

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie

Zdeněk Češpíro

Výbojový vakuoměr bez magnetického pole

Pokroky matematiky, fyziky a astronomie, Vol. 3 (1958), No. 3, 299--302

Persistent URL: <http://dml.cz/dmlcz/137111>

Terms of use:

© Jednota českých matematiků a fyziků, 1958

Institute of Mathematics of the Academy of Sciences of the Czech Republic provides access to digitized documents strictly for personal use. Each copy of any part of this document must contain these *Terms of use*.



This paper has been digitized, optimized for electronic delivery and stamped with digital signature within the project *DML-CZ: The Czech Digital Mathematics Library* <http://project.dml.cz>

VÝBOJOVÝ VAKUOMĚŘ BEZ MAGNETICKÉHO POLE

ZDENĚK ČEŠPIRO,

katedra fyziky na elektrotechnické fakultě ČVUT v Praze

V článku je podán přehled metod, kterých se používá k měření tlaků v rozsahu asi 0,01—10 mm Hg. Dále je popsána výbojka s pochlazeným anodovým sloupcem, u níž je plocha katodové vrstvy závislá na tlaku. Je podána elementární teorie a experimentální výsledky.

1. Úvod

Metody, umožňující měření nízkých tlaků plynu, řádově asi 10 mm Hg a méně, lze rozdělit do dvou základních skupin. Jsou to přímé metody, které měří přímo tlak plynu, tj. sílu, kterou působí plyn na jednotku plochy, a nepřímé metody, odvozující tlak plynu z takových jevů, které na něm závisí.

Na principu přímého měření pracují kapalinové vakuoměry a McLeodův vakuoměr. Kapalinový vakuoměr je v podstatě trubice ohnutá do tvaru „U“, naplněná vhodnou kapalinou (rtuť, olej). Jedno rameno trubice je spojeno s prostorem, ve kterém panuje měřený tlak, druhé rameno je spojeno s prostorem o známém tlaku (obvykle zanedbatelně malém). Rozdíl tlaků se projeví rozdílem výšek hladin v obou ramenech vakuoměru. Této jednoduché metody lze užít k měření tlaků od 1 mm Hg výše při plnění vakuoměru rtuť; při plnění vhodným olejem (který je asi desetkrát lehčí než rtuť) je citlivost přibližně desetkrát větší.

V McLeodově vakuoměru stlačujeme rtuť (popř. olej) plyn z baňky o velkém objemu do kapiláry o malém objemu. Tlak plynu v kapiláře, který stoupne ve známém poměru (např. 1 : 100), lze potom snadno určit z rozdílu hladin rtuti v kapiláře a v ostatních částech vakuoměru.

Nepřímé metody odvozují tlak z některých molekulárních vlastností plynu (např. z tepelné vodivosti) a z parametrů doutnavého výboje. Vakuoměry, využívající tepelné vodivosti plynu, měří množství tepla, které odvádí plyn zahřátému tělesu. Obvykle měříme teplotu, na níž se zahřeje tenký drátek z vhodného materiálu, kterým protéká elektrický proud o konstantní velikosti. Určujeme ji např. termočlánkem nebo ze změny elektrického odporu.

Výbojové vakuoměry pracují na dvou principech: Jednak ionisují plyn o měřeném tlaku a určují množství iontů takto vzniklých, jednak odvozují tlak z geometrického tvaru doutnavého výboje. Na principu ionizační metody pracuje tzv. alfatron. Je to v podstatě ionizační komůrka naplněná plynem o měřeném tlaku, v níž je plyn trvale ionisován radioaktivním preparátem o známých vlastnostech. Iontový proud procházející alfatronem je potom mírou tlaku.

Druhým typem výbojového vakuoměru je jednoduchá Geisslerova trubice s rovinnými elektrodami napájená stejnosměrným proudem. Lze jí použít k odhadu tlaku v rozsahu, ve kterém hoří doutnavý výboj. Tlak se odhaduje z velikosti, tvaru a barvy jednotlivých vrstev výboje.

