

Světelné zdroje – halogenové žárovky

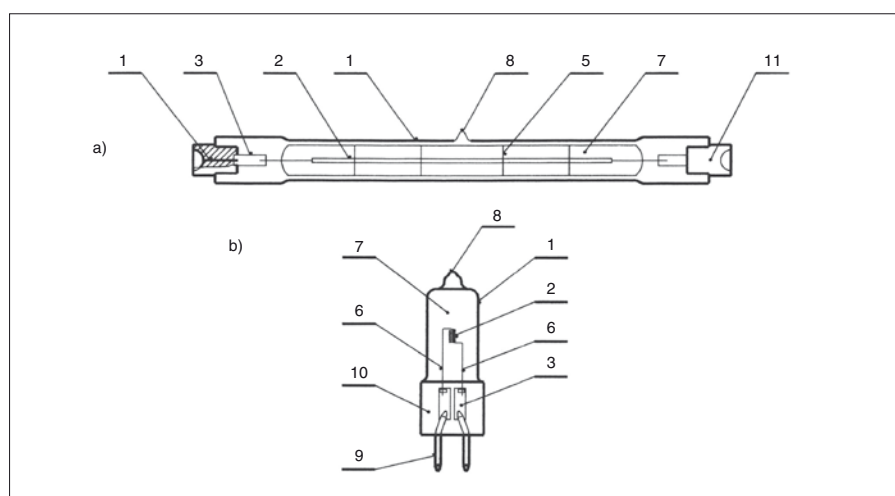
Ing. Vladimír Dvořáček, S Lamp s. r. o., Panenské Břežany

Halogenové žárovky jsou žárovky plněné plynem s příměsí halogenů nebo jejich sloučenin. Představují novou generaci teplotních světelných zdrojů. Obvyčejné žárovky z hlediska svých technických parametrů a užitných vlastností dosáhly již v třicátých letech minulého století své

vyšší mechanickou pevností a teplotní odolností. Díky tomu se výrazně zmenšily rozměry žárovky. Použití skla se zvýšenou mechanickou pevností umožnilo zvýšit pracovní tlak plynné náplně, což má velmi příznivý vliv na snížení rychlosti vy-

nitel teplotní roztažnosti křemene a molybdenu. Důležitou podmínkou dosažení stanoveného života žárovky je taková konstrukce svítidla, aby teplota v místě spojení vnějšího přívodu s fólií nepřesáhla 350 °C. V opačném případě molybden oxiduje, což je doprovázeno zvětšením objemu příslušného oxidu; to vede k mechanickému porušení stisku, a tím i ke znehodnocení pracovního prostředí v žárovce. Plynnou náplň tvoří inertní plyn (obvykle krypton a xenon nebo směs těchto plynů, u žárovek na napětí vyšší než 12 V, u nichž vzniká v důsledku konstrukčního uspořádání velký gradient elektrického pole, se přidává ještě dusík, který obdobně jako u obvyklých žárovek snižuje pravděpodobnost vzniku výboje mezi závity vlákna, popř. dalšími kovovými částmi vnitřního systému žárovky) a sloučenina obsahující halogen (např. metyljodid CH_3I , metylenbromid CH_2Br_2 a další). Díky používané technice plnění vzácného plynu do žárovky (pomocí tekutého dusíku) dosahuje jeho pracovní tlak ve vypnutém stavu hodnoty několika barů, která se během svícení ještě příslušně zvyšuje. To snižuje rychlost vypařování wolframu z vlákna, což velmi příznivě ovlivňuje život žárovek. Naproti tomu však může v ojedinělých případech žárovka explodovat, a mohou být tudíž ohroženy osoby v bezprostředním okolí. Proto je nutné takové žárovky provozovat ve svítidlech s přídatným ochranným krytem. Mnoho typů halogenových žárovek, zejména od vyspělých výrobců, však lze provozovat i v otevřených svítidlech, což je zpravidla uvedeno v katalogu nebo v průvodní dokumentaci k žárovce. Z hlediska praxe je důležité ještě poznamenat, že není žádoucí dotýkat se žárovky s baňkou z křemenného skla holými prsty. Látky obsažené v potu totiž v místě dotyku po rozsvícení vyvolávají reakci způsobující krystalizaci křemene, povrch matný, zvyšuje se jeho teplota a může dojít až k porušení vakuové těsnosti žárovky. Při náhodném dotyku se doporučuje otřít povrch skleněné části žárovky hadříkem namočeným v lihu.

