



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Jaroslav Zukerstein

Elektrická měření

Metodická příručka

PhDr. Jaroslav Zukerstein, Ph.D.
Elektrická měření
Metodická příručka

Vydalo
Centrum pro studium vysokého školství, v.v.i. , Praha, 2015

Návrh obálky
Radka Šebková

Číslo projektu
CZ.1.07/2.3.00/45.00 29

Publikace vznikla jako výsledek projektu Věda pro život, život pro vědu (VĚŽ).
Projekt byl řešen v rámci programu Vzdělávání pro konkurenceschopnost, prioritní osa Terciární vzdělávání, výzkum a vývoj, v období březen 2014 až červen 2015.



ISBN 978-80-86302-74-4



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Obsah

Metodická příručka

Měření malých odporů
Pasivní prvky elektrických obvodů
Světlo, zdroje světla

Autor: PhDr. Jaroslav Zukerstein, Ph.D.

Fakulta výrobních technologií a managementu

Univerzity J. E. Purkyně v Ústí nad Labem

Na Okraji 1001

400 96 Ústí nad Labem

Internet: www.fvtm.ujep.cz

Tel.: 475 285 511

Fax: 475 285 566

E-mail: kontakt@fvtm.ujep.cz

Měření malých odporů

Jaroslav ZUKERSTEIN

Metodická příručka pro tematický celek



evropský
sociální
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Tato metodika vznikla v rámci projektu „Věda pro život, život pro vědu“, reg. číslo CZ.1.07/2.3.00/45.0029.

Anotace:

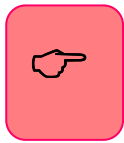
Text se zabývá problematikou měření malých odporů, rozděljuje a popisuje měřící metody. Jsou zde uvedeny informace pro čtyřbodové zapojení, zapojení základních můstků a postup pro zjišťování měrného odporu. Kapitoly jsou doplněny cílem, klíčovými slovy, shrnujícími informacemi a odkazy na použité zdroje.

OBSAH

1. Měření malých odporů.....	3
1.1 🗨️ Cíl kapitoly.....	3
1.2 ↔ Klíčová slova.....	3
1.3 Měřící metody.....	3
1.3.1 Čtyřbodové zapojení.....	5
1.3.2 Wheatstoneův můstek.....	6
1.3.3 Thomsonův můstek.....	7
1.3.4 Měření měrného odporu.....	8
1.4 Závěr.....	9
1.5 ✓ Shrnutí.....	9
1.6? Otázky.....	10
1.7 📖 Odkazy na zdroje.....	10

1. Měření malých odporů

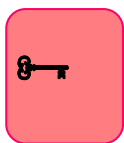
1.1 Cíl kapitoly



Hlavními cíli kapitoly jsou:

- seznámit čtenáře s problematikou měření malých odporů,
- provést rozbor měření pomocí Wheatstoneova můstku,
- provést rozbor měření pomocí Thomsonova můstku
- stanovit postup pro měření měrného odporu.

1.2 Klíčová slova



Malé odpory, čtyřbodové zapojení, můstek, měrný odpor

1.3 Měřící metody

Při měření odporů lze využívat různých metod, ať už jde o metody přímé, nebo nepřímé.

Z hlediska velikosti můžeme elektrické odpory rozdělit na:

- malé - do 1 Ω ,
- střední - 1 Ω až 1 M Ω ,
- velké - nad 1 M Ω .

Ohmova metoda

Ohmova metoda měření elektrického odporu je klasický způsob měření, při němž vypočítáváme velikost odporu měřené zátěže pomocí Ohmova zákona.

Platí vztah:

$$R_x = \frac{U_x}{I_x}$$

U_x - úbytek napětí na měřeném odporu
 I_x - proud protékající měřeným odporem

Pokud uvažujeme zapojení pro *malé odpory*, ampérmetr měří proud, který prochází měřeným odporem a zároveň proud, který prochází voltmetrem.

$$I = I_x + I_V$$

Voltmetr měří přímo napětí na zátěži U_x .

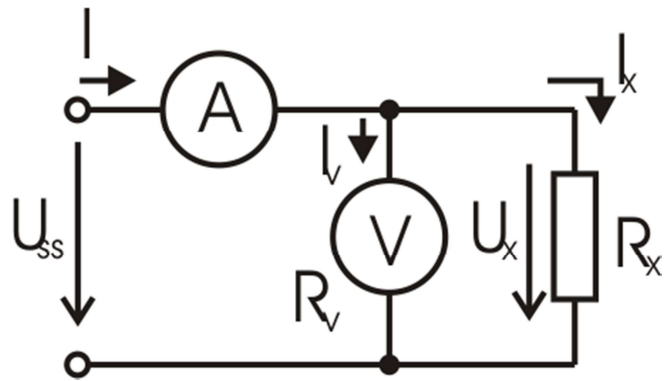
Potom vztah pro měřený odpor bude vypadat takto:

$$R_x = \frac{U_x}{I - I_v}$$

Pro proud protékající voltmetrem platí:

$$I_v = \frac{U_x}{R_V}$$

R_V - vnitřní odpor voltmetru pro daný napěťový rozsah.



Pokud bychom počítali odpor zátěže pouze jako podíl hodnot naměřených voltmetrem a ampérmetrem, dopustili bychom se určité chyby metody.

Srovnávací metoda

Při měření odporu srovnávací metodou porovnáváme neznámý odpor s odporem známé velikosti.

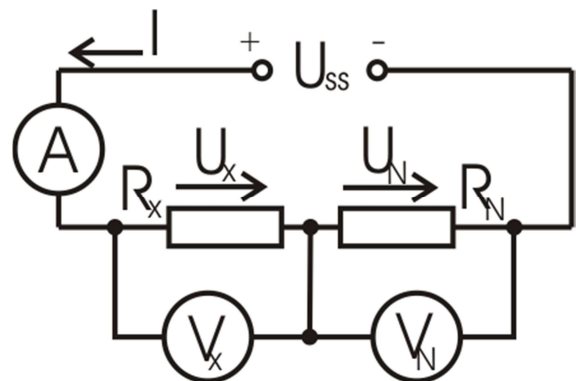
Při zapojení této metody pro měření *malých odporů* velikost neznámého odporu zjistíme změřením úbytků napětí na jednotlivých rezistorech. Proud v obvodu musí být konstantní.

Protože oběma rezistory teče stejný proud, platí:

$$\frac{U_x}{R_x} = \frac{U_N}{R_N} \Rightarrow R_x = R_N \frac{U_x}{U_N}$$

Pro relativní chybu měření platí:

$$\delta_m = \frac{R_N - R_x}{R_x + R_V}$$

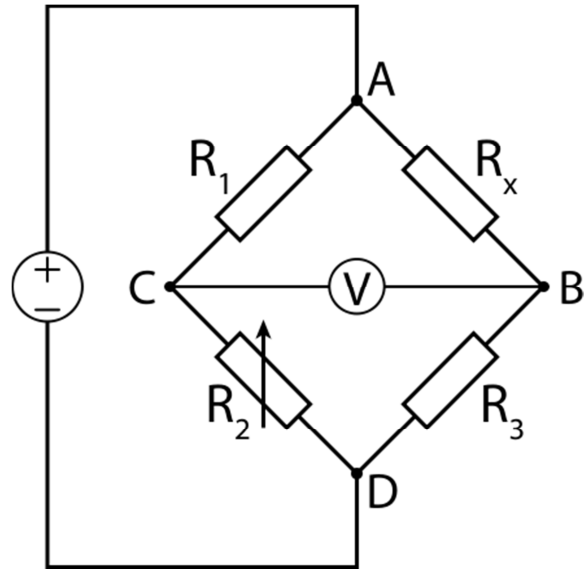


Čím více se budou hodnoty R_x a R_N sobě přibližovat, tím větší bude chyba měření. Bude-li $R_V \gg R_x$, bude chyba metody prakticky zanedbatelná. Tato metoda je velmi přesná, velikost odporu můžeme zjistit s přesností až na několik setin procenta.

Můstkové zapojení

Můstek se používá k přesnému měření elektrických veličin - kapacity, odporu nebo indukčnosti. Měření můstkovými metodami se zakládá na dosažení rovnováhy mezi větvemi můstku. Tuto rovnováhu zjišťujeme galvanometrem, zapojeným mezi uzly B

a C. Na uzlech A, D je pak připojeno střídavé nebo stejnosměrné napájení (podle měřené veličiny: pro kapacitu a indukčnost střídavé, pro odpory stejnosměrné i střídavé, lepší je však stejnosměrné). Společným znakem je napájení, které je připojeno k jedné úhlopříčce můstku a jednak způsob indikace, galvanometr se zapojí k druhé úhlopříčce, vyvažování větví je stejné, poslouží nám proměnný rezistor zapojený jako reostat.



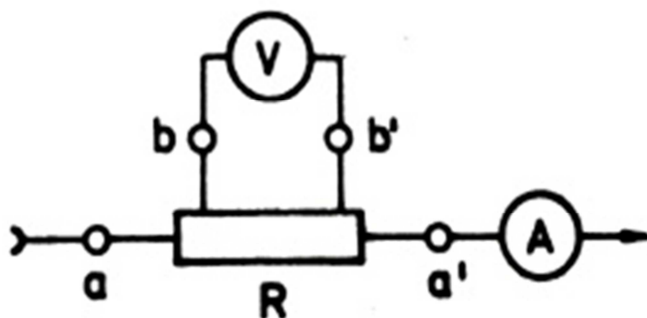
Jednoduchý můstkový obvod s odpory ve větvích je vhodný pro měření odporů v rozmezí asi od 1Ω do $10^7 \Omega$. Při větších hodnotách odporů teče větvemi můstku relativně malý proud, což klade velké nároky na citlivost galvanometru.

Pokud však chceme měřit odpory, které jsou mnohem menší, než 1Ω , pak nám mohou do měření vstupovat odpory přívodních vodičů a přechodové odpory kontaktů, které pak nemusí mít vždy zanedbatelnou hodnotu vůči měřenému odporu.

Měření s můstkem může být zatíženo systematickou chybou, která způsobí, že změříme hodnotu odporu zvětšenou o odpor přívodů.

Odstranit tuto systematickou chybu lze tehdy, použijeme-li čtyřbodového zapojení měřeného rezistoru.

1.3.1 Čtyřbodové zapojení

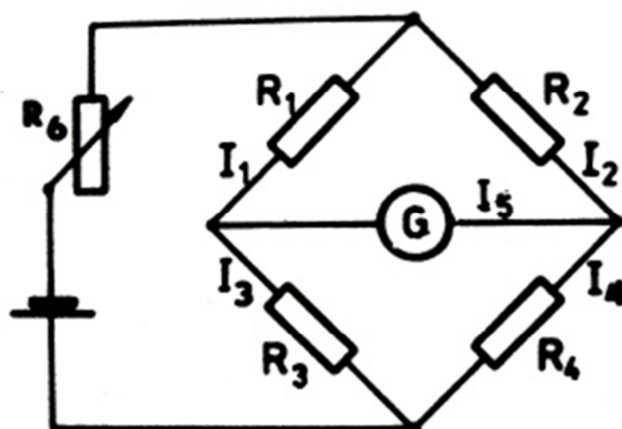


Při čtyřbodovém zapojení musí být rezistor (nebo jiný prvek) opatřen čtyřmi kontakty (svorkami). Vnější kontakty a, a' nazývané proudové, se připojí sériově do obvodu se zdrojem napětí. Mezi vnitřními kontakty b, b' měříme napětí.

