita jejich světla regulovat: je přímo úměrná proudu laseru. Z tohoto důvodu se laserové diody hodí především k optoelektronickému přenosu signálů světlovody. Bez velkých nákladů se dají přenášené signály modulovat a jejich světlo zavádět do optického vlákna. Zatímco první laserové diody pracovaly jen v pásmu infračerveného světla, jsou dnes k dispozici i typy s viditelným světlem. Prahové napětí činí 2–3 V. Účinnost laserových diod je poměrně nízká, to znamená, že většina nashromážděné elektrické energie se uvolní ve formě tepla. Proto musejí být laserové diody dobře chlazeny.

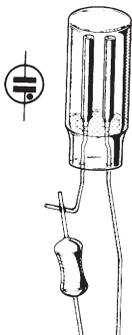


Obr. 8.3 Laserová dioda. Její přechod PN je utvořen tak, že nastává laserový efekt

## Výbojky plněné plynem

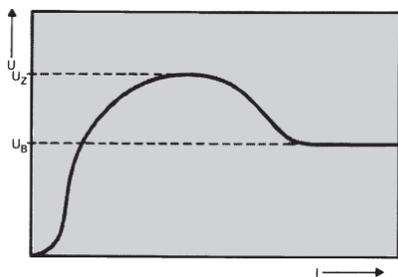
Ačkoliv jejich technika je již poměrně stará, získávají plynové výbojky v poslední době opět významné postavení. Pojem označující tento druh světelných zdrojů zní dnes značně zastarale, ale přesto odkazuje na funkční princip velké skupiny těchto zdrojů: v plynu se vybijí elektrická energie a uvolňuje se ve formě světla. Nejjednodušší plynová výbojka, doutnavka, kterou je osazena zkoušečka napětí, neobsahuje nic více než dvě elektrody a plynovou náplň neonu nebo helia.

Vzácné plyny jsou vlastně izolátory. Avšak působením okolního tepla, kosmického a radioaktivního záření stejně jako elektromagnetických vln v nich stále vznikají jednotlivé nabitě („izolované“) atomy plynu. Tyto vlivy z nich uvolňují jednotlivé elektrony. Přiloží-li se na elektrody napětí, uvedou se ionizované atomy a volné elektrony do pohybu směrem k elektrodě s opačnou polaritou, tedy kladné atomy plynu k záporné elektrodě a elektrony ke kladné elektrodě. Na této cestě se srážejí s jinými atomy, které tím rovněž ionizují a tím uvádějí do pohybu, zkrátka plynem začne protékat proud. Při kolizích se uvolňuje energie, která je pozorovatelná jako světlo. Je to přeměněná elektrická energie pocházející ze zdroje napětí připojeného na elektrody.



Obr. 8.4 Doutnavka

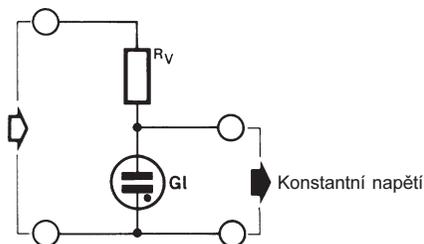
Zajímavá je proudově-napěťová charakteristika doutnavého výboje. Vykazuje pozoruhodný hrb, což znamená, že doutnavkou teče určitý stejný proud při dvou různých napětích. Jak si to máme představit?



Obr. 8.5 Charakteristika  $U/I$  doutnavky. Zapalovací napětí je vyšší než napětí stabilizovaného výboje

Doutnavky vždy pracují s předřadným odporem. Připojí-li se sériově zapojení ke zdroji napětí, proud a napětí nejprve roste, až se dosáhne zapalovacího napětí (vrchol křivky). Doutnavka se rozsvítí. Přitom proud dále roste, avšak napětí klesá, protože energie pohybujících se nábojů rozněcuje ionizaci. Ve stabilním aktivním stavu je na doutnavce napětí výboje. Zajímavý je plochý konec křivky. Napětí je zde konstantní, ačkoliv proud se změní o dvě desítky procent. To je vlastně funkce stabilizátoru napětí. De facto je doutnavka, ať v podobě lampičky nebo větší trubičky, do jisté míry Zenerovou diodou v elektronkové (od slova elektronka, nikoliv elektron!) technice.