Jestliže v obvyklých žárovkách bylo dominujícím procesem vypařování wolframu na stěnách baňky, v halogenových žárovkách se k tomuto proce-



Obr. 1. Konstrukce halogenové žárovky

a – dvoustisková žárovka, b – jednostisková žárovka

1 – baňka, 2 – wolframové vlákno, 3 – molybdenová fólie, 4 – molybdenový přívod, 5 – podpěrka, 6 – konečky vlákna, 7 – plynná náplň, 8 – odpalek čerpací trubičky, 9 – kolík, 10 – stisk, 11 – keramická patice

ho maxima a jejich další vývoj směřoval spíše k rozšiřování sortimentu ve smyslu zvýšení estetických účinků osvětlení, k využití různých módních tvarů baňek, různých barevných odstínů jejich pokrytí apod. Teprve v roce 1959 se objevily první informace o žárovkách, do jejichž plynné náplně se přidával jod, přičemž cílem bylo potlačit usazování wolframu na baňce, zvýšit stabilitu světelného toku během svícení, a prodloužit tak jejich užitečný život. Uplatnění halogenů ve světelných zdrojích a dosažení očekávaných příznivých výsledků si vyžádalo velkého úsilí výzkumných pracovníků a vyvolalo podstatné změny v konstrukci žárovek. Bylo nezbytné vyloučit všechny konstrukční materiály, které by mohly reagovat s halogeny. Bylo zapotřebí přejít na teplotně i mechanicky odolnější materiály používané na výrobu baňky, aby bylo možné zajistit její minimální pracovní teplotu 250 °C. Namísto měkké skloviny běžné u obvyklých žárovek se začalo použí-

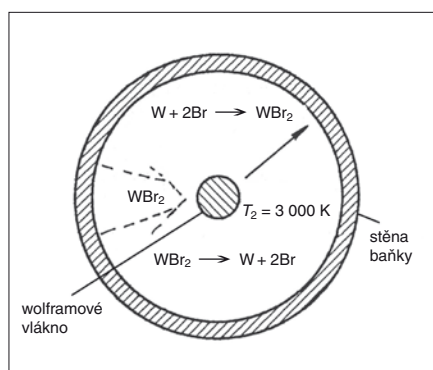
vat křemenné nebo tvrdé sklo s podstatně vyšší mechanickou pevností a teplotní odolností. Díky tomu se výrazně zmenšily rozměry žárovky. Použití skla se zvýšenou mechanickou pevností umožnilo zvýšit pracovní tlak plynné náplně, což má velmi příznivý vliv na snížení rychlosti vy-

Konstrukce

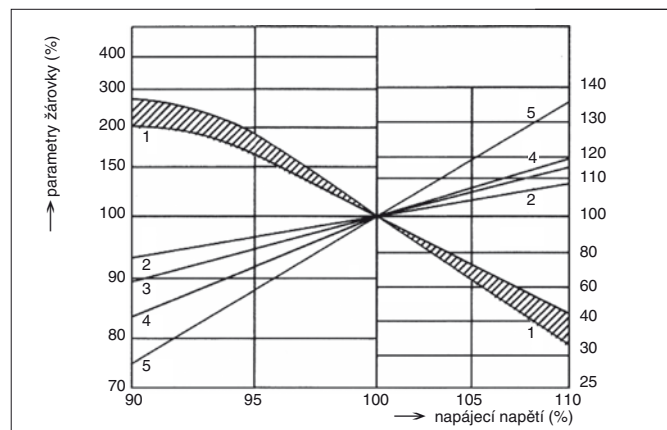
Konstrukce halogenových žárovek je ukázána na obr. 1. Baňka žárovky je vyrobena z křemenného skla, ze skloviny typu „vycor“ (sklo s vysokým obsahem oxidu křemičitého vyrobené originálními technologiemi), anebo z tvrdého skla (u žárovek s menšími příkony). Vlákno představuje jednoduše nebo dvojitě svinutou šroubovici z wolframového drátu se speciálními vlastnostmi, jež jsou nezbytné pro použití v halogenových žárovkách. U lineárních žárovek je vlákno fixováno v ose trubice wolframovými podpěrkami. Vakuový zátav je buď drátový (do tvrdého skla) nebo s použitím molybdenové fólie (do křemenného skla a do vycoru). Použití tenké fólie se specifickým průřezem je nezbytné z důvodu rozdílného či-

su přidává působení termochemické transportní reakce wolframu s halogenem. Velmi zjednodušený model reakce je na obr. 2.

