

Světelné zdroje – halogenidové výbojky

(část 1)

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

Úvod

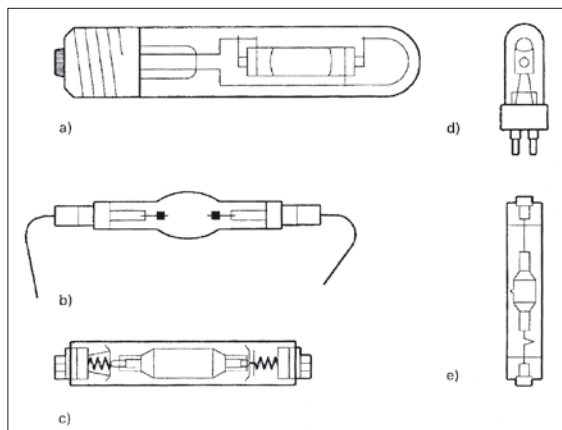
Halogenidové výbojky jsou vysokotlaké výbojky, jejichž světlo vzniká převážně zářením par kovů (např. rtuti), popř. vzácných plynů (např. xenonu), a produktů štěpení halogenidů.

Velmi účinnou a v současné době nejvíce využívanou možností, jak zlepšit vlastnosti vysokotlakého rtuťového výboje, je využití dalších chemických prvků nebo sloučenin, jejichž záření žádoucím způsobem doplňuje čárové spektrum rtuti. Takových prvků existuje velké množství a jejich vhodným výběrem a správnou kombinací lze získat jak účinné zdroje bílého světla v širokém rozsahu chromatičnosti pro účely všeobecného osvětlení, tak i zdroje záření s cíleně upraveným spektrem, potřebným pro řešení nejrůznějších úkolů v mnoha oblastech vědy a techniky (průmysl, medicína, zemědělství aj.).

Některé chemické prvky se vyznačují velmi intenzivními rezonančními čárami ve viditelné oblasti spektra (např. sodík, thalium, indium, galium, lithium apod.), jiné prvky (např. kovy vzácných zemin, jako dysprozium, holmium, thulium, skandium, neodym aj.) mají velmi husté čárové spektrum v celé viditelné oblasti, které při jejich odpovídající kombinaci s dalšími prvky zajišťuje velmi dobré podání barev osvětlovaných předmětů. Další skupina prvků má bohaté záření v UV oblasti spektra (železo, kobalt, olovo aj.), a umožňuje tak vytvářet zdroje ultrafialového záření využívané v různých průmyslových odvětvích v technologii. Použití většiny prvků v čistém stavu je však spojeno se značnými problémy, které brání jejich racionálnímu použití. Prvky vzácných zemin mají při maximálně přípustných pracovních teplotách materiálu výbojové trubice (zpočátku se používalo výlučně křemenné sklo, v poslední době i teplotně a chemicky odolnější keramika z průsvitného polykrystalického oxidu hlinitého – umělého korundu) nízký tlak par, takže nelze dosáhnout potřebné koncentrace těchto prvků ve výboji, a tedy ani požadovaného měrného výkonu. Další prvky, např. alkalické kovy, sice mají při pracovních teplotách výbojky dostatečný tlak par, jsou však při teplotách převyšujících 300 °C velmi agresivní ke křemennému sklu, takže nastávají nežádoucí chemické reakce a hořák se rychle zničí.

Východiskem pro řešení obou jmenovaných problémů je nový způsob vnášení prvků do výboje v podobě jednoduchých chemických sloučenin. Ukázalo se, že nejhodnější z nich jsou příslušné halogenidy (nejčastěji jodidy, popř. bromidy). Tyto sloučeniny jsou i při vysokých pracovních teplotách hořáku poměrně stálé, nevstupují příliš aktivně do chemické reakce s křemenným sklem ani s korundovou keramikou a většinou se vyznačují i vyšším tlakem par v porovnání s čistým kovem (výjimkou je např. sodík,

pravy příslušných sloučenin a jejich vnesením do výboje, nalezením vhodné konstrukce hořáku, správného složení emisní hmoty aj. Významným krokem ve vývoji další generace těchto výbojek bylo zvládnutí technologie výroby korundového hořáku ve spojení s halogenidy, kde bylo nutné navíc vyvinout nové keramické pájecí materiály. Právě tento krok umožnil rozšířit sortiment halogenidových výbojek směrem k nižším příkonům, při současném dalším zlepšení světelnotechnických a kolorimetrických parametrů během jejich života. Všeobecně totiž platí, že při stejné svítící náplni výbojek s křemenným hořákem se měrný výkon s klesajícím příkonem zřetelně snižuje (podstatně více než u výbojek s keramickým hořákem), zhoršuje se stabilita světelného toku a kolorimetrických parametrů v průběhu života, zkracuje se život a roste náročnost technologie výroby. Tím se přínos z jejich zavedení v porovnání se rtuťovými výbojkami snižuje, a jejich značně vyšší cena tak limituje dolní mezní hodnoty příkonu.