Odpor zachycuje napěťový rozdíl mezi napájecím a stabilizovaným napětím. Musí být dimenzován tak, aby jednak mohl doutnavkou protékat dostatečný proud a jednak nekleslo při plném zatížení připojeným spotřebičem napětí výboje, protože by doutnavka zhasla.

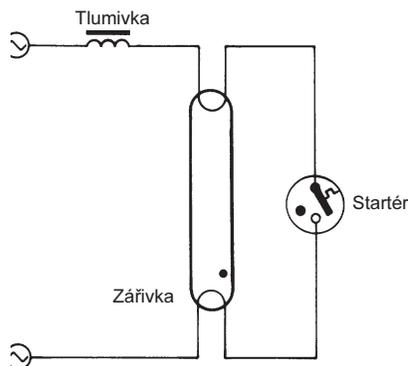


Obr. 8.6 K získání stabilizovaného napětí se napájejí doutnavková trubice přes odpor. Na jejich elektrodách je konstantní napětí výboje

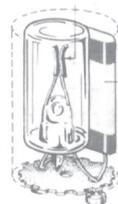
Také prvky přepětové ochrany jsou stavěny na bázi doutnavky: překročí-li napětí na jejich elektrodách určitou hodnotu, plyn se „zapálí“ a napětí již dále nestoupá. Svodiče přepětí jsou nabízeny pro celou řadu aplikací přepětové ochrany.

Elektrické vlastnosti doutnavek, stejně jako barva jejich zásvětí závisí hlavně na složení plynové náplně. Zatímco neon světélkuje načervenalé, helium doutná spíše žlutě.

Pro osvětlení místností a ulic je k dispozici celá řada rozmanitých plynových výbojek. V pouličních svítlnách se používají většinou monochromatické (jednobarevné) žlutě svítící a velmi účinné nízkotlaké výbojky plněné sodíkovými párami nebo vysokotlaké výbojky plněné rtuť s modrobílým světlem. Protože tyto páry se samy o sobě nezapálí, přimíchává se k nim vzácný plyn, ve kterém dojde po zapnutí k doutnavému výboji, který se po krátké zahřívací době přenesou na páry kovu. Během této krátké doby vidíme např. sodíkovou výbojku svítit tmavě červeně namísto žlutě. Sodíkové výbojky mají nejvyšší světelnou účinnost (zisk světla z určitého množství energie) a ve žlutém světle vidí lidské oko velmi ostře. Avšak kvůli jednobarevnosti není možné rozeznávání barev. Z tohoto důvodu se doposud v pouličním osvětlení výrazně prosazovaly i rtuťové výbojky.



Doutnavkový zapalovač



Odrušovací kondenzátor

Doutnavkový startér

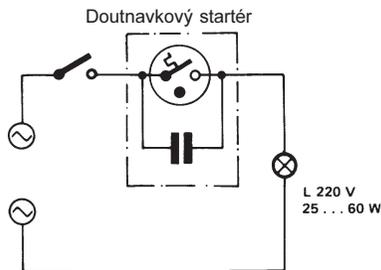
Obr. 8.7 Startér a jeho cívka vyrábějí impulzní napětí, které převyšuje zapalovací napětí

U zářivek a úsporných žárovek (kompaktní výbojky) se jedná o nízkotlaké lampy plněné rtuťovými párami. V porovnání s žárovkami spotřebovávají o 80 % méně proudu a jejich životnost asi 8000 hodin je zhruba osmkrát vyšší. Jejich plynová směs vyzařuje ultrafialové světlo, které by stěží bylo vidět, kdyby na stěnách trubice nebyl nanesen transmitter, tedy látka, která mění ultrafialové světlo na světlo viditelné. Té se říká luminiscenční látka neboli luminofor. Také zářivky mají na své proudově-napěťové charakteristice hrb, který je nutno při startu překonat. Vrchol hrbu, tedy zapalovací napětí, je vyšší než amplituda síťového střídavého napětí.