Wolframové vlákno je umístěno v ose válcové baňky. Baňka je naplněna směsí inertního plynu a sloučenin halogenu. Wolfram vypařující se z vlákna, jehož teplota dosahuje přibližně 3 000 K, se v blízkosti baňky při teplotě pod 1 700 K slučuje s halogenem (v obr. 1 jde o brom Br) na příslušný halogenid wolframu (WBr_2). Ten v důsledku gradientu koncentrace difunduje plynným prostředím zpět k vláknu, kde se při teplotě převyšující 1 700 K rozpadá na wolfram a volný halogen. Uvolněný halogen se opět účastní reakce, zatímco atomy wolframu zvyšují tlak



Obr. 2. Zjednodušené schéma halogenového cyklu (schematický řez lineární halogenovou žárovkou)



Obr. 3. Závislost základních parametrů halogenové žárovky na napětí sítě
1 - život,
2 - proud,
3 - měrný výkon,
4 - příkon,
5 - světelný tok

wolframových par v těsné blízkosti vlákna, a omezují tak jeho vypařování. Existence tohoto uzavřeného cyklu je základním předpokladem dosažení žádoucích parametrů žárovky. Výsledkem je čistá baňka, na níž se v průběhu svícení neusazuje wolfram, a delší život vlákna, a tedy i celé žárovky. Samozřejmou podmínkou je ovšem dokonalé zvládnutí postupu přípravy vstupních polotovarů a materiálů a dodržení všech zásad předepsaných technologickými postupy výroby světelných zdrojů. Mechanismus ukončení činnosti halogenové žárovky je však obdobný

jako u obyčejné žárovky. Vypařený wolfram se nakonec usazuje na nejněchladnějších místech vlákna, kam je transportní reakcí přenesen, a vlákno se opět přepálí na nejteplejším místě, avšak za podstatně delší dobu. Celkový efekt wolfram-halogenového cyklu u žárovky představuje při 30% zvýšení světelného toku přibližně dvojnásobný život. U celého – dnes již velmi širokého – sortimentu halogenových žárovek jsou využívány jak možnosti maximálně prodloužit život při zachování měrného výkonu (žárovky určené pro všeobecné osvětlení s životem 4 000 až 5 000 h), tak možnosti maximálně zvýšit měrný výkon na úkor života (žárovky pro fotografické účely s měrným výkonem až 35 lm/W, ale životem pouze 15 h). Spektrální složení světla halogenových žárovek je obdobné jako u žárovek obyčejných, avšak s ohledem na zpravidla vyšší teplotu vlákna je průběh charakteristické křivky strmější [1] a maximální intenzita vyzařování je posunuta směrem k menším vlnovým délkám – světlo je bělejší.

Pro praxi je užitečná informace o vlivu četnosti zapínání žárovky na její život. Ačkoliv přesné, statisticky spolehlivé údaje je velmi obtížné získat, lze konstatovat, že časté zapínání žárovek na plné napětí, zvláště ke konci života, vede k dřívějšímu přepálení vlákna v porovnání s režimem obvykle používaným při zkouškách života podle platných norem. Wolfram při svícení postupně rekrysta-

lizuje a stává se křehkým. Dilatační šok z náhlého zvýšení teploty v zeslabeném rekrystalizovaném místě je obvyklou příčinou přepálení vlákna, jehož pravděpodobnost s počtem zapnutí roste. Z tohoto hlediska je šetrnější režim v obvodech umožňujících stmívání, kdy se žárovka rozsvítí při menším napětí a teprve jeho plynulým zvyšováním dosáhne plné hodnoty světelného toku.

Díky vhodným geometrickým parametrům halogenových žárovek byla s úspěchem použita náročná technika interferenčních vrstev nanesených přímo na

vnější baňku, které propouštějí viditelné světlo a odrážejí infračervené záření zpět na vlákno, a zlepšují tak jeho energetickou bilanci. Výsledkem je při zachování života vyšší měrný výkon anebo při zachování světelného toku a života výrazné snížení příkonu (u některých typů lineárních žárovek více než o třetinu). Obdobné vrstvy, avšak s jinými odraznými vlastnostmi se nanášejí i na reflektory, které u tzv. bodových zdrojů jsou neoddělitelnou součástí žárovky. Složitá soustava vrstev odráží viditelné světlo směrem k osvětlovanému předmětu a propouští infračervené záření do prostoru za reflektor, které tak nezatěžuje osvětlovaný předmět teplem. V odborné literatuře jsou tyto reflektorové žárovky nazývány žárovkami se studeným nebo dichroickým zrcadlem. Další informace lze nalézt např. v [2].