Obr. 1. Konstrukce základních typů halogenidových výbojek s křemenným hořákem podle tab. 1

U halogenidových výbojek s keramickým hořákem byla dolní hranice příkonu, při níž je ještě racionální tento typ výbojek vyrábět a používat, snížena k 20 W. To znamená, že i při takto nízkém příkonu je užitečné investovat do dražšího světelného zdroje, protože úspory elektrické energie a další výhody tyto náklady kompenzují.

Princip činnosti halogenidových výbojek lze se značným zjednodušením popsat takto: Výboj se zapaluje vnějším zapalovacím zařízením, které zajišťuje vysokonapěťový impuls s amplitudou 1,8 až 5 kV, podle příkonu výbojky (konstrukce hořáku s pomocnou zapalovací elektrodou a bez vnějšího zapalovače, jako je tomu u klasických vysokotlakých rtuťových výbojek, se používá pouze v omezené míře u některých typech náplně). Výboj nejdříve probíhá v parách rtuti a inertního plynu, u bezrtuťové výbojky v xenonu. S postupným nárůstem teploty se zvyšuje koncentrace halogenidů ve výboji. Teplotní režim výbojky se ustálí během asi 5 až 10 min podle typu. Při pracovní teplotě hořá-

ky příslušných sloučenin a jejich vnesením do výboje, nalezením vhodné konstrukce hořáku, správného složení emisní hmoty aj. Významným krokem ve vývoji další generace těchto výbojek bylo zvládnutí technologie výroby korundového hořáku ve spojení s halogenidy, kde bylo nutné navíc vyvinout nové keramické pájecí materiály. Právě tento krok umožnil rozšířit sortiment halogenidových výbojek směrem k nižším příkonům, při současném dalším zlepšení světelnotechnických a kolorimetrických parametrů během jejich života. Všeobecně totiž platí, že při stejné svítící náplni výbojek s křemenným hořákem se měrný výkon s klesajícím příkonem zřetelně snižuje (podstatně více než u výbojek s keramickým hořákem), zhoršuje se stabilita světelného toku a kolorimetrických parametrů v průběhu života, zkracuje se život a roste náročnost technologie výroby. Tím se přínos z jejich zavedení v porovnání se rtuťovými výbojkami snižuje, a jejich značně vyšší cena tak limituje dolní mezní hodnoty příkonu.

U halogenidových výbojek s keramickým hořákem byla dolní hranice příkonu, při níž je ještě racionální tento typ výbojek vyrábět a používat, snížena k 20 W. To znamená, že i při takto nízkém příkonu je užitečné investovat do dražšího světelného zdroje, protože úspory elektrické energie a další výhody tyto náklady kompenzují.

ku se v oblasti jeho osy s vysokou teplotou halogenidy štěpí na atomy halogenu a atomy příslušného kovu, které se vybudí a září. Současně se vytváří gradient koncentrace těchto atomů v radiálním směru, které následně difundují ke stěnám hořáku s nižší teplotou, kde se opět slučují na původní sloučeniny. Vzniká tak uzavřený cyklus, jehož existence je základním a nezbytným předpokladem vytvoření účinného světelného zdroje s požadovaným spektrálním složením záření a dostatečně dlouhým životem.

Z předchozího textu vyplývá, že halogenidové výbojky lze z hlediska materiálu použitého na zhotovení vlastního hořáku rozdělit do dvou základních skupin: výbojky s křemenným hořákem a výbojky s keramickým hořákem.

V současné době je nejrozšířenějším keramickým materiálem oxid hlinitý; ve výzkumných laboratořích se však zkoumají i další materiály, např. oxid yttritý aj. Cílem těchto prací je nalézt materiály s ještě vyšší teplotní odolností, což by dále umožnilo zvýšit účinnost výboje. Materiál, z něhož je zhotoven hořák, velmi významně ovlivňuje vlastnosti výbojky a technologii jejich výroby, takže kritérium třídění podle materiálu, z něhož je vyroben hořák, má své opodstatnění.