Tento problém se řeší tlumivkou a startérem. Startér je doutnavka s bimetalovými elektrodami. Zapaluje se po zapnutí svítidla. Teplo „doutnajících“ plynů ohýbá bimetalové elektrody, až se zkratují. V tom okamžiku se síťové napětí objeví na tlumivce, tzn. vysokoindukční cívce, a topných drátech elektrod trubice. Protékající proud nyní nabíjí energii tlumivku a zahřívá elektrody. Bimetalové elektrody startéru se po krátké ochlazovací době rozeznou, proud tlumivkou zanikne a to vyvolá impulz napětí o velké amplitudě převyšující zapalovací napětí a plyn v zářivce se zapálí. Za provozu pak tlumivka plní úlohu předřadného odporu, neboť její indukčnost představuje pro střídavý proud odpor.

Funkci startéru je možno prokázat malým pokusem, ve kterém se startér použije jinak, než je obvyklé. Obvod tvoří sériové zapojení startéru a žárovky 25–60 W. Tento pokus je třeba realizovat s dobře izolovanými měřicími šňůrami a laboratorními svorkami, nikoliv s levnými tenkými zkoušecími šňůrami s krokodylký. K tomuto pokusu je nezbytné přistupovat velmi opatrně, protože při něm pracujete s plným síťovým napětím; nejprve propojte obvod do definitivního stavu a teprve pak připojte síťové napětí. Po zapnutí se rozsvítí doutnavka startéru. Její plynová náplň se zahřívá, až se sepnou kontaktní elektrody. Nyní je pod plným síťovým napětím žárovka, která proto svítí. Krátce nato se kontakty startéru opět rozeznou a celý proces se opakuje – žárovka tedy bliká.

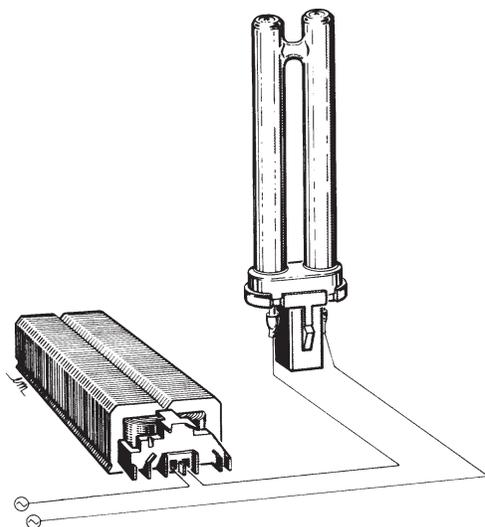
Zářivky mají značně vyšší účinnost než žárovky. Zatímco běžné žárovky pro domácnost vyzařují asi 10 lm/W – lumen na watt je světelný tok získaný z 1 watu elektrické energie, krátce světelná účinnost, zacházejí zářivky při své účinnosti



Obr. 8.8 Startér zářivky jednou trochu jinak: jako blikáč žárovky

nad 50 lm/W s elektrickou energií mnohem šetrněji. Moderní energeticky úsporné žárovky jsou vlastně rovněž zářivky. Jejich trubice je kratší a byl pro ně vyvinut povlak luminiscenční látkou s příjemnější barvou světla. Startér byl do nich integrován, u některých typů i tlumivka. Tyto zářivky je možno našroubovat do obyčejné objímky místo běžné žárovky. Ovšem z ekologického hlediska je tento typ problematický.