Hlavní přednosti

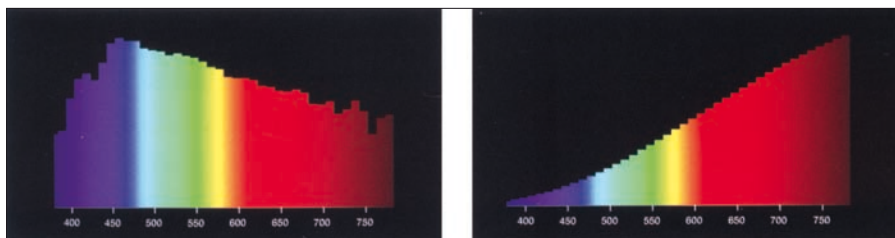
K výhodám halogenových žárovek – vedle těch, které již byly uvedeny u obyčejných žárovek (tj. především spojitě spektrum, vynikající podání barev charakterizované všeobecným indexem podání barev $R_a = 100$ a okamžitý start [1]) – patří:

- příjemné bílé světlo s vyšší teplotou chromatičnosti 2 900 až 3 100 K, u speciálních typů až 3 400 K (přitom však život klesá na 15 h),
- lepší stabilita světelného toku a teploty chromatičnosti v průběhu svícení; úbytek světla během života zpravidla nepřevyšuje 5 % počáteční hodnoty,
- vyšší účinnost přeměny elektrické energie na světelnou při stejném životě,
- delší život při stejném měrném výkonu,
- kompaktní rozměry žárovky, umožňující konstruovat menší a materiálově úspornější svítidla (např. ve světlometech automobilů) při jejich vyšší účinnosti,
- koncentrované svítící těleso, umožňující snadněji a přesněji přerazdělávat světelný tok optikou svítidla,
- možnost využití vynikající selektivní vlastnosti tenkých vrstev nanášených na baňku žárovky, zvyšující hospodárnost jejího provozu až o 35 %,
- možnost využití obdobné vrstvy (byť s jinými odraznými vlastnostmi) u speciálních reflektorů integrovaných se žárovkou na usměrnění viditelného světla na osvětlovaný předmět bez jeho tepelné zátěže anebo na vytváření zajímavých světelných efektů,
- existence vysoce výkonných automatických výrobních linek, např. na výrobu lineárních žárovek, žárovek na malé napětí nebo žárovek pro automobily aj.

Hlavní nedostatky

K nevýhodám halogenových žárovek patří podstatně náročnější technologie výroby, zejména u žárovek s nízkým příkonem – pod 100 W na síťové napětí,

- vyšší cena,
- u žárovek na malé napětí je nutné používat konvenční nebo elektronický transformátor,
- značná závislost jejich parametrů na napájecím napětí (viz obr. 3) i omezenější možnost stmívání – při dlouhodobějším provozu při výrazně nižším napětí již neprobíhá halogenový cyklus a baňka ztmavne.



Obr. 4. Poměrné spektrální složení denního světla a halogenové žárovky

Sortiment

Sortiment halogenových žárovek je velmi široký. Pro použití ve všeobecném osvětlení jej lze rozdělit do několika charakteristických skupin:

- lineární žárovky dlouhoživotnostní, dvoustiskové, na síťové napětí (život 2 000 h, měrný výkon 14 až 24 lm/W, rozsah příkonů 60 až 2 000 W);
- žárovky jednostiskové na malé napětí 6, 12 a 24 V (život až 3 000 h, měrný výkon 12 až 22 lm/W, rozsah příkonů 5 až 150 W). U vybraného sortimentu využívajícího reflexní vrstvy na baňce je u příkonové řady 25 až 65 W a při životě 4 000 h dosažováno účinnosti dokonce 20 až 26 lm/W;
- žárovky jednostiskové s integrovaným reflektorem se studeným zrcadlem (nebo hliníkovým reflektorem) na malé napětí 6, 12 a 24 V (průměrný život 4 000 až 5 000 h, úhly poloviční svítivosti 8° až 60°, osová svítivost až 16 kcd podle šířky světelného svazku, rozsah příkonů 20 až 75 W);
- žárovky s malým příkonem (již od 25 W) na síťové napětí zabudované do vnější baňky různých tvarů (svíčkové, kroucené, válcové aj.), s patičí E14, E27, G9, GZ10 aj. (průměrný život 2 000 h, měrný výkon 12 až 17 lm/W, rozsah příkonů 20 až 150 W). Tyto žárovky jsou však technologicky velmi náročné vzhledem k velmi tenkým wolframovým drátům, z nichž je zhotoveno poměrně dlouhé svítící vlákno. Ze světelnotechnického hlediska jsou zajímavé zejména žárovky s reflekt-

rovou baňkou, které podstatně zjednodušují konstrukci, snižují cenu svítidla a umožňují usměrnit světelný tok na osvětlovanou plochu;

- žárovky s malým příkonem (v současné době 18 až 105 W) na síťové napětí, s patičí E14 nebo E27, s integrovaným elektronickým transformátorem a vnější baňkou (čirou nebo matovou) rozměrově a tvarově shodnou s baňkou obyčejných nebo svíčkových žárovek (obr. 5). Jako světelný zdroj je použita miniaturní halogenová žárovka na malé napětí, jejíž technologie výroby je podstatně jednodušší a levnější než výroba žárovek uvedených

- část sortimentu se vyrábí v tzv. provedení UV-stop. Vnější baňka těchto žárovek je vyrobena buď z tvrdého skla (které díky svému u složení nepropouští UV záření) anebo z křemenného skla se speciálními přísadami potlačujícími UV záření, které u teplotních zdrojů není sice významné, nicméně u některých úlohách, např. při osvětlování muzejních exponátů a obrazů anebo v plastových reflektorech automobilů, je nežádoucí.

Závěr

Přestože se v oblasti halogenových žárovek objevuje mnoho atraktivních novinek, které po zásluze upoutávají pozornost odborné i laické veřejnosti, je třeba vzít v úvahu, že i halogenová žárovka je teplotní světelný zdroj s poměrně velmi nízkou energetickou účinností, byť o poznání lepší než u obyčejných žárovek. I zde tedy platí omezení dané fyzikálním principem vzniku světla nažhavením wolframového vlákna a ani jeho provoz v prostředí s příměsí vhod-

ných halogenů neumožňuje po dostatečně dlouhou dobu svícení dosáhnout vyšší účinnosti než 20 až 26 lm/W. Tím je i vymezena oblast jejich použití, k nimž patří zejména bytové osvětlení, scénické osvětlení, promítací technika, dekorativní osvětlení ve výlohách obchodů, muzeích a galeriích a osvětlení automobilů. Na tomto místě považuji za žádoucí se zmínit o velkých rozdílech v kvalitě halogenových žárovek vyskytujících se na našem trhu. Velmi často se lze setkat s výrobky (jde o lineární dvoustiskové žárovky a zejména žárovky na malé napětí s integrovaným studeným zrcadlem), jejichž používání se díky velmi „příznivé“ ceně značně rozšířilo, a to i v případech, kde by bylo účelnější a hospodárnější použít např. kompaktní zářivky. Výsledná kvalita, zejména život, totiž zdaleka nedosahuje deklarované

hodnoty a značně zaostává za požadavky zákazníků. Těm pak vznikají přídavné neplánované náklady na provoz osvětlovací soustavy vyplývající z častější výměny vadných zdrojů.

Literatura:

- [1] DVOŘÁČEK, V.: *Světelné zdroje – obyčejné žárovky*. Světlo, 4/2008.
- [2] HABEL, J. a kol.: *Světelná technika a osvětlování*. FCC Public, Praha, 1995.

Recenze: RNDr. Jiří Pavlata – TES-LAMP s. r. o., Zastávka u Brna



Obr. 5. Žárovka Philips MasterClasic

v předchozím odstavci. Nižší spotřeba elektrické energie a dvou až třináásobný život zajišťují tak až šestnásobné množství světelné energie v porovnání s obyčejnou žárovkou mající stejný počáteční světelný tok. Dosažená úspora do značné míry kompenzuje zvýšené náklady na její pořízení. Tyto žárovky patřily k významným novinkám na veletrhu Light & Building 2008 ve Frankfurtu nad Mohanem. Jejich předností je možnost okamžitě a bez jakýchkoliv úprav je použít v běžných svítidlech pro obyčejné žárovky;