Halogenidové výbojky s křemenným hořákem

Halogenidové výbojky s křemenným hořákem jsou z hlediska konstrukce příbuzné rtuťovým výbojkám. Některé konstrukční odlišnosti vyplývají z přítomnosti halogenidů v hořáku. Vlastní výbojová trubice je zhotovena ze speciálního druhu křemenného skla, vyznačujícího se

strukce základních typů halogenidových výbojek s křemenným hořákem je schematicky zobrazena na obr. 1.

V současné vyráběném sortimentu halogenidových výbojek se používá množství různých kombinací halogenidů, z nichž pro účely všeobecného osvětlení jsou nejzajímavější tyto:

a) NaI + TlI + InI. Každý z použitých prvků se vyznačuje intenzivními re-

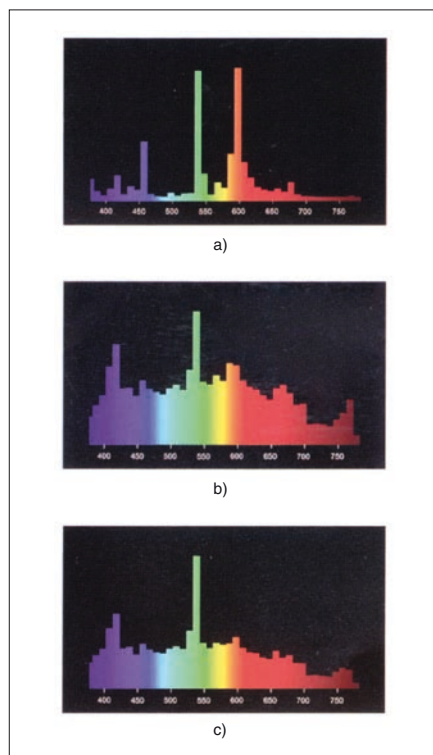
Tab. 1. Základní sortiment halogenidových výbojek s křemenným hořákem

Provedení výbojky	Obr. č.	Jmenovité příkony (W)	Měrný výkon (lm/W)
jednopaticová s kolíkovou patičí G12	1d	70, 150	76 až 87
dvoupaticová s křemennou vnější baňkou a keramickou patičí RX7s nebo RX7s-24	1e	70, 150	73 až 86
dvoupaticová s křemennou vnější baňkou a keramickou patičí Fc2	1c	250, 400	80 až 92,5
s válcovou čirou vnější baňkou a patičí E40	1a	250, 400, 1 000, 2 000	75 až 120
s eliptickou čirou baňkou a patičí E27 nebo E40	*)	70, 100, 150	74 až 86
s eliptickou baňkou pokrytou luminoforem a patičí E27 nebo E40	*)	70, 100, 150, 250, 400, 1 000	74 až 100
dvoupaticová bez vnější baňky s krátkým obloukem	1b	1 000, 1 800, 1 950, 2 000	90 až 110
dvoupaticová bez vnější baňky s dlouhým obloukem	**)	1 000, 2 000	90 až 115

Poznámky k tab. 1:

*) Geometrické parametry uvedených výbojek odpovídají parametrům vysokotlakých rtuťových výbojek shodného příkonu,

**) Geometrické parametry uvedených výbojek lze nalézt ve firemních katalogích.



Obr. 2. Spektrální složení světla halogenidových výbojek [2]