Výhodnější je napájet výbojku střídavým vf. proudem z Teslova transformátoru. Předností tohoto velmi často používaného způsobu odhadování tlaku je jednoduchost napájení a hlavně skutečnost, že výboj zapaluje ve vf. poli i bez elektrod, pouhým dotykem vývodu Teslova transformátoru se stěnou skleněného potrubí. Nevýhodou ovšem je, že výbojová dráha není rozčleněna na jednotlivé vrstvy. Lze tedy tlak odhadovat pouze z barvy výboje.

Obou uvedených metod lze užít pouze k hrubému odhadu tlaku. Upraví-li se výbojka tak, jak je níže popsáno, je velikost plochy pokryté výbojem závislá na tlaku, který je tedy možno tímto způsobem spolehlivě měřit.

2. Teorie

Je-li vzdálenost elektrod výbojky dostatečně malá, nemůže se vyvinout anodový sloupec a vznikne pouze na katodě svítící katodová vrstva. Jestliže tato vrstva nepokryje celou plochu katody, bude výbojka pracovat v oblasti normálního výboje. Její katodový úbytek bude konstantní, proudová hustota na katodě bude rovněž konstantní a bude rovna normální proudové hustotě j_n . Pro ni platí $j_n = kp^n$, kde k je konstanta, p je tlak a n je exponent, pro nějž se nejčastěji v literatuře udává hodnota 2 [1]. Proud I , protékající výbojem bude $I = Sj_n$, kde S je plocha katody pokrytá výbojem. Má-li katoda tvar rovné tyčinky kruhového průřezu o průměru d , bude $S = \pi dl$, kde l je délka výboje pokrývajícího katodu. Dále platí $I = \pi dlj_n = \pi dlkp^n$,

$$l = \frac{I}{\pi dkp^n} = c \frac{I}{p^n}, \quad (1)$$

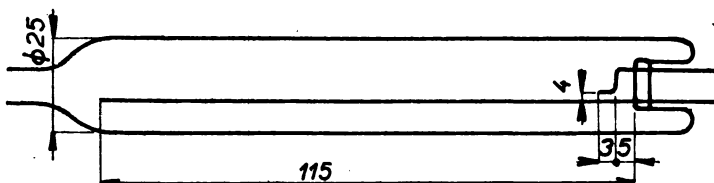
kde $c = \frac{1}{\pi dk}$.

Délka výboje na katodě je tedy závislá na protékajícím proudu a na tlaku.

3. Provedení výbojky

Praktické provedení výbojky je naznačeno na obr. 1. Katoda je tvořena dlouhou tyčinkou, anoda má tvar hrotu přiblíženého těsně ke spodní části katody. Obě elektrody jsou zhotoveny ze železného drátu o průměru 0,8 mm.

Reprodukovatelnost měření závisí na jakosti povrchu elektrod. Proto byly elektrody předem zpracovány takto: Byly mořeny v kyselině solné, opláchnuty vodou a osušeny krátkým vyžháním v plameni na teplotu asi 500 °C. Smontovaná výbojka byla naplněna zředěným vodíkem a v této atmosféře byla katoda rozžhavana výbojem na teplotu asi 800 °C po dobu 5 minut. Takto vyredukováná katoda byla matně bílá a výboj na ní hořel velmi stabilně.

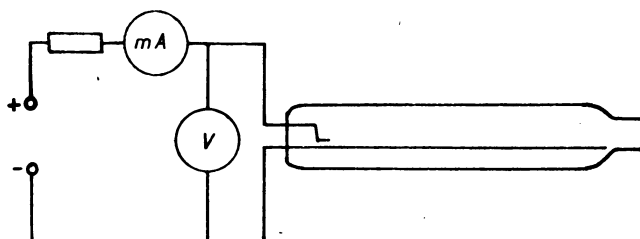


Obr. 1. Rozměry výbojového vakuoměru.

Schéma zapojení vakuoměru je na obr. 2. Byl napájen ze zdroje proměnného stejnosměrného napětí 10 kV přes ochranný odpor 300 k Ω . Napětí na elektrodách bylo měřeno elektronkovým voltmetrem o vnitřním odporu 50 M Ω . Délka sloupce na katodě byla měřena milimetrovým měřítkem, připevněným vně banky. Tlak ve výbojce byl nastaven podle zkráceného ftalátového manometru.

Napětí potřebné k napájení výbojky je při konstantním proudu mírně závislé na tlaku a mění se v rozmezí asi 220–260 V.