Schematicky je čtyřbodové zapojení rezistoru R zakresleno na obrázku. V tomto uspořádání změříme odpor mezi napěťovými kontakty b, b', odpor přívodů k

proudovým kontaktům ani jejich přechodový odpor se neuplatní. Pokud je odpor voltmetru podstatně větší než odpor R , což je podmínka, kterou pro malé odpory R není obtížné splnit, teče voltmetrem zanedbatelný proud vůči proudu odporem R a odpory přívodů k voltmetru a kontaktů b, b' se neuplatní. V tomto zapojení bychom měřili odpor přímou metodou.

1.3.2 Wheatstoneův můstek



Jak již bylo řečeno, můstkové metody jsou jedny z nejpřesnějších a proto i nejpoužívanějších měřících metod. Jednoduchý můstkový obvod, složený ze čtyř odporů se nazývá **Wheatstoneův** můstek.

Protéká-li galvanometrem G nulový proud, tj. $I_5 = 0$, platí rovnice

$$I_1 = I_3, I_2 = I_4, I_1 R_1 = I_2 R_2, I_3 R_3 = I_4 R_4$$

$$R_1 / R_2 = R_3 / R_4$$

Vztah umožňuje určit pomocí tří známých odporů, např. R_2, R_3, R_4 , čtvrtý neznámý odpor R_1 . Odpor R_6 na obrázku slouží k nastavení velikosti proudu můstkem a tím i k regulaci citlivosti.

Největší citlivosti můstku dosáhneme, jsou-li ve všech větvích zařazeny stejné hodnoty odporů. Je-li indikátor schopen zaznamenat změny řádu 10^{-5} proudu tekoucího větvemi můstku,

Při měření odporů menších než 1Ω se však nepříznivě uplatňuje vliv spojovacích vodičů. U této úlohy chceme při měření malých odporů Wheatstoneovým můstkem

demonstrovat vliv odporu přívodů na přesnost měření. Relativní systematická chyba bude tím větší, čím menší odpor měříme.

1.3.3 Thomsonův můstek

Chceme-li ve čtyřbodovém zapojení měřit odpor můstkovou metodou, musíme použít dvojitý (Thomsonův) můstek. Místo přímého měření napětí na měřeném odporu se toto napětí porovnává s napětím na odporovém normálu, kterým protéká stejný proud jako měřeným odporem.

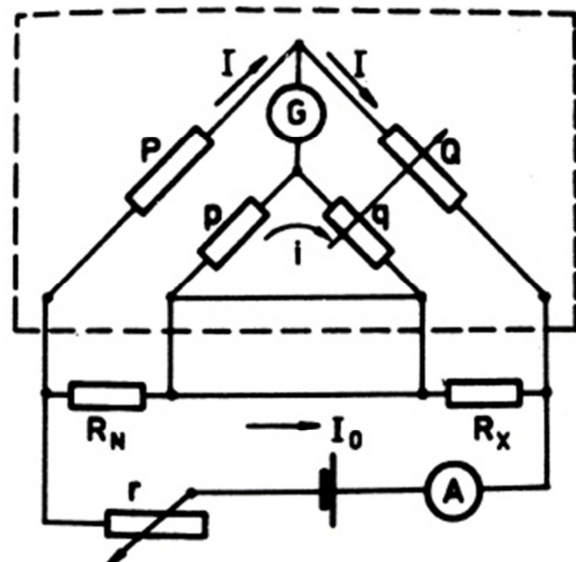
Je-li můstek vyrovnaný, je mezi body, ve kterých je připojen indikátor G, nulový rozdíl potenciálů. Odpory p, q pak teče stejný proud i. Napětí na odporu P musí být rovno napětí na odporech R_N a p a proto platí:

$$IP = I_0 R_N + i \cdot p$$

Pro druhou polovinu můstku obdobně

$$IQ = I_0 R_X + i \cdot q$$

Pak tedy platí, že



Celý můstkový obvod se skládá ze dvou částí. Odpory P, p, Q, q jsou součástí komerčně vyráběného můstku. Na schématu jsou tyto obvody zakresleny uvnitř čárkovaně vyznačeného obdélníku.

Můstek je určen pro měření odporů menších než 1 Ω . Přesné měření vyžaduje čtyřbodové zapojení měřeného odporu R_X odporového normálu R_N . Jsou-li odpory R_N a R_X menší než 1 Ω lze dosáhnout toho, že odpory P, p, Q, q budou alespoň tisíckrát větší než R_N či R_X , což znamená, že proudy i a I budou nejméně tisíckrát menší než I_0 . Spád napětí na přívodních vodičích k můstku a na svorkách neovlivní proto podstatněji výsledek měření.

1.3.4 Měření měrného odporu

Při zjišťování měrného odporu materiálů se často setkáváme právě s potřebou změřit malý odpor předloženého vzorku.

Měrný odpor je definován vztahem

$$\rho = \frac{RS}{l}$$

- R je odpor homogenního vodiče
- l délka vodiče
- S průřez vodiče

Jednotkou měrného odporu je ohmmetr (1 $\Omega \cdot m$).

Ohmmetr je měrný elektrický odpor takového materiálu, z něhož zhotovená krychle o hraně 1m má odpor 1 Ω , protéká-li elektrický proud mezi protilehlými stěnami krychle. V elektrotechnické praxi se často používá dočasná jednotka 1 $\Omega \cdot mm^2 m^{-1}$, což je měrný odpor takového materiálu, který má při délce 1 m a průřezu 1 mm^2 odpor 1 Ω .

Platí převodní vztah $1 \Omega \cdot mm^2 m^{-1} = 10^{-6} \Omega \cdot m$.

Abychom určili měrný odpor, musíme kromě velikosti odporu R definované délky drátu, změřit ještě jeho průměr d. Velmi pečlivě na několika místech měříme průměr drátu. Stanovení této veličiny je zpravidla zatíženo největší chybou. Tato chyba se zdůrazní tím, že měrný odpor závisí na druhé mocnině d. Z následujícího vztahu pak vypočteme potřebný průřez.

$$S = \frac{\pi d^2}{4}$$

1.4 Závěr

Měření malých odporů se provádí při zkouškách odporu spojů svářených, vyrovnávacích kolejí, kontaktů, spojů kabelů nebo cívek s nízkým odporem. Měřicí přístroje k měření malých odporů mohou být také využity ke zkouškám cívek elektrických zařízení, takových jako jsou transformátory nebo motory. Tyto zkoušky zahrnují také kontrolu kvality letovaných spojů, kontinuity zemnicích vodičů.

Měření malých odporů lze provést popsányými metodami. Nejrozšířenější je metoda měření Thomsonovým můstkem. Pro malé hodnoty odporu, v řádu mikrohmů, hrají podstatnou roli odpory vodičů a odpory kontaktů v místech spojení, proto konstrukce můstku zajistí samostatné proudové a napěťové svorky u rezistorů. Je doporučováno, aby všechny další rezistory měly odpor 1000krát větší, než jsou odpory přívodů.

Na přesnost měření Thomsonovým můstkem má vliv odchylka způsobená necitlivostí, případně dodatečné chyby vyplývající z přetížení proudových rezistorů, zkoušeného a srovnávacího, ze změn teploty a výskytu dodatečných elektromotorických sil v systému. Vzhledem k závadám a omezením tradičních technických můstků, dochází v současné době k tendenci konstruovat elektronické měřicí přístroje k měření malých odporů v rozsahu od jednotlivých mikrohmů do několika set ohmů. Přístroje umožňují měřit velmi malé odpory s rozlišením až $0,1 \mu\Omega$. Důležitou vlastností moderních mikroohmmetrů je jednoduchost ovládání, použití různých měřicích režimů a možnost spolupráce s počítačem.

1.5 Shrnutí



Odpory menší než 1Ω pokládáme za malé.

Při použití ohmovy a srovnávací metody využijeme zapojení pro měření malých odporů.

Nejpřesnější jsou metody můstkové.

Z důvodu eliminace chyby měření používáme čtyřbodové zapojení rezistoru.

Pro měření velmi malých hodnot odporu se používá Thomsonův můstek.

1.6 Otázky



- a) Nakreslete schéma můstkového zapojení a stanovte podmínku pro nulový proud galvanometrem.
- b) Jak eliminujeme při měření odpor přívodních vodičů?
- c) Vysvětlete pojem měrný odpor.
- d) Vysvětlete rozdíl mezi Wheastoneovým a Thomsonovým můstkem.

1.7 Odkazy na zdroje



DRECHSLER, R.; GYARFÁŠ J., JAKL, M., VÍTOVEC, J. Elektrická měření II Základní metody. SNTL, Praha, 1973.

TKOTZ, K. Příručka pro elektrotechniky. Europa-Sobotáles, Praha 2006. ISBN 80-86706-13-3.

<http://cs.wikipedia.org>

<http://physics.mff.cuni.cz/vyuka/zfp/>

Fakulta výrobních technologií a managementu

Univerzity J. E. Purkyně v Ústí nad Labem

Na Okraji 1001

400 96 Ústí nad Labem

Internet: www.fvtm.ujep.cz

Tel.: 475 285 511

Fax: 475 285 566

E-mail: kontakt@fvtm.ujep.cz

Pasivní prvky elektrických obvodů

Jaroslav ZUKERSTEIN

Metodická příručka pro tematický celek



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Tato metodika vznikla v rámci projektu „Věda pro život, život pro vědu“, reg. číslo CZ.1.07/2.3.00/45.0029.

Anotace:

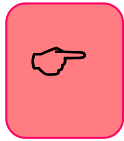
Text se zabývá problematikou pasivních prvků elektrických obvodů, kam patří rezistory, kondenzátory a cívky, uvádí jejich klasifikaci, základní charakteristiku, popisuje jejich konstrukci a způsoby zapojení. Kapitoly jsou doplněny cílem, klíčovými slovy, shrnujícími informacemi a odkazy na použité zdroje.

OBSAH

1. Pasivní prvky elektrických obvodů.....	3
1.1 ☞ Cíl kapitoly.....	3
1.2 ⇄ Klíčová slova.....	3
1.3 Rezistory.....	3
1.3.1 Elektrický odpor.....	3
1.3.2 Rozdělení a konstrukce rezistorů.....	4
1.3.3 Spojování rezistorů.....	8
1.4 Kondenzátory.....	9
1.4.1 Kapacita kondenzátoru.....	9
1.4.2 Rozdělení a konstrukce kondenzátorů.....	10
1.4.3 Spojování kondenzátorů.....	12
1.5 Cívky.....	13
1.5.1 Indukčnost.....	14
1.5.2 Rozdělení a konstrukce cívek.....	14
1.6 ✓ Shrnutí.....	15
1.7 ? Otázky.....	15
1.8 📖 Odkazy na zdroje.....	15

2. Pasivní prvky elektrických obvodů

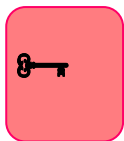
1.4 Cíl kapitoly



Hlavními cíli kapitoly jsou:

- seznámit se základními pasivními prvky elektrických obvodů a jejich vlastnostmi
- charakterizovat rezistory, kondenzátory a cívky z hlediska jejich rozdělení a konstrukce
- ukázat základní způsoby jejich zapojování

1.5 Klíčová slova



Elektrické obvody, pasivní prvky, rezistory, kondenzátory, cívky

1.6 Rezistory

Rezistor je pasivní elektrotechnická či elektronická součástka, která se v elektrickém obvodu projevuje v ideálním případě jedinou vlastností - elektrickým odporem. Důvodem pro zařazení rezistoru do obvodu je obvykle snížení velikosti elektrického proudu nebo získání určitého úbytku napětí. Tato součástka bývá běžně označována jako odpor, což ale může vést k nejednoznačnostem kvůli možné záměně se stejnojmennou veličinou (tj. s elektrickým odporem). Pro odlišení se začal používat rezistor.

1.6.1 Elektrický odpor

Mluvíme-li o elektrickém odporu, jedná se o fyzikální veličinu charakterizující schopnost elektrických vodičů vést elektrický proud. Hodnota elektrického odporu je dána materiálem, tvarem i teplotou vodiče. Velikost odporu závisí na délce vodiče (přímo úměrně), na obsahu průřezu vodiče (nepřímo úměrně), na materiálu vodiče (měrný elektrický odpor) a na teplotě.

Označení

R jednotka **Ω** (ohm)

Odpor vodičů závisí na teplotě. Se vzrůstající teplotou stoupá (kladný teplotní součinitel elektrického odporu), Elektrický odpor má vždy kladnou hodnotu. Dobré vodiče kladou malý odpor, špatné vodiče kladou velký odpor.

Převrácená hodnota elektrického odporu je fyzikální veličina, která se nazývá elektrická vodivost.

Elektrický odpor lze určit z vlastností vodiče:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S}$$

ρ	rezistivita (měrný elektrický odpor)
l	délka vodiče
S	průřez vodiče

1.6.2 Rozdělení a konstrukce rezistorů

Rozdělení rezistorů

Rezistory s pevnou hodnotou

- drátové
- uhlíkové
- metalizované, metaloxidové

Rezistory s proměnnou hodnotou

- potenciometry
- trimry
- reostaty
- aripoty

Konstrukce rezistoru

Konstrukčním základem rezistoru je určitý typ vodiče s požadovanou hodnotou odporu, které lze dosáhnout použitím materiálu s danou rezistivitou, určitou délkou a obsahem průřezu vodiče. Vodič se používá buďto ve formě drátu nebo ve formě tenké vrstvy.

Drátové rezistory

Základem drátových rezistorů je keramický váleček nebo trubička, na které je kvůli úspoře místa navinut odporový drát. Typické slitiny užívané pro tyto účely jsou manganin a konstantan. Vhodné jsou i další tepelně odolné slitiny železa s niklem.

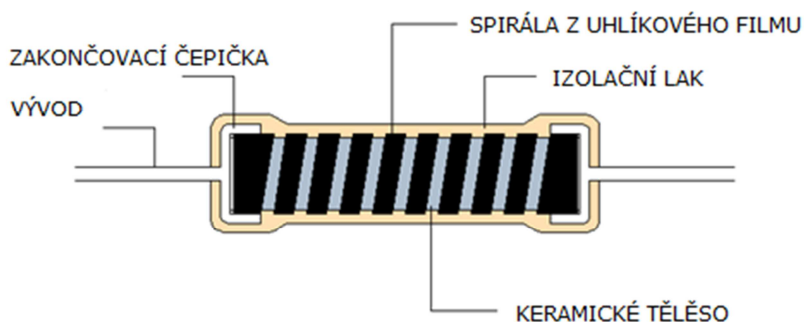


Drátové rezistory mohou být bez izolace, případně s izolační vrstvou (různé typy glazur, smaltů a laků). Drátové rezistory vyhovují především pro malé hodnoty odporu do 100 Ohm. Přesto jsou dostupné až do hodnot 10 kOhm. Drátové rezistory jsou dlouhodobě teplotně stabilní a je možné je vyrobit v úzkých tolerancích hodnot odporu. Jednoduše navinutý drátový rezistor je také vždy cívkou s poměrně vysokou indukčností. Proto závisí jeho impedance na frekvenci, což je za obvyklých podmínek nežádoucí. Použitím vhodného vinutí (například bifilárního) je možné indukčnost výrazně zmenšit.

Uhlíkové rezistory

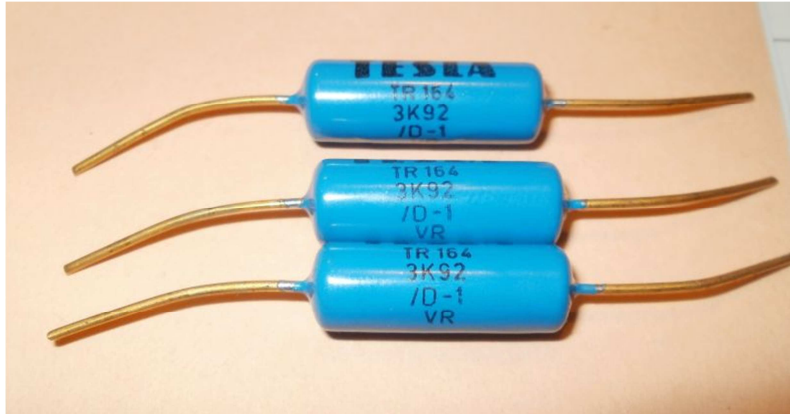
Častějším způsobem výroby je nanesení elektricky vodivé vrstvy (například grafitu) na izolační tělísko a vyfrézování spirálové drážky. Její délka dovoluje při výrobě nastavit požadovaný odpor rezistoru. Tento druh se nazývá uhlíkový rezistor.

Vývody tvoří pocínované dráty, které jsou přivařeny ke kovovým čepičkám a nalisovány na konce keramického tělíska.



Metalizované a metaloxidové rezistory

Dalším způsobem vytvoření tenké vrstvy je vakuové napaření kovu, případně oxidu kovu, na keramické tělísko. Tyto rezistory se nazývají metalizované nebo metaloxidové



Každá z konstrukcí rezistoru má své výhody a nevýhody. Například drátový rezistor je vhodnější pro vyšší výkony, ale má vysokou sériovou indukčnost, která vadí ve vysokofrekvenční technice.

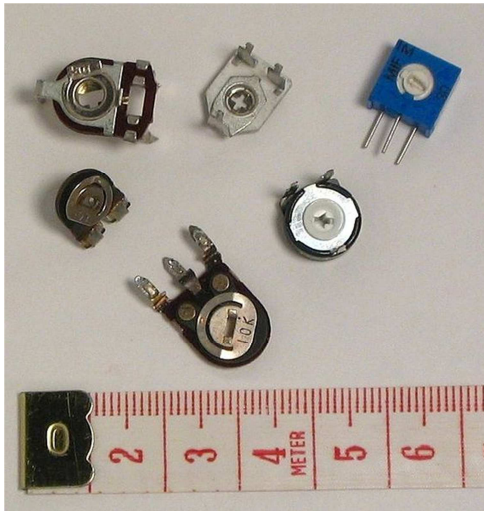
Potenciometry

Nejjednodušší potenciometr se skládá z odporové dráhy, po níž se ovládacím prvkem pohybuje jezdec. Pokud je tento jezdec na otáčivé ose, mluvíme o otočném potenciometru, pokud je jezdec posuvný lineárně, mluvíme o tahovém potenciometru. Odporová vrstva je obvykle realizována vrstvou uhlíku, ale používají se i potenciometry s kovovou vrstvou, odporovým drátem nebo vodivým plastem. Odporová hmota bývá nanášena na vhodnou podložku (plast, tvrzený papír, pro vysoké nároky keramika), také může být tvořena hmotou, vlisovanou do drážky v podložce nebo výliskem z odporového materiálu. V případě drátových potenciometrů bývá drát navinut na těleso vhodného tvaru (tyč, trubka, pruh izolantu) ať už přímého tvaru, nebo svinutého do části kruhu či spirály. Jezdec bývá tvořen jedním nebo více kovovými perky, výliskem z elektrografitu, vodivého plastu apod.



Trimr

Konstrukčně je odporový trimr řešen podobně jako potenciometr, avšak nastavení trimru je prováděno při oživování, nastavování a cejchování zařízení (obvodu), a proto trimry nejsou obvykle přístupné uživateli zařízení, v němž jsou vestavěny, a nastavení probíhá nástrojem (např. jemným šroubovákem).



Odporový trimr je obvykle zapojován jako napěťový dělič (odporový dělič se třemi vývody) nebo tzv. reostat – proměnný rezistor (běžec je spojen s krajním vývodem nebo druhý krajní vývod není zapojen). Trimr mívá oproti potenciometru jednodušší mechanickou stavbu, menší rozměry a podstatně menší mechanickou životnost. Elektrické vlastnosti mohou být shodné.

Reostat

Reostat je nastavitelný nebo alespoň přepínatelný rezistor. Realizován bývá jako drátový rezistor, navinutý na izolačním tělese a s posuvným jezdcem. Posuvné reostaty mohou mít pružinovou aretaci, například laboratorní: pro posunutí jezdce je pak třeba jeho držadlo pro uvolnění zamáčknout. Účelem této součástky je jednorázové nastavení požadované hodnoty. Reostat není určen k průběžnému častému nastavování o drobné přírůstky hodnoty.



Dnes se s ním setkáme hlavně v laboratořích nebo u historických zařízení, protože byl z praktického nasazení téměř všude vytlačen polovodičovými prvky díky jeho velkým výkonovým ztrátám.

Aripot

Aripoty jsou vlastně víceotáčkové potenciometry, které umožňují jemné ovládání a nastavení hodnoty odporu.

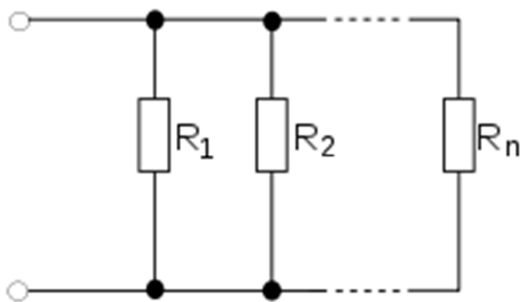


1.3.3 Spojování rezistorů

Rezistory je možné spojovat (neboli řadit) sériově (za sebou) nebo paralelně (vedle sebe).

Paralelní řazení rezistorů

Při paralelním řazení je na všech rezistorech stejné napětí a proud se dělí podle Ohmova zákona. Celkový odpor R_c je dán součtem převrácených hodnot jednotlivých odporů ($1/R$).



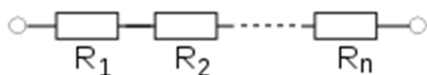
$$\frac{1}{R_c} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}$$

Jako symbol paralelního spojení rezistorů se používají dvě čárky „||“. Pro dva rezistory spojené paralelně lze použít zjednodušený vztah:

$$R_c = R_1 || R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

Sériové řazení rezistorů

Při sériovém řazení teče všemi rezistory stejný proud a napětí se rozloží na každý rezistor podle Ohmova zákona. Celkový odpor R_c je tady dán součtem jednotlivých odporů.

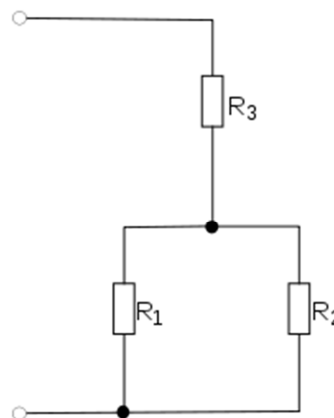


$$R_c = R_1 + R_2 + \dots + R_n = \sum_{i=1}^n R_i$$

Sériově-paralelní spojení rezistorů

Pro výpočet kombinace sériového a paralelního řazení použijeme oba předchozí vztahy. Například celkový odpor R_c tohoto zapojení je dán:

$$R_c = (R_1 \parallel R_2) + R_3 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + R_3$$



1.4 Kondenzátory

Kondenzátor je pasivní elektronická součástka používaná v elektrických obvodech k dočasnému uchování elektrického náboje, a tím i k uchování potenciální elektrické energie. Někdy se také užívá pojmu kapacitor. Pokud se mluví o kapacitoru, je tím myšlena ideální součástka, jejíž jedinou vlastností je kapacita. Jako kondenzátor se označuje součástka skutečná, která má kromě kapacity i další parazitní vlastnosti.

Pokud budeme vybírat kondenzátor pro konkrétní užití, budou nás zajímat především následující vlastnosti:

- kapacita
- maximální povolené napětí
- činitel jakosti
- další vlastnosti jako cena, hmotnost, trvanlivost, teplotní stálost, tvar...

1.4.1 Kapacita kondenzátoru

Kapacita C kondenzátoru závisí na ploše S jeho desek, vzájemné vzdálenosti d desek mezi sebou a permitivitě ϵ dielektrika mezi deskami:

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{S}{d}$$

(platí jen pro deskový kondenzátor)

Na desku kondenzátoru s kapacitou **C** lze uložit elektrický náboj:

$$Q = CU$$

(Kapacita × Napětí)

$$Q = It$$

(Proud × Čas)

Kde **U** je elektrické napětí mezi deskami kondenzátoru. Jednotkou kapacity je farad v soustavě SI:

$$[F] = [m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2]$$

Základní vlastností pro hodnocení kondenzátoru je jeho elektrická kapacita, technicky je kondenzátor určen maximálním povoleným napětím, druhem dielektrika a provedením vývodů.

1.4.2 Rozdělení a konstrukce kondenzátorů

Podle tvaru lze rozlišit kondenzátory deskové, válcové, kulové, svitkové (svinutý dlouhý vodivý pás oddělený izolantem).

Podle hodnoty kapacity se dělí na pevné a proměnné - otočné, kapacitní trimr, varikap (jedná se o polovodičovou diodu).

Podle použitého dielektrika se kondenzátory dělí na:

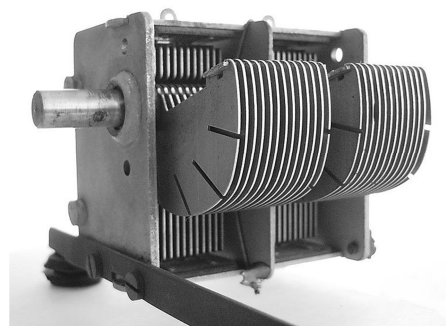
- vzduchový (otočný)
- papírový (s papírovým dielektrikem)
- elektrolytický
- keramický
- plastový
- slídový

Vzduchový otočný kondenzátor

Je nejstarší typ proměnného kondenzátoru. Má dvě hlavní součásti, rotor a stator. Na rotoru i statoru jsou umístěny desky, které se otáčením zasouvají a vysouvají do sebe. Tím se mění aktivní S desek a současně i C. Jako dielektrikum je použit vzduch, někdy můžeme najít i polystyren, olej nebo jiné látky.

Otočný kondenzátor umožňuje zasouváním desek mezi sebe měnit účinnou plochu

desek, a tím i měnit kapacitu kondenzátoru. Desky mohou mít tvar polokruhu (kapacita pak závisí lineárně na natočení) nebo ledvinovitý (obvykle logaritmický průběh změny kapacity).



Papírový kondenzátor

Dielektrikum tvoří kondenzátorový papír. Elektrody jsou tvořeny hliníkovou fólií s vývody. Kondenzátorový papír včetně elektrod je svinut do válce. Někdy je hliník nahrazen pokovením fólie (z obou stran), takový kondenzátor je označován jako metalizovaný (MP). Toto provedení je odolné proti průrazu napěťovými špičkami a dochází k obnovení funkčnosti po průrazu vypálením poškozeného místa na fólii.



Elektrolytický kondenzátor

Je podstatně odlišný od jiných typů kondenzátorů. Elektrody mají velký povrch, který je tvořen nepravidelně naleptanou strukturou povrchu hliníku. Katoda je tvořena vodivým elektrolytem, který může být jak tekutý, polosuchý nebo pevný. Anoda je tvořena čistou hliníkovou fólií, na které je vrstvička Al_2O_3 (oxid hlinitý) nebo fólií z čistého sintrovaného tantalu, na které je vrstvička Ta_2O_5 (pentoxid tantalu), tato vrstvička je dielektrikum.

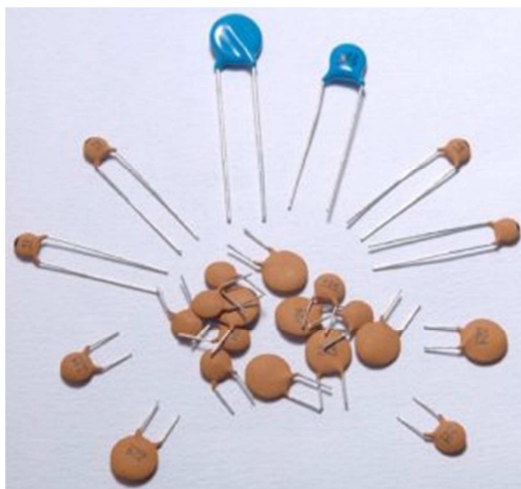


Jeho výhodou je vysoká měrná kapacita, nevýhodou naopak to, že nesmí být přepólován a obvykle snese oproti jiným typům jen velmi nízké napětí. Pokud kondenzátor není dlouhou dobu pod napětím, jeho kapacita se zmenší. Do

jisté úrovně se dá zase obnovit připojením stejnosměrného proudu. Pokud je elektrolyt kapalný, časem vysychá - ve straších zařízeních je pak nutné elektrolytické kondenzátory měnit.

Keramický kondenzátor

Jako dielektrikum je použita speciální keramika s velkou permitivitou a malým ztrátovým činitelem. Většinou se vyrábí sintrováním keramického prachu při 1 100 až 1 900 °C do požadovaného tvaru. Vyrábí se jak pro vývodovou montáž, tak i pro povrchovou montáž SMD. Dle tvaru se dělí na terčové, destičkové, průchodkové.



Plastový kondenzátor



Jako dielektrikum je zde použita plastová fólie a kondenzátor je zpravidla řešen jako svitkový. Plastem je zde nejčastěji polystyren, polyester, polypropylen, terylén, teflon. Tyto kondenzátory se vyznačují velkou elektrickou pevností, malým ztrátovým činitelem a velkým izolačním odporem.

Slídový kondenzátor

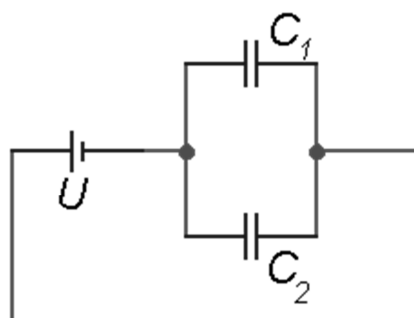
Slídové kondenzátory používají jako dielektrika slídu s relativní permitivitou od 3 do 7 (podle naleziště). Poměrně malá hodnota a nevhodné mechanické vlastnosti dielektrika (nedá se stáčet do svitků) jsou vyváženy malými ztrátami, velkou časovou i teplotní stabilitou a úzkými tolerancemi a hodí se do vysokofrekvenčních obvodů. Elektrody mají zhotoveny napařováním nebo nastříkáním stříbrné barvy na tenké destičky z jakostní slídy. Jednotlivé destičky jsou spojeny paralelně, aby se dosáhlo dostatečné kapacity. Slídové kondenzátory vynikají



1.4.3 Spojování kondenzátorů

Paralelní zapojení kondenzátorů

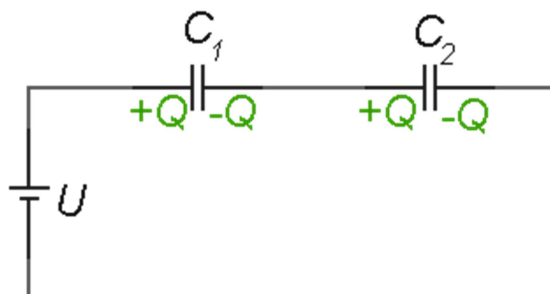
Paralelní zapojení kondenzátorů je charakterizováno tím, že se oba kondenzátory nabíjí na napětí zdroje U , k němuž jsou připojeny. Na vodivé desky musíme přivést celkový náboj $Q = Q_1 + Q_2$.



Do vztahu lze dosadit a dále upravit: $Q = U \cdot C_1 + U \cdot C_2 = U (C_1 + C_2) = U \cdot C$
 Soustava se tedy chová jako kondenzátor s kapacitou $C = C_1 + C_2$.

Sériové zapojení kondenzátorů

Sériové zapojení kondenzátorů se vyznačuje vznikem nábojů $+Q$ a $-Q$ na deskách spojených se svorkami zdroje. Na zbývajících, vzájemně spojených deskách se elektrostatickou indukcí vytvoří náboje stejně velké, ale opačného znaménka. Napětí se rozdělí na oba kondenzátory tak, aby platilo $U = U_1 + U_2$.



Po dosazení a úpravě dostaneme:

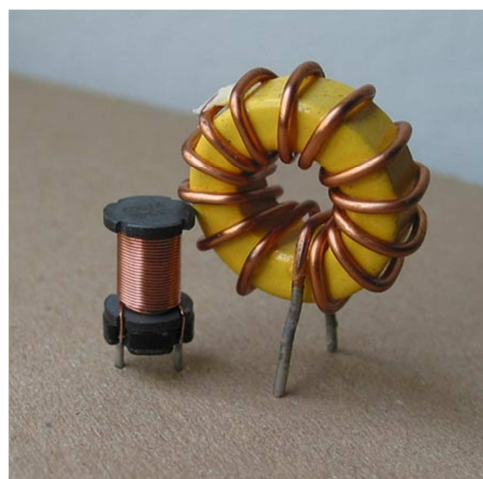
$$U = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} = Q \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right) = \frac{Q}{C}$$

Soustava se chová jako jediný kondenzátor, pro nějž platí: $\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots$

1.5 Cívky

Cívka je elektrotechnická součástka zhotovená navinutím vodiče v jedné nebo více vrstvách na kostře.

V obvodu stálého stejnosměrného proudu se cívka projevuje pouze svým elektrickým odporem. Okolo cívky se průchodem stejnosměrného proudu vytváří stálé magnetické pole. Magnetický indukční tok závisí přímo úměrně na indukčnosti cívky a velikosti proudu. Indukčnost cívky a tím i magnetické pole je možno zesílit vložení jádra – magnetického obvodu do cívky.



V obvodu střídavého proudu vzniká kolem cívky proměnné magnetické pole, které v cívkce indukuje elektromotorické napětí. Indukované napětí působí vždy proti změnám, které je vyvolaly (Lenzův zákon), což má za následek vznik impedance, u cívky nazývané induktance, tj. odpor cívky proti průchodu střídavého proudu. Induktance závisí přímo úměrně na indukčnosti cívky a frekvenci střídavého proudu. Ideální cívka posouvá napětí o 90° před proud ve střídavých obvodech.

1.5.1 Indukčnost

Cívkou získáme potřebnou indukčnost L jejíž jednotkou je henry (H). Indukčnost je závislá na stavbě cívky, počtu závitů a na materiálu jádra.

Základní definice indukčnosti je dána vztahem:

$$L = \frac{\Phi}{I}$$

Φ	magnetický indukční tok smyčkou
I	elektrický proud

Indukčnost lze spočítat z geometrických vlastností cívky a materiálu jádra. Pro cívku, jejíž délka je mnohem větší než poloměr (solenoid), platí vztah:

$$L = \frac{\mu N^2}{l} S$$

μ	permeabilita prostředí
N	počet závitů cívky
l	délka cívky
S	obsah průřezu cívky

Cívka je dále charakterizována činitelem jakosti Q. Je to veličina frekvenčně závislá. Velký činitel jakosti znamená, že cívka bude mít malé ztráty, které způsobuje ohmický odpor vinutí, vířivé proudy povrchový jev neboli skin efekt.

1.5.2 Rozdělení a konstrukce cívek

Cívky se rozdělují **podle provedení** na cívky:

- Bez jádra – řádově μH , využívá se v obvodech s frekvencemi v MHz
- S jádrem – podle druhu jádra dosahují indukčnosti až 100mH nebo 10H (tlumivky)

Jádra jsou z magneticky vodivého materiálu s malými hysterezními ztrátami.

Podle frekvence na:

- VF cívky – používají šroubovaná jádra
- NF tlumivky – jádro z magnetického obvodu, používají se pro frekvence cca 50Hz

Podle druhu vinutí na:

- vinutí vrstevné
- křížové vinutí
- vinutí pyramidové
- vinutí v sekcích

1.6 Shrnutí



Mezi pasivní prvky elektronických obvodů patří rezistory, kondenzátory a cívky.

Tyto prvky se rozdělují na různé druhy podle různých kritérií.

Rezistory jsou charakterizovány elektrickým odporem a výkonovou ztrátou.

Kondenzátory jsou charakterizovány svou kapacitou a maximálním napětím

Vlastností cívky je její indukčnost a činitel jakosti.

1.7 Otázky



- e) Vysvětlete, jak se projeví změna průřezu drátu na odporu rezistoru
- f) Jak se u rezistorů dosahuje vyšších hodnot odporu?
- g) Co jsou to aripoty?
- h) Jak se změní kapacita kondenzátoru, když oddálíme desky na dvojnásobek vzdálenosti?
- i) Definujte veličinu indukčnost.
- j) Proč mají některé cívky horší činitel jakosti?

1.8 Odkazy na zdroje



TKOTZ, K. Příručka pro elektrotechniky. Europa-Sobotáles, Praha 2006. ISBN 80-86706-13-3.

MALINA, V. Poznáváme elektroniku I. KOOP, České Budějovice, 2003.

<http://cs.wikipedia.org>

<http://www.gme.cz/>

<http://www.ges.cz/cz/>

Fakulta výrobních technologií a managementu

Univerzity J. E. Purkyně v Ústí nad Labem

Na Okraji 1001

400 96 Ústí nad Labem

Internet: www.fvtm.ujep.cz

Tel.: 475 285 511

Fax: 475 285 566

E-mail: kontakt@fvtm.ujep.cz

Světlo, zdroje světla

Jaroslav ZUKERSTEIN

Metodická příručka pro tematický celek



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Tato metodika vznikla v rámci projektu „Věda pro život, život pro vědu“, reg. číslo CZ.1.07/2.3.00/45.0029.

Anotace:

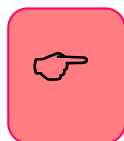
Text se zabývá problematikou elektrického světla a zdrojů světla, uvádí fyzikální podstatu světla, základní fakta, mísení světla a klasifikuje zdroje světla včetně jejich popisu a základních charakteristik. Kapitoly jsou doplněny cílem, klíčovými slovy, shrnujícími informacemi a odkazy na použité zdroje.

OBSAH

1. Světlo, zdroje světla.....	3
1.1 ☞ Cíl kapitoly.....	3
1.2 ⇌ Klíčová slova.....	3
1.3 Světlo jako elektromagnetické vlnění	3
1.3.1 Základní fakta.....	3
1.3.2 Zdroje světla.....	5
1.3.3 Disperze světla.....	5
1.4 Míchání barev.....	6
1.4.1 Aditivní míchání barev.....	6
1.4.2 Subtraktivní míchání barev.....	7
1.5 ✓ Shrnutí.....	8
1.6 ? Otázky.....	8
1.7 📖 Odkazy na zdroje.....	9
2. Elektrické zdroje světla.....	10
2.1 ☞ Cíl kapitoly.....	10
2.2 ⇌ Klíčová slova.....	10
2.3 Žárové zdroje světla	10
2.3.1 Žárovky klasické.....	10
2.3.2 Žárovky halogenové.....	11
2.4 Výbojové zdroje světla.....	12
2.4.1 Elektrický proud v plynech.....	13
2.4.2 Svítící trubice.....	14
2.4.3 Rtuťové výbojky.....	14
2.4.4 Sodíkové výbojky.....	16
2.4.5 Halogenidové výbojky.....	17
2.4.6 Xenonové výbojky.....	18
2.4.7 Směsové výbojky.....	18
2.4.8 Kompaktní zářivky indukčně buzené	19
2.5 ✓ Shrnutí.....	19
2.6 ? Otázky.....	19
2.7 📖 Odkazy na zdroje.....	20

3. Světlo, zdroje světla

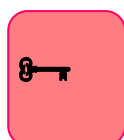
1.7 Cíl kapitoly



Hlavními cíli kapitoly jsou:

- seznámit čtenáře se světlem jako součástí spektra elektromagnetického vlnění,
- vlnovými délkami viditelného světla,
- základním rozdělením zdrojů světla
- a se způsoby míchání barev.

1.8 Klíčová slova



světlo, elektromagnetické vlnění, zdroje, vlnové délky, barvy

1.9 Světlo jako elektromagnetické vlnění

Světlo vyvolává v lidském oku světelný vjem. Pomocí světla získáváme nejdůležitější informace o světě kolem nás. U světla rozeznáváme jeho intenzitu, jiná je v poledne a jiná při stmívání, a barvu, která závisí na vlnových délkách obsažených ve světle. Rozsah vnímaných vlnových délek je dán především tím, že v oblasti viditelného světla je maximum elektromagnetického záření ze Slunce dopadajícího na zemský povrch, a tudíž je v tomto rozsahu nejlépe vidět.

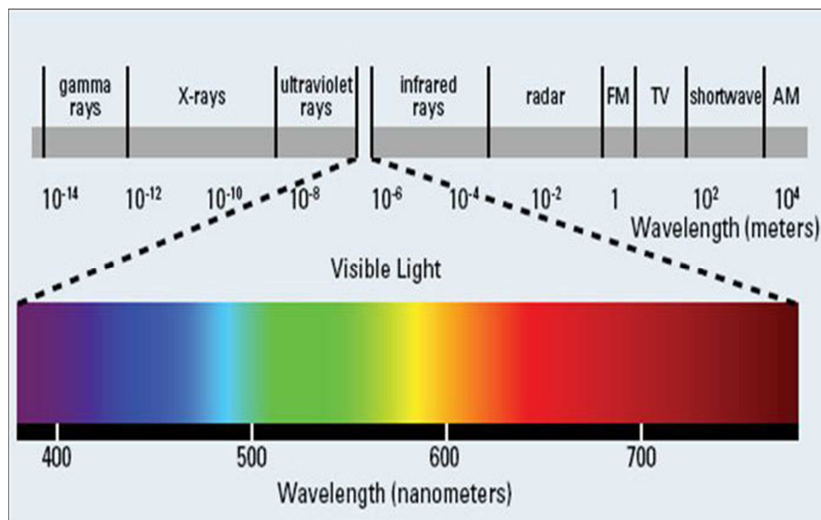
1.9.1 Základní fakta

Světlo je **elektromagnetické vlnění** určitých vlnových délek 390 – 760 nm. ($\lambda = 7,6 \cdot 10^{-7} - 3,9 \cdot 10^{-7} \text{ m} \rightarrow 760 \text{ nm} - 390 \text{ nm}$) Na tyto vlnové délky je citlivé oko. Šíří se v optickém prostředí. Ve vakuu se šíří rychlostí $3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$, v látkovém prostředí je rychlost světla menší. Od zdroje se šíří v kulových vlnoplochách. Ve velké vzdálenosti lze považovat kulové plochy za rovinné.

Světelný paprsek je přímka kolmá na vlnoplochu, udává směr šíření ve stejnorodém optickém prostředí. Ve stejnorodém optickém prostředí se světlo šíří přímočaře.

Světelné spektrum je část elektromagnetického spektra, ve kterém je zobrazena závislost barev světla na vlnových délkách:

- červená (650 nm)
- oranžová (600 nm)
- žlutá (580 nm)
- zelená (525 nm)
- modrá (450 nm)
- fialová (400 nm)



Uvedené vlnové délky jsou střední vlnové délky pro dané barvy – podobný odstín je i pro okolní vlnové délky.

Fotometrické veličiny

Veličina	Definice
Světelný tok Φ	Světelná energie za jednotku času procházející určitou plochou, někdy označovaný jako světelný výkon [lm].
Svítivost I	Veličina udává, kolik světelného toku vyzáří světelný zdroj nebo svítidlo do prostorového úhlu v určitém směru, měří se fotometricky. Jednotky [cd], [lm.sr ⁻¹]. Jedná se o základní jednotku SI.
Jas L	Světelný tok do jednotkového prostorového úhlu na "promítnutou" jednotkovou plochu zdroje. Jas je měřítkem pro vjem světlosti svítícího nebo osvětlovacího tělesa jak je vnímá lidské oko, měří se fotometricky, jednotky [lm.m ⁻² .sr ⁻¹], [cd.m ⁻²].
Intenzita osvětlení (osvětlenost) E	Veličina udává jak je určitá plocha osvětlována, tj. kolik lm světelného toku dopadá na plochu 1m ² , jednotka [lx].
Světelná účinnost K	Světelná účinnost zdroje vyjadřuje, jak účinně zdroj mění vstupní energii na viditelné světlo, také poměr světelného toku k zářivému toku [lm.W ⁻¹]

1.9.2 Zdroje světla

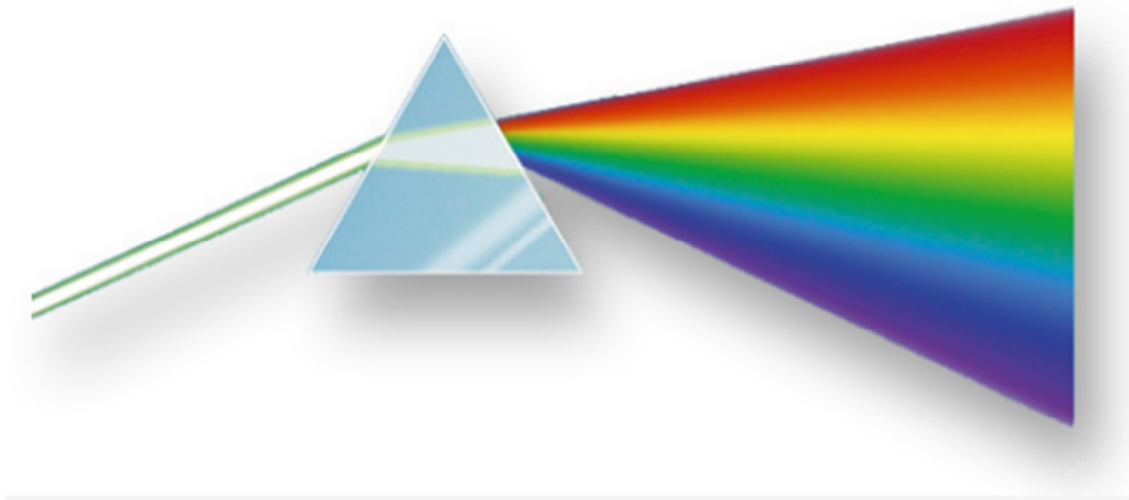
Rozdělení zdrojů světla podle původu

Přírodní		Umělé	
	slunce		žárovky
	oheň		výbojky
	hvězdy		lasery
	luminiscence		LED
	blesk		

- chromatické: složené ze světla více vlnových délek, např. bílé světlo (složené ze sedmi barev)
- monochromatické: 1 vlnová délka - laser

1.3.3 Disperze světla

Při lomu světla dochází k tomu, že se rozkládá na jednotlivé vlnové délky. Příčinou toho je závislost rychlosti světla v látkách na frekvenci – disperze světla. Při normální disperzi se rychlost světla zmenšuje s frekvencí. Ve vakuu k disperzi nedochází.



Index lomu optického prostředí závisí na frekvenci světla a při normální disperzi se s rostoucí frekvencí zvětšuje \Rightarrow fialová se láme více než červená. Nejznámějším příkladem je pravděpodobně duha, která vznikne, když disperze způsobí částečné rozdělení bílého světla na složky kvůli rozdílné vlnové délce jednotlivých barev.

1.4 Míchání barev

V oblasti světla, světelných zdrojů a tisku se uplatňuje míchání barev. Barevný model používá základní barvy a mísení těchto základních barev do výsledné barvy. Barva světla je totiž dána v nejjednodušších případech i jedinou vlnovou délkou viditelného záření, běžně v přírodě však jde o směs mnoha záření různých vlnových délek, ba dokonce o směsi celých spojitých spekter. Možných kombinací je mnoho, lidské oko z nich navíc vnímá pouze některé. Barevné modely pak popisují v rámci daného prostoru především relativní poměry jednotlivých bodů snímku mezi sebou vzájemně, než aby bylo cílem měření jednoho bodu jako takového. Různé barevné modely se navíc sice snaží napodobit barvy co nejděleji, v praxi se však používají modely, u kterých je zvolen vhodný kompromis mezi přesností podání barevného dojmu na jedné straně a složitostí konkrétního modelu a obtížností jeho použití na straně druhé.

První nejznámější model je **RGB**, uplatňuje se u televize, monitorů, digitální fotografie, světelných zdrojů a dalších aplikací. Druhý nejznámější je model **CMYK**, používá se především pro tisk.

1.4.1 Aditivní míchání barev

Je takový způsob míchání barev, kdy se jednotlivé složky barev sčítají a vytváří světlo větší intenzity. Výsledná intenzita se rovná součtu intenzit jednotlivých složek. Pracuje se třemi základními barvami: červená, zelená a modrá (RGB).

Aditivní míchání barev odpovídá vzájemnému prolínání tří barevných kuželů světla ze tří reflektorů na bílém plátně. Každý reflektor má filtr odpovídající základní barvě.

Část plátna, která je osvětlená rovnoměrně všemi třemi reflektory, je bílá. Když smícháme jen dvě barvy světla, např. červené a zelené, dostaneme barvu žlutou. Budeme-li clonou měnit poměr intenzity obou světél, dostaneme různé barevné odstíny mezi těmito barvami.



Modrá a zelená barva ve stejném poměru dávají azurovou barvu, červená a modrá dávají barvu purpurovou. Smícháním dvou základních barev vznikne třetí, základní barva, která je barvou komplementární (doplňkovou).

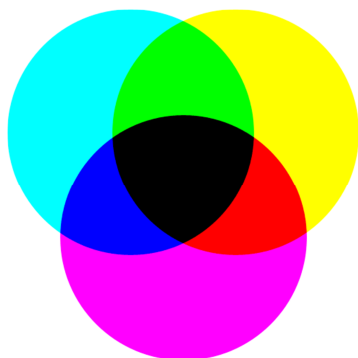
Barevný model RGB neboli **červená-zelená-modrá** je aditivní způsob míchání barev používaný ve všech monitorech a projektorech (jde o míchání vyzařovaného světla), tudíž nepotřebuje vnější světlo (monitor zobrazuje i v naprosté tmě).

Každá barva je udána mohutností tří základních barev – komponent (červené - red, zelené – green a modré – blue, odtud RGB). Základní barvy mají vlnové délky 630, 530 a 450 nm. Mohutnost se udává buď v procentech (dekadický způsob) nebo podle použité barevné hloubky jako určitý počet bitů vyhrazených pro barevnou komponentnu (pro 8 bitů na komponentu je rozsah hodnot 0 – 255), přičemž čím větší je mohutnost, tím s vyšší intenzitou se barva komponenty zobrazuje. Čím větší je součet mohutností, tím světlejší je výsledná barva. Základní směsi jsou:

R	G	B	barva	barva	poznámka
0	0	0	černá	černá	
255	0	0	červená	červená	
0	255	0	zelená	zelená	
0	0	255	modrá	modrá	
255	255	0	žlutá	žlutá	viz CMYK
255	0	255	purpurová	purpurová	viz CMYK
0	255	255	azurová	azurová	viz CMYK
255	255	255	bílá	bílá	

1.4.2 Subtraktivní míchání barev

Subtraktivní míchání barev je způsob míchání barev, kdy se s každou další přidanou barvou ubírá část původního světla. Pokud například skládáme na sebe barevné filtry nebo mícháme pigmentové barvy, mícháme je subtraktivní metodou.



Světlo prochází jednotlivými barevnými vrstvami a je stále více pohlcováno. Výsledná barva se skládá z vlnových délek, které zbudou po odrazu nebo průchodu filtrem.

Základní barvy jsou: žlutá, azurová, purpurová. Základní barvy subtraktivního míchání jsou komplementární (doplňkové) k základním barvám při jejich aditivním

míchání. Smícháním modrozelené a žluté barvy vznikne barva zelená, žluté a purpurové barva červená a purpurové a modrozelené barva modrá. Smícháním všech tří základních barev dostaneme barvu černou.

Obrácený systém CMYK je tedy subtraktivní systém, kdy pro každou jeho barvu (kromě černé) je použita směs dvou základních barev RGB s maximální mohutností. CMYK je barevný model založený na subtraktivním míchání barev (mícháním od sebe barvy odčítáme, tedy omezujeme barevné spektrum, které se odráží od povrchu). CMYK se používá především u reprodukčních zařízení, která barvy tvoří mícháním pigmentů (např. inkoustová tiskárna). Model obsahuje čtyři základní barvy:

- azurovou (Cyan)
- purpurovou (Magenta)
- žlutou (Yellow)
- černou (black), označovanou také jako klíčovou (Key).

V ideálním případě by byly postačující pouze první tři barvy (model CMY), jejichž subtraktivním složením dohromady by měla vzniknout černá barva. Ve skutečnosti však při použití běžných barviv vzniká barva tmavě šedivá, a zároveň je na rozdíl od ostatních barev černá výrazně levnější, proto většina tiskových zařízení používá ještě čtvrtou černou barvu.

1.5 Shrnutí



Světlo je elektromagnetické vlnění o vlnových délkách 390 – 760 nm. Viditelné spektrum obsahuje barvy od červené po fialovou, které lze pozorovat při rozkladu hranolem (disperze). Zdroje světla se rozdělují na přírodní a umělé. Nejznámější barevné modely jsou RGB (aditivní míchání barev) a CMYK (subtraktivní míchání barev).

1.6 Otázky



- k) Určete rozmezí frekvencí viditelného světla.
- l) Jmenujte některé umělé zdroje světla.
- m) Vysvětlete pojem disperze.
- n) Jmenujte základní barvy modelu RGB a CMYK.
- o) Definujte veličinu „Intenzita osvětlení“.
- p) Co je příčinou vzniku duhy?

1.7 Odkazy na zdroje



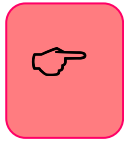
PLCH, J. Světelná technika v praxi. Praha, IN-EL, 1999. ISBN 80-86230-09-0.

<http://cs.wikipedia.org>

<http://www.lvdosvetleni.cz/O-svetle/>

2. Elektrické zdroje světla

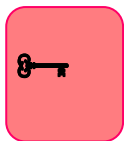
2.1 Cíl kapitoly



Hlavními cíli kapitoly jsou:

- získat znalosti o základním rozdělení světelných zdrojů
- seznámit se s principem, konstrukcí a charakteristikami žárových zdrojů,
- seznámit se s principem, konstrukcí a charakteristikami výbojových zdrojů

2.2 Klíčová slova



Žárové zdroje světla, výbojové zdroje světla, charakteristiky, konstrukce

2.3 Žárové zdroje světla

Žárové zdroje vydávají světlo z vlákna, kterým prochází elektrický proud. Do teploty 500 °C zdroj vydává převážně záření infračervené a tepelné, tzv. sálavé teploty. Od teploty 1300 °C je zbarvení žluto-červené, od teploty 1600 °C je zbarvení žluté až bílé. Z vyzářené energie je cca 92 % energie tepelná a z 8% je energie světelná. Žárové zdroje obsahují všechny barvy.

2.3.1 Žárovky klasické

Technologicky výrobu žárovky zvládl Thomas Alva Edison v roce 1879, na trh byly žárovky uvedeny v provedení s bambusovým vláknem a standardní šroubovací patičí E27 v roce 1881. Edison ale není vynálezcem žárovky. Jeho předchůdcem byl Heinrich Göbel. První pokusy se žárovkou (princiálně vznik světla žhavením materiálů průchodem elektrického proudu) lze datovat k roku 1805 (Humphry Davy). Jako datum jejího vynalezení je často uváděn rok 1854 a jméno Göbel (Goebel), ale výrobou žárovky v soudní síni Edison dokázal, že prvenství ve využití patří jemu. Původní Edisonovy žárovky měly uhlíkové vlákno (zuhelnatělý bambus),



Vlákno je z wolframu a teplota vlákna žárovky vakuové je asi 2000 °C. V žárovce plněné plynem je teplota vlákna až 2600 °C. Čím větší je teplota vlákna, tím větší je výkon žárovky. Do 25 W jsou žárovky vakuové, nad 25 W jsou žárovky plněné plynem nejčastěji argonem nebo kryptonem s dusíkem. Klasické žárovky mají baňku obvykle z měkkého sodno-vápenatého skla. Životnost žárovky je asi 1000 hodin.

Patice žárovek mohou být různé, například bajonetové nebo závitové. Závitové patice mají Edisonův závit a značí se písmen E a průměrem závitu.

E10 (trpasličí závit)

E14 (malý závit - Mignon)

E27 (střední závit - „normální“)

E40 (velký závit - Goliáš)

2.3.2 Žárovky halogenové

Halogenové žárovky jsou také žárovkami. Obsahují totiž vlákno z wolframu v malé průhledné baňce plněné inertním plynem a malým množstvím halogenu (jód, brom). Standardní halogenové žárovky jsou ve skutečnosti jenom zdokonalené klasické žárovky. Halogenové žárovky mohou fungovat při vyšší teplotě než klasické plynem plněné žárovky, což umožňuje jejich vyšší účinnost (10–30 lm/W).



Barva světla je bělejší než u klasických žárovek. Obvykle platí, že s rostoucí životností výrobku klesá účinnost a naopak, takže výrobky s vyšší životností vykazují výrazně nižší účinnost.

Nová technologie zlepšené halogenové žárovky plněné xenonem nebo kryptonem umožňuje ve srovnání s klasickými žárovkami o 25–30 %, někdy až o 50 % vyšší účinnost při stejném světelném výstupu.

Vylepšené halogenové žárovky mají ve srovnání s klasickými žárovkami (1000 h) vyšší životnost – asi 2000–3000 hodin.

Výhody

- a) teplota vlákna může být vyšší než u obyčejných žárovek
- b) stěna baňky nečerná
- c) na baňce nekoroduje wolfram, průměr baňky se může volit menší.

2.4 Výbojové zdroje světla

Světlo vzniká při elektrickém výboji v ionizovaných plynech, v kovových parách nebo v jejich směsi. Ionizovaný plyn obohacuje nosiče elektrického náboje - elektrony a ionty a stává se elektricky vodivý. Odpor výboje klesá s rostoucím proudem, proto nelze výbojové zdroje připojovat na síť přímo, ale vždy jen s předřadníkem. Tím může být rezistor nebo tlumivka, například rozptylový transformátor.

Rozdělení výbojových zdrojů:

a) Podle elektrod

- se studenými elektrodami (neónové, rtuťové a sodíkové výbojky).
- s elektrodami žhavenými po celou dobu svícení, výboj je nesamostatný, sám se bez žhavení elektrod neudrží.
- žhavicí elektrody se používají jen pro zapálení výboje, např. u zářivek.

b) Podle náplně

- Plynem (dusík, oxid uhličitý, vzácné plyny neón, hélium, argon, krypton).
- Kovovými parami (rtuť a sodík). V rtuťových výbojkách získávají požadované zbarvení povlakem stěn trubic – luminofor, což je látka, která po ozáření vydává zářivou energii na vyšších vlnových délkách, než je záření, které luminofor přijal.

c) Podle tlaku plynu nebo par

- nízkotlaké
- vysokotlaké

2.4.1 Elektrický proud v plynech

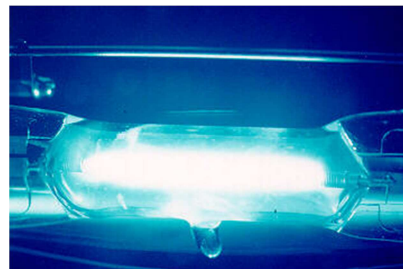
Elektrický proud v plynech se za normálních podmínek nevyskytuje, ale může se vyskytovat za zvláštních podmínek. Tyto podmínky musí v plynu způsobit vznik volných částic s elektrickým nábojem, typicky elektronů.

Podmínky, za kterých se plyn stane vodivým, jsou:

- silné elektrické pole (elektrický výboj)
- vysoká teplota (elektrický oblouk)
- nízký tlak plynu

Elektrický výboj

Silné elektrické pole způsobí vytrhávání elektronů z atomů a molekul plynu (ionizaci plynu). Elektrický proud za této podmínky se nazývá elektrický výboj (též jiskrový výboj nebo bleskový výboj, jiskra, ap.) a je tvořen směsí volných elektronů a kladných, příp. záporných iontů v plynu. Elektrický výboj trvá většinou krátce - do doby vybití vnějšího elektrického pole - ale může jít o velmi velký vyrovnávací zkratový proud, protože se jedná o krátkodobé uvolnění nahromaděné potenciální elektrické energie a volných nábojů. Elektrický výboj pozorujeme při bouřce jako blesk, kolem elektrického vedení s vysokým napětím, při spínání nebo vypínání silnějších elektrických spotřebičů, při vzájemném tření umělohmotných kusů oblečení, a podobně



Elektrický oblouk

Vysoká teplota znamená velkou kinetickou energii částic plynu, při jejichž nárazech může docházet k vytržení elektronů z atomů nebo molekul. Elektrický proud v plynu za vysoké teploty se nazývá elektrický oblouk a je tvořen směsí elektronů a iontů. Vyznačuje se velmi jasným světelným zářením, které se využívá v obloukových lampách. Vysoké teploty elektrického oblouku se rovněž využívá při obloukovém svařování, řezání plechů nebo v elektrických tavících pecích.

Elektrický výboj za nízkého tlaku

Snížením tlaku v plynu (vyčerpáním částic) dojde ke zvětšení střední volné dráhy částic plynu. Tím mohou částice dosáhnout větší rychlosti, a tedy kinetické energie dostatečné k ionizaci – vytrhávání elektronů z atomů a molekul plynu. Elektrický proud za této podmínky se nazývá elektrický výboj za nízkého tlaku (např. doutnavý výboj) a je způsoben směsí elektronů a iontů. Tento elektrický výboj se vyvolává v trubicích s vyčerpáním vzduchem (výbojové trubice, katodové trubice), případně naplněné nějakým plynem. Různé druhy plynu a různé tlaky vyvolávají různé světelné jevy, které se využívají mj. ve výbojkách, zářivkách a doutnavkách.

2.4.2 Svítící trubice

Výbojové zdroje se studenými elektrodami plněné vzácným plynem s nízkým tlakem. Mají tvar trubic a zapojují se do série. Na 1m délky trubice je zapalovací napětí 100 - 500 V. Zbarvení světla je závislé na náplni. Trubice byly původně plněny červeně zářícím neonem, a proto se jim často říká "neonové" trubice. Nemají žhavené elektrody a doutnavý výboj vzniká při vysokém napětí. Okamžitě startují i při nízkých teplotách. Plněním různými plyny - He, Ne, Ar, Hg a při užití různých luminoforů lze dosáhnout široké škály barevných světel. Měrná světelná účinnost je kolem 30lm/W. Používá se jich pro reklamní účely.

Neón - červené

Hélium - bílo-oranžové

Neón se rtutí - modré

Neon s argonem - zelené



2.4.3 Rtuťové výbojky

Zářivky

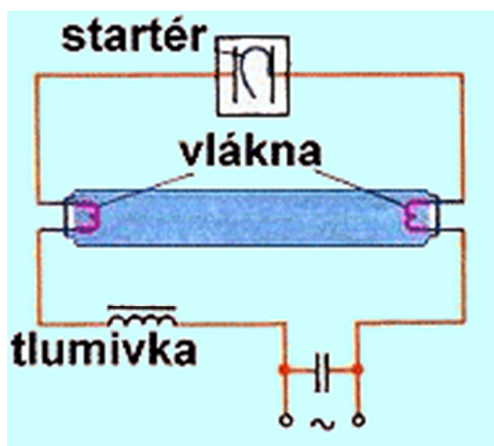
Zářivky jsou nízkotlakové rtuťové výbojky opatřeny dvěma až čtyřmi vrstvami luminoforu, které modifikují složení světelného spektra. Trubice je ze sodno-vápenatého skla, na koncích opatřená wolframovými elektrodami pokrytými emisní látkou na bázi uhličitanů barya, stroncia a vápníku.

Měrný světelný výkon je kolem 70lm/W, výkon 18-180W. Teplota v okolí má být 20-30 C, potom má zářivka největší světelný výkon. Menší teplota snižuje tlak Hg par, což vede k nižší energii UV záření. Naopak vyšší teplota generuje UV záření delších vlnových délek a fluorescenční efekt je menší.



Musejí být spouštěny jen s předřadníkem a startérem, který zajišťuje vyšší zápalné napětí 330V. Zářivka se připojuje na síťové napětí 230 V/50 Hz v sérii s tlumivkou. Elektrody se musí před zapálením nažhavit a potom zvýšením napětím zapálit, k tomu slouží zmíněný startér, nejčastěji doutnavkový. Doutnavka má 2 elektrody, jedna je pevná a druhá je z dvojkovu (bimetal). Za studena se elektrody nedotýkají, v doutnavce startéru, vznikne doutnavkový výboj, kterým se elektroda z dvojkovu

zahřeje a prohne. Až se obě elektrody spojí, od tohoto okamžiku prochází elektrodami zářivky velký elektrický proud a elektrody se rozžhaví na teplotu, při které dochází k emisím (náplň zářivkové trubice se ionizuje). V doutnavce se ochlazují



elektrody a opět se rozpojí. V zářivce se zapálí výboj a ta začne svítit, protože napětí na zářivce je menší než napětí doutnavky ve startéru, doutnavka již nezapálí. Kondenzátor ve startéru je asi 0,005 mF a zlepšuje zapalovací podmínky a omezuje rušení rozhlasu. Účinník zářivky s předřazenou tlumivkou je menší než 0,5 a kompenzujeme ho na hodnotu 0,95 kondenzátorem, jehož kapacita je pro příkon 40 W 4,5 mF a pro 120 W je 20 mF.

Světelná účinnost zářivek je až 4 krát větší než u klasických žárovek. V posledních letech jsou stále populárnější kompaktní zářivky, které jsou pětikrát účinnější než žárovky a mají oproti nim více než 8 krát delší životnost.

Vysokotlaké rtuťové výbojky s luminoforem

Baňka bývá naplněna směsí argonu a dusíku a opatřena luminoforem, náplň hořáku je rtuť a argon. Hlavní rozdíl oproti zářivkám je v tom, že u zářivek je luminofor přímo ve styku s výbojem, zatímco zde je samostatný hořák, ve kterém vzniká záření a tento hořák je teprve obklopen vnější baňkou s luminoforem. Oblouková výbojka je konstruována z křemenného skla a propouští UV záření. Hlavní wolframové elektrody jsou povlečeny emisní látkou, wolframem barya. Obsahuje dvě pracovní elektrody a jednu startující elektrodu, rtuť a příměs Ar, Ne, Kr. Po zapnutí elektrického obvodu vznikne mezi startující a hlavní elektrodou doutnavý výboj v argonu. Dochází k ionizaci rtuti a klesá vnitřní odpor. V okamžiku kdy je menší než vnější odpor, přeskočí výboj mezi hlavní elektrody. Ionizace se dále zvětšuje, a tím i světelný výkon výbojky.



Ve spektru jsou obsaženy spektrální čáry Hg:404,7nm, 546,1nm, 577,9nm a dále UV záření. Tlak uvnitř výbojky je 0,1-2MPa. Elektrické zapojení výbojky vyžaduje

předřadné zařízení. Bez luminoforu mají měrný výkon 50lm/W a vyzařují v modrozeleném spektru. Pro zavedení červené složky spektra se používají yttriumvanadátové luminofory, nanesené na vnitřní stěně vnější baňky z tvrdého boro-křemičitého skla. Jsou plněny směsí argonu a dusíku.

Tc	3000 - 3400 K
měrný výkon	36 - 55 lm/W
životnost	12000 až 15000 h

Použití:

Tyto výbojky jsou dnes vytlačovány ze svých pozic účinnějšími halogenidovými a vysokotlakými sodíkovými výbojkami. Velmi vhodné jsou např. při osvětlování zeleně (parky), hal apod.

2.4.4 Sodíkové výbojky

Nízkotlaké sodíkové výbojky

Nízkotlaké mají hořák ve tvaru U ze skla (tlak je několik Pascalu), hlavní náplň hořáku je sodík, pomocná náplň pro zapálení pomocného výboje je neon. Hlavní elektrody jsou z wolframu a jsou pokryty vrstvou barya pro usnadnění emise. Elektrody se rozžhaví na teplotu 800 °C. Až teď dochází k emisi. Tyto výbojky vykazují největší měrný výkon 175lm/W. Vlnová délka monochromatického žlutooranžového světla je = 589nm, a proto je při tomto světle barevné vidění silně omezeno. Vakuová trubice z borosilikátového skla tvaru U je plněna argonem a sodíkem. Výbojka je uvnitř vakuovaná -tlak je kolem 0,01Pa, teplota 250 C a je vložena do vnější vakuované skleněné trubice. Zápalné napětí má hodnotu 600V. Světlo je generováno elektrony ve výboji sodíkových par. Hořáky jsou vyrobeny z polykrystalického korundu, aby odolaly agresivitě sodíkových par.



Vysokotlaké sodíkové výbojky

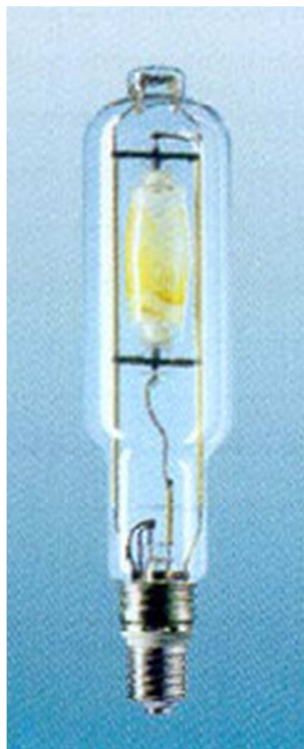
Vysokotlaká sodíková výbojka má tlak par cca 0,026MPa, teplota hořáku je 1250 °C. Světelný výkon je menší než u nízkotlakých výbojek. Hlavním zdrojem záření jsou páry sodíku, mimo sodíku je v hořáku také argon, neon a rtuť. Protože pracují při vysokých teplotách a mírném tlaku, projevuje se zde vysoký korozivní účinek sodíku. Proto mají hořák z křemičitanu hlinitého, trubici nebo baňku z keramického skla (oxid hlinitý, polykrystalický materiál).

Zápalné napětí je 2500-5000V, výkon 35-1000W, měrný výkon až 130lm/W - ve světlo se mění 30% energie. Plného světelného výkonu dosahují po třech minutách od zapálení výboje. Jejich hlavní využití je v pouličním osvětlení.



2.4.5 Halogenidové výbojky

V hořáku jsou kromě rtuti další kovy a to v halogenidových sloučeninách (METALHALOGENID). U výbojek menších výkonů se na stěně baňky používají luminofory. Zapalovací napětí bývá 1,5 - 3 kV. K zapalování se používají zvláštní obvody.



Velmi účinnou možností, jak zlepšit vlastnosti rtuťové výboje, je využití některých prvků nebo sloučenin, jejichž záření žádoucím způsobem doplňuje čárové spektrum rtuti. (např. kovy vzácných zemin (Na, Tl, In, Dy, Tm, Ho...) mají velmi husté čárové spektrum v celé viditelné oblasti, ale nejsou vhodné v čistém stavu).

Ukázalo se že nejvhodnější je použití chemických sloučenin - halogenidů (jodidy, popř. bromidy).

Halogenidové výbojky jsou tedy vysokotlaké výbojky, jejichž světlo vzniká převážně zářením par rtuti a produktů štěpení halogenidů. Pro zapalování je nutný vysokonapěťový zapalovač s amplitudou impulsu až 4,5kV. Výboj nejprve probíhá v parách rtuti a v inertním plynu. S nárůstem teploty se zvyšuje koncentrace halogenidů ve výboji.

Nevýhodou halogenidových výbojek je větší změna kolorimetrických parametrů v

průběhu života. Tuto nevýhodu se podařilo odstranit použitím keramického hořáku (z polykrystalického oxidu hlinitého). (Hořák u klasických halogenidových výbojek je ze speciálního křemenného skla.)

Ve výrobě jsou oba typy výbojek, proto je třeba si dát pozor při koupi výbojky na typ hořáku.

výkonová řada	35 - 2000W
T _c	3000 - 3400 K
měrný výkon	52 - 110 lm/W
životnost	5.000 až 10.000 h

2.4.6 Xenonové výbojky

Xenonová výbojka je zdrojem silného světla o velkém světelném toku. Její využití je omezeno vysokým vnitřním přetlakem za provozu s možností exploze.

Baňka výbojky je z taveného křemene. Je naplněna xenonem pod tlakem 8-10 atmosfér. Při provozu tlak stoupá na 25-30 atm. Wolframové elektrody jsou pevně ukotveny. Zdrojem světla je oblouk mezi elektrodami. Zážeh oblouku obstarává vysokofrekvenční vysokonapěťový impuls zapalovacího zařízení, tvořící ionizovanou cestu.



2.4.7 Směsové výbojky

Jinou možností úpravy spektra rtuťového výboje je přidat k jeho záření navíc záření wolframového vlákna, které doplňuje spektrum zejména v jeho červené části. Do série se rtuťovým hořákem je zapojeno wolframové vlákno, které zároveň plní funkci předřadníku, takže odpadá nutnost použít tlumivku.

Hořák i vlákno jsou namontovány do společné baňky s běžnou závitovou patičí.

Směsové výbojky tedy nepotřebují zapalovač ani předřadník!

výkonová řada: 160, 250 a 500W

náhradní teplota chromatičnosti: T_c = 3600 až 4100K

měrný výkon: 20 až 33 lm/W



Světelný tok je asi o 50% větší než u žárovky stejného výkonu. Plného výkonu dosáhne až po několika minutách. Světlo je teple bílé.

Použití:

Lze doporučit pouze tam, kde se dosud vyskytují žárovková svítidla pro obyčejné žárovky 200 až 500 W bez zvýšených nároků na kvalitu podání bare

2.4.8 Kompaktní zářivky indukčně buzené



Jsou to nejnovější světelné zdroje, které se konstrukčně neliší od kompaktních zářivek. Uvnitř baňky s heliem, xenonem a párami rtuti je zatavena trubice s feritovým jádrem a indukční cívkou. Napájení zajišťuje vnější vysokofrekvenční generátor napětí s frekvencí 2,3MHz. Baňka

je uvnitř opatřena luminoforem a je bez žhavených elektrod, takže ani velmi časté vypínání nezkracuje životnost zářivky. Jsou poměrně drahé.

2.5 Shrnutí



Umělé zdroje světla se rozdělují do dvou základních kategorií: žárové zdroje světla a výbojové zdroje světla

Elektrický proud v plynech se může vyskytovat za zvláštních podmínek, a to jsou: silné elektrické pole, vysoká teplota a nízký tlak plynu

Nejdůležitějšími parametry světelných zdrojů jsou barva světla, životnost a světelná účinnost

2.6 Otázky



- Popište hlavní rozdíl mezi žárovým a výbojovým zdrojem světla.
- Jmenujte některé výbojové zdroje světla.
- Co zabraňuje přepálení vlákna žárovky?
- Popište princip rozsvícení zářivky podle schématu zapojení.
- Které světelné zdroje mají nejvyšší světelnou účinnost?
- K čemu slouží luminofory?

2.7 Odkazy na zdroje



<http://www.zarovky24.cz/co-je-to-zarovka-5>

<http://www.elektrotrh.cz/osvetlovaci-technika>

HABEL, J. Světelná technika a osvětlování. Praha, FCC Public, 1995. ISBN 80-901985-0-3

<http://www.lvdosvetleni.cz/O-svetle/>

<http://www.svitime.eu>