a) výbojka s křemenným hořákem, $R_a > 65$, $T_{cp} 4 500 K$

b) výbojka s křemenným hořákem, $R_a > 90$, $T_{cp} 5 900 K$

c) výbojka s křemenným hořákem, $R_a > 90$, $T_{cp} 6 000 K$

velmi malým obsahem skupin OH (nižší než 1 ppm). Do hořáku jsou s využitím molybdenových fólií zataveny hlavní wolframové elektrody pokryté emisní hmotou na bázi oxidu yttritého nebo thoričitého, popř. jsou zhotoveny z thoriového wolframu. Přítomnost halogenidů vylučuje použití emisní hmoty využívané ve rtuťových výbojkách. Do hořáku se kromě rtuti a příslušných halogenidů plní inertní plyn (obvykle argon nebo směs neonu a argonu), který má stejnou funkci jako u rtuťových výbojek. V některých typech těchto halogenidových výbojek, kde je důležité co nejvíce zkrátit dobu náběhu (např. ve světlometech automobilů), se používá ještě xenon. Teplota částí hořáku za elektrodou, která ovlivňuje tlak, a tedy i výsledné světelné a elektrické parametry výbojky, se stabilizuje vrstvou např. oxidu zirkoničitého. Hořák je zataven do vnější baňky, která je buď evakuovaná anebo naplněná inertním plynem. Baňky výbojek malých příkonů jsou zhotoveny z měkkého skla, u vyšších příkonů (150 W a výše) z tvrdé skloviny. Jsou většinou válcové, číré, u některých typů výbojek se používají eliptické, jež jsou pokryty luminoforem nebo rozptýlnou vrstvou. Výbojky jsou opatřeny buď závitovou, nebo bajonetovou patičí, anebo patičí s kontaktními kolíky. U některých typů výbojek zvláště malých rozměrů se používá baňka z křemenného skla. Kon-

zonančními čárami ve viditelné oblasti spektra (sodík září na vlnové délce $\lambda = 589$ a $589,6$ nm, thalium má velmi intenzivní čáru v zelené části spektra $\lambda = 535$ nm, indium září v modro-fialové oblasti $\lambda = 410$ a 451 nm). Vhodnou kombinací těchto prvků lze získat zdroj bílého světla s měrným výkonem 70 až 110 lm/W podle příkonu a $R_a = 65$ až 70. Tento typ náplně se nepoužívá u výbojek s keramickým hořákem.

b) $DyI_3 + HoI_3 + TmI_3$ a některé další halogenidy, např. TlI, NaI, CsI. Prvky vzácných zemin mají velmi husté čárové spektrum v celé viditelné oblasti, takže při jejich správné kombinaci lze dosáhnout vynikajícího podání barev osvětlovaných předmětů. Přítomnost thalia, jehož záření se nachází v blízkosti maxima citlivosti lidského oka, významně zvyšuje měrný výkon. Výsledkem jsou výbojky s měrným výkonem 80 až 90 lm/W při $R_a > 80$.

c) $ScI_3 + NaI$ a další halogenidy, např. ThI_4 , LiI. Scandium se vyznačuje bohatým spektrem v modro-zelené oblasti, sodík s lithiem doplňují záření v oblasti žluto-červené. Měrný výkon dosahuje hodnot až 100 lm/W při $R_a \approx 75$.

d) $SnBr_2 + SnI_2$. U výbojek s uvedenou náplní se využívá molekulární spektrum použitých příměsí, které je spojitě a lze je velmi dobře přizpůsobit záření černého tělesa. Při měrném výkonu

přibližně 60 lm/W je dosaženo vynikajícího podání barev charakterizovaného $R_a \approx 98$.

Poznámka: V některých případech je výhodnější namísto halogenidu příslušného kovu vnést do hořáku čistý kov s odpovídajícím množstvím jodidu rtuťnatého. Potřebný halogenid se pak vytvoří přímo v hořáku v průběhu prvního rozsvícení výbojky. Další provoz takto vyrobené výbojky je shodný jako u výbojek s halogenidy dávkovanými přímo v rámci technologického procesu.

Použitím dalších příměsí lze vyrobit efektivní zdroje s intenzivním zářením v modro-fialové a blízké ultrafialové oblasti, využívané např. v chemickém a polygrafickém průmyslu k urychlení fotochemických reakcí anebo v soláriích ke kosmetickým účelům. V současné době se používají kombinace $PbI_2 + GaI_3$ s maximem záření v intervalu 350 až 450 nm a $FeI_2 + CoI_2$ s maximem záření v oblasti 300 až 400 nm. Tyto výbojky nemají vnější baňku, vlastní hořák je v případě potřeby vyroben z křemenného skla se speciálními přísadami nepropouštějícími krátkovlnné UV záření, takže při provozu nevzniká nežádoucí ozon. Vzhledem k většímu teplotnímu zatížení stěny hořáku a náročnějším podmínkám provozu bez vnější baňky je život těchto výbojek kratší, dosahuje 800 až 1 500 h.