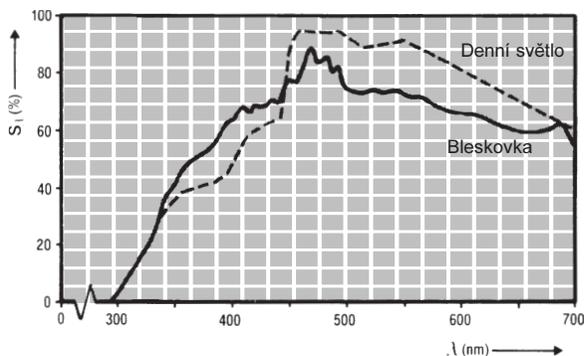
Po konečném opotřebení tělesa zářivky – a i při její dlouhé životnosti k tomu jednou dojde – se nám nabídne neporušená tlumivka. Kdo rád kutí, může učinit z nouze ctnost: tlumivku vymontovat a zapojit ji do série s úspornou žárovkou bez zabudované tlumivky. Pro tento typ zářivek je zapotřebí speciální patice, která je však k dostání. Příkony staré a nové zářivky by se měly shodovat.



*Obr. 8.9 Stará předřadná tlumivka se jednoduše zapojí do série s novou úspornou žárovkou*

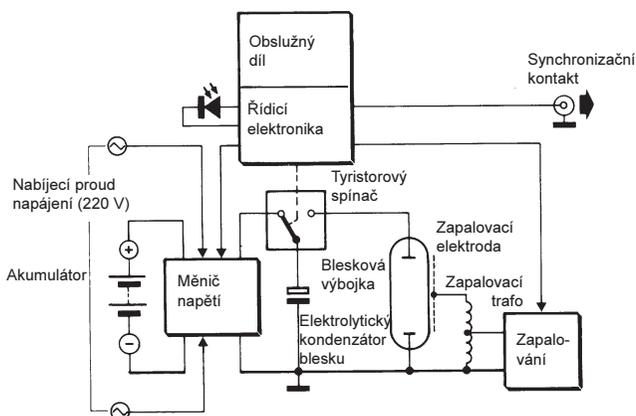
Protože zářivky obsahují rtuť (která je tekutá), neměli bychom ji, když se pokazí, jednoduše rozbít nebo vyhodit do domovního odpadu, nýbrž odevzdat jako zvláštní odpad. V mnohých obchodech, kde zářivky prodávají, berou staré zpět.

Fotografické blesky jsou vybaveny xenonovými zábleskovými výbojkami, které jsou také druhem lamp s výbojem v plynu. Vzácný plyn je pod vysokým tlakem. V přístroji jsou zapojeny paralelně k vysokokapacitnímu elektrolytickému kondenzátoru, který se před zábleskem nabije na 300 V nebo více. Výbojka se zapálí vysokonapětovým impulzem na zapalovací elektrodě. Přitom teče z kondenzátoru krátký, ale velmi vysoký špičkový proud. Díky němu vykazuje světelný záblesk rozdělení barev, které se velmi blíží spektru denního světla.



Obr. 8.10 Porovnání spekter xenonové bleskovky a slunečního světla

Zapojení blesku obsahuje vedle bleskovky a napájecího dílu – v podstatě akumulátoru a napěťového měniče – zapalovací část s malým vysokonapěťovým transformátorem a řídicí elektroniku, která během doby, kdy výbojka svítí, fotodiodou měří světlo odražené od předmětu, na který bylo zaměřeno, a přeruší proud výbojkou, jakmile byl film dostatečně osvětlen.



Obr. 8.11 Principiální zapojení elektronického blesku

Výkon, přesněji maximální intenzita světla elektronického blesku, je vyjádřena směrným číslem. Směrné číslo, např. „32 při 21 DIN“, není žádnou fyzikálně definovanou mírou (jednotkou v soustavě SI), nýbrž vyplynula z fotografické praxe: čím více jsou objekty vzdáleny od aparátu, tím méně světla na ně z blesku dopadá a tím více musí být clona fotoaparátu otevřena (nejmenší číslo clony!) – jednoduše: