

Světelné zdroje – kompaktní zářivky

Ing. Vladimír Dvořáček, S Lamp s. r. o. Panenské Břežany

V širokém sortimentu světelných zdrojů dlouhou dobu citelně chyběly typy, které by se svým světelným tokem, geometrickými parametry a kvalitou podání barev blížily obyčejným žárovkám o příkonu 25 až 200 W (jejichž světelný tok při životě 1 000 h leží v rozmezí 230 až 3 200 lm) a zároveň by při konkurenceschopné ceně měly v porovnání s nimi podstatně větší účinnost a delší život. Toto místo začaly postupně zaplňovat kompaktní zářivky, jejichž světelný tok se pohybuje v požadovaném rozsahu, při měrném výkonu 50 až 80 lm/W (v porovnání s 9 až 15 lm/W u žárovek) a podstatně delším životem (pět- až dvacetkrát delším než život žárovek). Zvláště zajímavé jsou kompaktní zářivky s integrovaným elektronickým předřadníkem a klasickou závitovou patičí. Jejich rozvoj je nebyvale dynamický, neustále je rozšiřován jejich sortiment, zmenšovány jejich vnější rozměry, zvyšována jejich účinnost a prodlužován život při současném nezanedbatelném snižování jejich ceny.

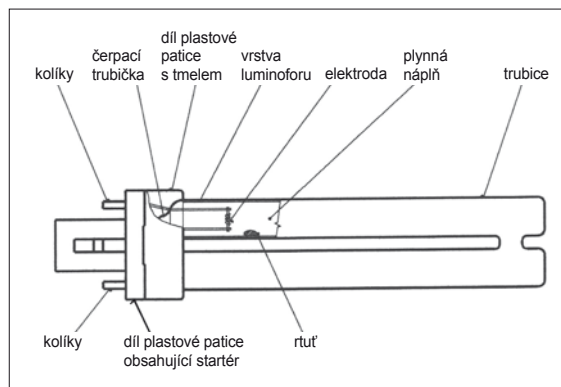
Fyzikální princip činnosti

Kompaktní zářivky je obdobný jako u lineárních zářivek, tj. jde o nízkotlakou rtuťovou výbojku, v níž je hlavní část světla vyzařována vrstvou luminoforu buzeného ultrafialovým zářením výboje. Konstrukční odlišnosti lze vysvětlit na příkladu čtyřnásobné zářivky (obr. 1), která patří k nejrozšířenějším typům této skupiny.

Významným konstrukčním znakem je provedení s jednou patičí a malé obrysové rozměry, jichž je dosahováno účelným složením výbojové dráhy do dvou, čtyř, šesti, osmi, nebo dokonce i více paralelně umístěných, avšak elektricky vzájemně sériově propojených trubice tak, že vytvářejí jeden společný výbojový prostor. Lze najít i další konfigurace výbojové trubice, např. vycházející ze základního polotovaru ve tvaru písmene U, který je následně spojován do složených tvarů 2U, 3U, 4U. Časté jsou rovněž zářivky s výbojovou trubicí v podobě různých šroubovic i jiných složitějších a technologicky značně náročných tvarů.

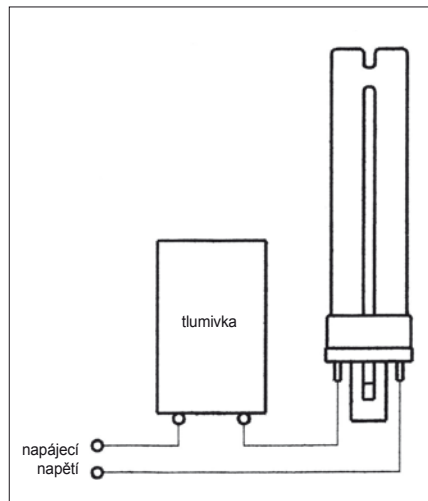
Vlastní výbojová trubice – na obou koncích opatřená wolframovými elektrodami pokrytými emisní hmotou – je zhotovena z měkkého olovnatého skla. Někteří výrobci však již používají sklo speciálního složení, které neobsahuje eko-

logicky nežádoucí olovo. Na vnitřní stěně trubice je nanesena vrstva tvořená směsí dvou (zeleného a červeného – u teplejších barev) nebo tří (zeleného, červeného a modrého – u barev s vyšší teplotou chromatičnosti) tzv. úzkopásmových luminoforů na bázi prvků vzácných zemin, jejichž výrazné maximum záření je v červené, zelené, popř. modré oblasti viditelného spektra. Výboj svítí ve směsi par



Obr. 1. Konstrukce kompaktní zářivky se zabudovaným doutnavkovým startérem a patičí G24-d

rtuti a vzácného plynu (např. argonu). Rtuť je do zářivky dávkována v čisté formě nebo, u předních výrobců, ve formě amalgámu vhodného kovu (např. india). Tím je zajištěn širší teplotní interval, v němž světelný tok dosahuje požadované hodnoty. (Platí obdobná závislost jako u lineárních zářivek – viz obr. 3 v [1].) Aby byla co nejvíce zkrácena doba dosažení jmenovitých hodnot, je u těchto zářiv-



Obr. 2. Schéma zapojení kompaktní zářivky se zabudovaným doutnavkovým startérem

vek použít ještě přídatný amalgám (např. kadmia), který přebírá funkci zdroje rtuti ihned po zapnutí do doby, než se rtuť uvolní ze základního amalgámu. Konce výbojové trubice jsou opatřeny příslušnou patičí. Celý sortiment kompaktních zářivek je vyráběn v základních odstínech bílé barvy, charakterizovaných náhradní teplotou chromatičnosti (T_{cp}) 2 700, 3 000, 4 000 a 6 500 K. Číselné označování kompaktních zářivek podle jakosti podání barev a barevného tónu světla je shodné jako u lineárních zářivek (viz [1]). Zajímavé z hlediska uživatele je umístění výbojové trubice zářivek s malými příkony (do max. 23 W) do přídatné vnější baňky různého tvaru (hruškový, kulový, svíčkový, hříbkový apod.) s rozptýlnou vrstvou, anebo do vnějšího integrovaného reflektoru. Základním důvodem tohoto uspořádání je co nejvíce ji přiblížit obrysovými rozměry i křivkou rozložení svítivosti obyčejným

matovaným, reflektorovým, popř. dekoracním žárovkám. Toto řešení se v současnosti uplatňuje výhradně u kompaktních zářivek s integrovaným elektronickým předřadníkem.

Kompaktní zářivky lze z hlediska pracovního obvodu rozdělit do těchto dvou hlavních skupin:

- zářivky s vnějším předřadníkem,
- zářivky s elektronickým integrovaným předřadníkem.

Zářivky s vnějším předřadníkem

tj. s tlumivkou nebo elektronickým předřadníkem pracujícím na vysoké frekvenci (30 až 40 kHz). Kompaktní zářivky určené pro provoz s tlumivkou jsou opatřeny dvoukolíkovou patičí (G23, G24d-1, 2, 3, GX24d-1, 2, 3), v níž je obvykle zabudován doutnavkový startér, jehož funkce je obdobná jako u startéru lineárních zářivek. Schéma zapojení pro jednu zářivku je uvedeno na obr. 2. Vyskytují se rovněž obvody, v nichž jsou dvě zářivky s příkonem 5, 7 nebo 9 W zapojeny do série s jednou tlumivkou. Jde o tzv. tandemové zapojení, které však vykazuje menší spolehlivost. Zářivky určené pro provoz s vnějším elektronickým předřadníkem mají čtyřkolíkovou patiči (např. 2G7,

2G11, G24q-1, 2, 3, GX24q-1, 2, 3, 4, 5, 6 apod.). Předřadník pracuje na vysoké frekvenci, a zajišťuje tak zlepšené parametry osvětlení pracovní plochy a zvyšuje zrakovou pohodu. Všechny tyto zářivky vyžadují i odpovídající konstrukci svítidla, odlišnou od svítidel určených pro obyčejné žárovky. Při ukončení života zářivky postačí vyměnit pouze zářivku, což kompenzuje vyšší pořizovací cenu svítidla.

Zářivky s elektronickým integrovaným předřadníkem

jsou určeny do žárovkových svítidel jako přímá a energeticky úspornější náhrada žárovky. Jsou opatřeny patičí E14, E27, popř. B22, nejnovější je řešení s patičí G28d. Předřadný obvod je umístěn v plastovém krytu, nedílné součásti zdroje. Významný pokrok v oblasti miniaturizace a spolehlivosti součástkové základny při současném snížení její ceny poskytl možnost vytvořit předřadníky s velmi kompaktními rozměry. Ty, ve spojení s vhod-

sledujícího důvodu. Při výměně žárovky za zářivku v některých typech svítidel, jejichž světelně činná část byla konstruována pro žárovku, dochází na pracovní ploše k nežádoucímu snížení hladiny osvětlení, vyplývající ze změny rozložení svítivosti svítidla v souvislosti s nevhodným typem

Komplikovanější technologie s využitím vhodných amalgámů eliminuje negativní vliv teploty okolí na světelnotechnické parametry. Velmi důležitá je i konstrukce elektronického předřadníku, a to jak z hlediska použité součástkové základny, tak především z hlediska zajištění přízni-

Tab. 1. Elektrické a světelnotechnické parametry základních druhů kompaktních zářivek

Provedení výbojového prostoru	Jmenovitý příkon (W)	Měrný výkon (lm/W)	Typ patice a předřadníku
dvojitě	5, 7, 9, 11	50 až 82	patice G23, zabudovaný doutnavkový startér, tlumivka
dvojitě	5, 7, 9, 11	50 až 82	patice 2G7, vnější elektronický předřadník
dvojitě	18, 24, 36, 40, 55, 80	67 až 87	patice 2G11, vnější elektronický předřadník
čtyřnásobné	10, 13, 18, 26	50 až 70	patice G24d-1, 2, 3 zabudovaný doutnavkový startér, tlumivka
čtyřnásobné	10, 13, 18, 26	50 až 70	patice G24q-1, 2, 3, vnější elektronický předřadník
šestinásobné	13, 18, 26	70	patice GX24d-1, 2, 3, zabudovaný doutnavkový startér, tlumivka
šestinásobné	13, 18, 26, 32, 42, 57, 70	70 až 76	patice GX24q-1, 2, 3, 4, 5, 6, vnější elektronický předřadník
čtyřnásobné	3, 5, 7, 8, 11	33 až 60	patice E14, integrovaný elektronický předřadník
čtyřnásobné (do 11 W)	5, 7, 8, 11, 12, 14	48 až 65	patice E27, integrovaný elektronický předřadník
šestinásobné (od 15W)	15, 16, 20, 23		
čtyřnásobné (7 W)	7	51 až 57	patice G28d, integrovaný elektronický předřadník
šestinásobné (11 W)	11	60	

Poznámka k tabulce: Se stejnými geometrickými a elektrickými parametry, jako mají kompaktní zářivky s příkony 7 až 11 W, se vyrábějí rovněž speciální nízkotlaké výbojky s trubici z uviolového skla, propouštějícího záření v UV-C oblasti. Tyto výbojky, tzv. germicidní, nemají luminofor a jsou zdrojem UV záření s vlnovou délkou 253,7 nm. Používají se k dezinfekci vody, vzduchu, pracovních ploch ve farmaceutickém průmyslu, dále k mazání paměti v elektrotechnice aj. Obdobně se vyrábějí i kompaktní výbojky s trubici z černého skla pokrytého luminoforem, které jsou zdrojem UV záření s vlnovou délkou 350 až 400 nm. Používají se při luminiscenční analýze materiálů, v bankovníctví, v poštovním provozu, v kriminalistice apod. Kompaktní zářivky se speciálním luminoforem s maximem záření v modré oblasti spektra se používají v lékařství při léčení novorozenecké žloutenky. Podobně jako u lineárních zářivek, objevily se i zde kompaktní zářivky typu Skywhite s vysokými hodnotami náhradní teploty chromatičnosti (8 000 K), jež jsou určeny do provozů s nedostatkem denního světla.

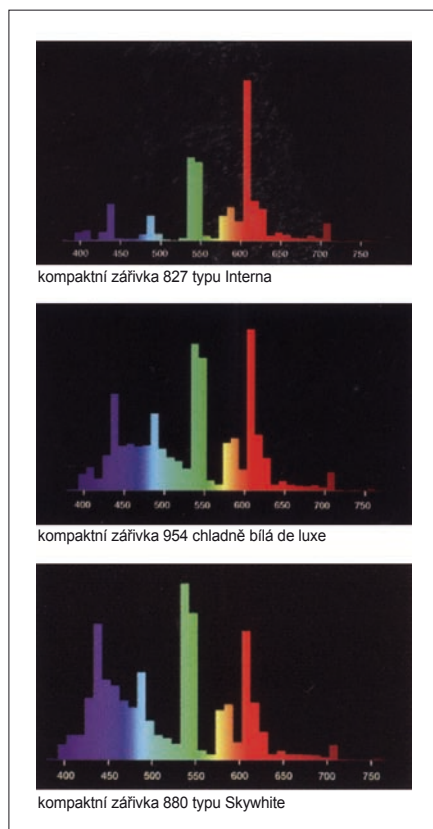
zvolené kompaktní zářivky. Instalování kompaktní zářivky staršího typu, obvykle s větší celkovou délkou, v takových případech nepřináší žádoucí efekt snížení spotřeby energie. Nejnovější typy těchto kompaktních zářivek, zejména renomovaných výrobců, však již lze provozovat v žárovkových svítidlech bez podstatného ovlivnění podmínek osvětlenosti na pracovní ploše, při výrazné úspoře elektrické energie. Dosažené úspory, při podstatně delším životě zářivky, plně kompenzují zvýšené náklady na její pořízení již při první výměně žárovky. Nicméně v této souvislosti je nutné věnovat pozornost i té skutečnosti, že na trhu se objevuje velké množství různých typů zářivek od neznámých výrobců, které sice mají atraktivní ceny, ale i tomu odpovídající nízkou kvalitou. K dosažení vysoké účinnosti a dostatečného života je totiž nezbytné mít k dispozici kvalitní technologii, používat špičkové luminofovy, vhodnou sklovinu, přesnou geometrii trubice a kvalitní emisní hmoty.

vých podmínek při zápalu zářivky. U jednoduchých, a tedy i levných obvodů (a to i při použití kvalitních součástek) zpravidla dochází ke studenému zápalu s negativním vlivem na život zářivky, zejména při častějším zapínání. Správně nastavený startovací režim má příznivý vliv na život zářivky, a ani častější zapínání její život znatelně neovlivňuje. Proto při nákupu kompaktní zářivky pouze podle zdánlivě přitažlivé ceny a bez respektování dalších důležitých okolností je možné zažít nepříjemné zklamání.

Sortiment kompaktních zářivek je velmi bohatý a soustavně je dále rozšiřován o nové typy z hlediska příkonu, tvaru výbojového prostoru, provedení patice, geometrických parametrů apod. Orientační členění je uvedeno v tab. 1.

Hlavní přednosti kompaktních zářivek:

- první skupina výbojových světelných zdrojů, která se svým světelným to-



Obr. 3. Poměrné spektrální složení záření vybraných typů kompaktních zářivek podle katalogu Osram v závislosti na vlnové délce v nanometrech

ně tvarovanou trubicí, popř. s využitím nové patice a objímky již vzpomínaného typu G28d, umožňují splnit důležitý požadavek: dodržet obrysově parametry příslušného typu žárovky. Konfigurace svítící části zářivky je totiž důležitá z ná-

kem, geometrickými parametry a kvalitou podání barev blíží obyčejným žárovkám v základní příkonové řadě 15 až 200 W (jde o typy s integrovaným elektronickým předřadníkem),

- vysoká účinnost přeměny elektrické energie na světelnou, dosahující u typů s vnějším elektronickým předřadníkem až 87 lm/W, což v porovnání s měrným výkonem odpovídající žárovky znamená téměř 80% úsporu elektrické energie,
- velmi dobré podání barev charakterizované R_a převyšujícím hodnotu 80, u speciálních typů až 90,
- rozšířený interval provozních teplot (-10 až +70 °C) při využití vhodných amalgámů; úbytek světelného toku při mezních teplotách nepřevyšuje 20 % jmenovité hodnoty,
- úplný sortiment základních odstínů bílé barvy, charakterizovaných náhradní teplotou chromatičnosti 2 700 až 6 500 K (poměrné spektrální složení kompaktních zářivek je obdobné jako u lineárních zářivek příslušného typu – viz [1]; na obr. 3 jsou uvedeny ještě některé další typy, které v citovaném článku nebyly reprodukovány),
- dlouhý život, dosahující u významných výrobců až 20 tisíc hodin,
- možnost provozu se stmívači (a to jak zářivek s příslušným vnějším elektronickým předřadníkem, tak i u některých nejnovějších typů zářivek s integrovaným elektronickým předřadníkem) nebo se zabudovanými senzory, které automaticky reagují na okolní světelné podmínky, resp. na přítomnost lidí v místnosti; takový provoz dále spoří elektrickou energii,
- kompaktní zářivky s integrovaným elektronickým předřadníkem pracují ve vysokofrekvenčním režimu, se všemi z něho vyplývajícími výhodami (téměř okamžitý start – do 1 s – bez bližší a stabilní provoz bez mihání, potlačení stroboskopického jevu),
- vysoce produktivní výrobní linky s kapacitou až 4 000 ks/h,
- trvale se zdokonalující součástková základna, pozitivně ovlivňující spolehlivost, rozměry a cenu elektronických předřadníků,
- velmi nízký obsah rtuti (u výrobků renomovaných firem).

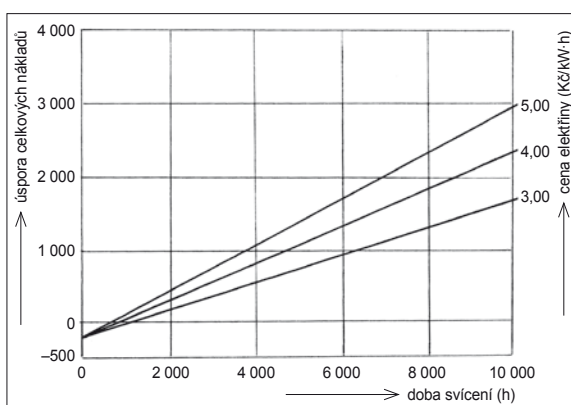
Hlavní nedostatky kompaktních zářivek

- jsou obdobné jako u lineárních zářivek:
- závislost světelných parametrů na teplotě okolního prostředí (viz [1]),

- vliv četnosti zapínání na jejich život, obsah toxické rtuti (byť významní výrobci snížili její množství na technologicky nejnужnější úroveň – na 2 mg),
- omezená horní hranice příkonu vyplývající z možnosti nízkotlakého výboje.

Zjednodušená ekonomická rozvaha

Snaha výrobců kompaktních zářivek s integrovaným elektronickým předřadníkem co nejvíce se přiblížit parametrům běžných žárovek z hlediska jejich použitelnosti v žárovkových svítidlech je v poslední době korunována úspěchem: uvedením na trh výrobků, jejichž obrysové rozměry, tvar svítícího tělesa, křivka rozložení svítivosti zdroje a typ patice jsou velmi blízké žárovkám s matovanou baňkou. Z obr. 4 lze stanovit možné úspory celkových nákladů na osvětlení při přímé náhradě žárovky v existujícím svítidle kompaktní zářivkou s odpovídajícím světelným tokem. S ohledem na velmi široký sortiment kompaktních zářivek je zde zvolen typický příklad náhrady žárovky o příkonu 100 W kompaktní zářivkou 20 W s blízkým světelným tokem, při ceně žárovky 10 Kč (v průběhu života uvažované kompaktní zářivky se tedy spotře-



Obr. 4. Výše úspor celkových nákladů na osvětlení při náhradě běžných žárovek odpovídajícím typem kompaktní zářivky v závislosti na době svícení a ceně elektrické energie

buje osm běžných žárovek, tj. pořizovací náklady na žárovku činí 80 Kč), ceně kompaktní zářivky s integrovaným elektronickým předřadníkem 300 Kč (život žárovky 1 000 h, život zářivky 8 000 h) a při různé ceně elektrické energie (3 až 5 Kč/kWh). Pro výpočet byly tedy použity poměrně drahé, nicméně velmi kvalitní zářivky, přičemž u předních výrobců uvádějí život až 16 000 h budou dosažené výsledky ještě lepší (v pořizovacích nákladech se v takovém případě objeví cena šestnácti žárovek).

Z výše uvedeného vyplývá, že při uvažovaných cenových relacích, tj. i při poměrně drahé kompaktní zářivce a při současné ceně elektrické energie, se náklady

na výměnu vracejí v podstatě již v průběhu života první žárovky, dále jsou již zaznamenávány pouze úspory.

Použití levnějších kompaktních zářivek sice zdánlivě zlepšuje hospodárnost výměny, je však nutné počítat s jejich kratším životem, popř. větším úbytkem světelného toku v průběhu svícení; lze očekávat i výraznější, a tedy méně příznivý vliv okolní teploty na účinnost zářivky.

S ohledem na velmi široký sortiment kompaktních zářivek s velmi dobrými technickými parametry je možné v každém konkrétním případě najít ekvivalentní náhradu za žárovku, a dosáhnout tak významných úspor nákladů na provoz osvětlovací soustavy.

Velmi sofistikované řešení vedoucí k dalšímu zmenšení celkové délky kompaktní zářivky s integrovaným předřadníkem je výsledkem spolupráce významných výrobců ve svém oboru: firmy Osram v oblasti světelných zdrojů a firmy BJB v oblasti objímek. Spočívá v použití zcela nové kombinace patice G28d a jí odpovídající objímky, již je vybaveno svítidlo. Délka sestavy zářivka + objímka je o 21,5 mm kratší než analogická sestava s paticí a objímkou E27. Na celkovém zkrácení se tedy podílí nejen zářivka, ale i objímka. Dvoukolíková patice G28d je zhotovena z plastu a připomíná systém používaný v zářivkových svítidlech u doutnavkového startéru. První typy kompaktních zářivek s touto paticí, s vnější rozptylnou baňkou ve tvaru svíčky a koule nebo bez vnější baňky mají příkon 7 W nebo 11 W v provedení bez vnější baňky. Nová objímka je navržena tak, aby výrobcům žárovkových svítidel umožnila je snadno rekonstruovat bez podstatné změny jejich velikosti. Dále je zdůrazňována i zvýšená spolehlivost spojení patice-objímka, snadnější umístění zářivky do objímky a zvýšená ochrana proti nebezpečnému dotyku. Zavedení tohoto systému v dalších typech je otázkou krátké doby. Kompaktní zářivky s paticí G28d mají velkou naději se v nejbližší budoucnosti prosadit v osvětlovací praxi místo zářivek s paticemi E27, E14 nebo B22.

Toto řešení bylo poprvé předvedeno na letošním veletrhu light+building ve Frankfurtu nad Mohanem, který tradičně představuje nejnovější úspěchy všech významných světově technických firem.

Literatura:

- [1] DVOŘÁČEK, V.: *Světelné zdroje – Lineární zářivky*. Světlo, 2008, č. 2, s. 56.
- [2] Katalog Osram GmbH 2008/2009.

Recenze: prof. Ing. Jiří Habel, DrSc.