Zmíněné kombinace svítících příměsí zdaleka nevyčerpávají sortiment výbojek uváděný v katalogích významných světových firem, v odborných časopisech a v patentové literatuře. Svědčí o tom i ka-

talogy firem specializujících se výhradně na přípravu různých vysoce čistých chemických sloučenin pro halogenidové výbojky, v nichž je uvedeno více než 90 halogenidů téměř 50 kovů, umožňujících sestavit stovky nejrůznějších kombinací svítících příměsí. Sortiment halogenidových výbojek je tedy v současné době velmi široký, a i když se příkonové řady již ustálily, vyskytují se mezi jednotlivými výrobci určité rozdíly i u typů stejného příkonu. Rozdíly spočívají nejen v chromatičnosti vyzařovaného světla, ale rovněž v geometrických a elektrických parametrech, takže je nutné věnovat pozornost i volbě příslušného předřadníku. Některé typy halogenidových výbojek jsou konstruovány pro předřadníky určené pro vysokotlaké sodíkové výbojky, a proto je možná přímá náhrada sodíkových výbojek halogenidovými v těch případech, kdy je žádoucí zlepšit podání barev bez větších investičních nákladů.

Základní sortiment halogenidových výbojek s křemenným hořákem je uveden v tab. 1. S ohledem na uvedenou rozmanitost sortimentu halogenidových výbojek a na jeho neustálý vývoj je v tab. 1 pouze orientační přehled výbojek s křemenným hořákem tříděných podle příkonu, typu patice a geometrických parametrů.

Výhody halogenidových výbojek s křemenným hořákem lze shrnout takto:

- možnost široké úpravy spektrálního složení vyzařovaného světla v důsledku velmi širokého výběru svítících prvků, sloučenin a jejich kombinací,
- velký rozsah příkonů (70 až 5 000 W, u některých speciálních typů i více),

- vynikající podání barev osvětlovaných předmětů při velkém měrném výkonu výbojky,
- možnost vytvořit rozměrově kompaktní světelné zdroje s velkým příkonem na jednotku objemu; z toho vyplývá možnost navrhovat materiálově úsporná svítidla s vyšší účinností a s velmi dobrou možností usměrnění světelného toku v požadovaném směru,
- dlouhý život.

K nevýhodám, kromě technologické náročnosti a z toho vyplývající vyšší pořizovací ceny, patří nutnost použít zapalovací zařízení (s výjimkou některých výbojek s malým příkonem se zabudovaným zapalovačem, resp. malé části sortimentu výbojek, jejichž náplň dovoluje použít pomocnou elektrodu), dále poměrně velká citlivost parametrů výbojek na kolísání napětí sítě, větší rozptyl kolorimetrických parametrů mezi jednotlivými výbojkami stejného typu i jejich větší změny u jednotlivých výbojek v průběhu svícení (výrobci přiznávají možné změny teploty chromatičnosti v intervalu ± 600 K), stejně jako změna těchto parametrů v závislosti na poloze svícení.

(dokončení článku v příštím čísle časopisu)

Literatura:

- [1] ROCHLIN, G. N.: *Razryadnye istočniki sveta*. Energoatomizdat, 1991.
- [2] Katalog firmy Osram 2008/2009.
- [3] Technická dokumentace firmy Philips.

Recenze: prof. Ing. Jiří Habel, DrSc.

Pozvánka na Porovnávací měření umělého osvětlení 2009

Zdravotní ústav se sídlem v Ostravě, Centrum hygienických laboratorí Karviná, Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky, a Česká společnost pro osvětlování, Regionální skupina Ostrava, pořádají **25. a 26. března** tradič-



Obr. 1. Porovnávací měření 2005 – měření učebny

ní porovnávací měření umělého osvětlení. Účastníci se mohou těšit na měření ve zcela nových prostorách Fakulty elektrotechniky a informatiky. Celá akce je pořádána pod záštitou České společnosti pro akreditaci (ČIA). Po absolvování měření bude účastníkům vystaveno osvědčení (obr. 1). Stálí účastníci budou informováni elektronickou poštou, noví zájemci se mohou přihlásit na níže uvedeném kontaktu. Občerstvení za velmi přijatelné ceny bude k dispozici v místním Snack-baru. Ubytování účastníků je zajištěno na kolejích VŠB-TU Ostrava. Neformální posezení s dobrou veče-



Obr. 2. Vydávané osvědčení

ři nad tématy nejen o světelné technice je plánováno první den měření ve večerních hodinách.

Na Vaši účast se těší

Organizační garant:
Ing. Martin Demel
ZÚ Ostrava
tel.: 596 200 452
e-mail: martin.demel@zuova.cz

Odborný garant:
prof. Ing. Karel Sokanský, CSc.