Závislost délky výboje na tlaku byla změřena při proudech 0,5 mA, 1 mA a 1,3 mA pro vzduch. Průměrné hodnoty z několika měření jsou zachyceny na obr. 3. Jednotlivá měření byla opakována s přestávkami asi 30 hodin. Po tuto dobu byla výbojka naplněna vzduchem o atmosférickém tlaku, aby bylo možno určit vliv případných změn povrchu katody na cejchovní křivky. Takto získané hodnoty poměrně dobře souhlasí. Rovněž průběh cejchovních křivek lze dobře vyjádřit rovnicí (1).



Obr. 2. Schéma zapojení.

Rozsah vakuoměru směrem k nižším tlakům než asi 1 mm Hg je omezen plochou katody a tloušťkou katodové vrstvy, která roste s klesajícím tlakem. Protože katodová vrstva při nižších tlacích vyplňuje prakticky celý průřez výbojky a její ohraničení je velmi neurčité, bylo možno odečítat délku sloupce na katodě s přesností asi ± 10 mm, což pro měření již nepostačuje.

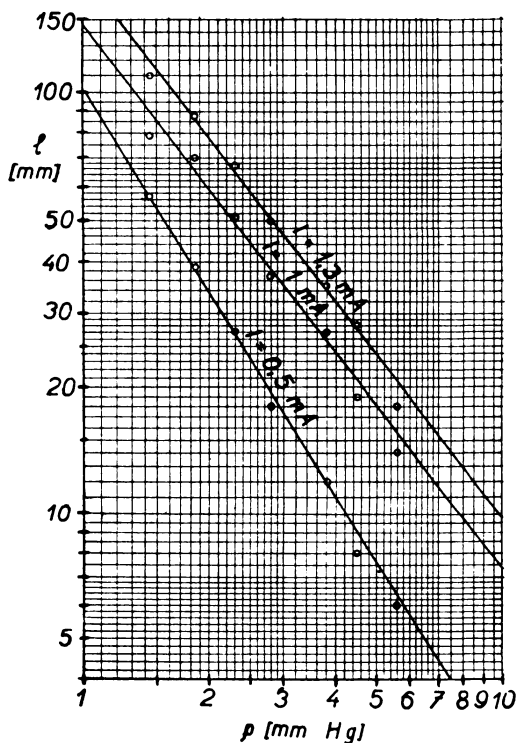
Rozsah směrem k vyšším tlakům je omezen průměrem katody a nejmenší měřitelnou délkou katodového sloupce. Zmenšením průměru katody lze tedy rozsah výbojky posunout směrem k vyšším tlakům.

Výbojka byla cejchována pouze pro vzduch. Z vlastností doutnavého výboje je možno dokázat, že cejchovní křivky budou různé pro různé plyny a materiály katody.

Do výbojky je možno vložit se strany další elektrodu, která při určité délce výboje zasahuje svým koncem do plasmatu katodové vrstvy [2]. Když se délka výboje zvětší tak, že konec pomocné elektrody bude obklopen plasmatem, nastane vodivé spojení mezi katodou a pomocnou elektrodou, kterým je možno ovládat spínací obvod. Takto upravená výbojka může tedy pracovat jako vakuové relé.

4. Závěr

Z rozboru cejchovních křivek vakuoměru plyne, že maximální odchylka mě-



Obr. 3. Závislost délky výboje na tlaku.

řené hodnoty od plynulého průběhu je asi $\pm 10\%$ jmenovité hodnoty. Pro většinu naměřených hodnot jsou odchylky menší, průměrně asi $\pm 5\%$. Odpovídá tedy přesnost měření popsaným výbojovým vakuoměrem hodnotám obvyklým při měření tlaku.

Rovněž reprodukovatelnost měření je dobrá. Měřicí rozsah je prakticky stejný jako u zkráceného rtuťového vakuoměru, proti němuž má výbojový vakuoměr tu velkou výhodu, že je asi $10 \times$ citlivější a že neobsahuje rtuť. Hodí se tedy k měření tlaku při plnění nízkotlakých výbojek, které nemají obsahovat rtuťové páry. Zapojíme-li vakuoměr jako vakuové relé, můžeme ovládat připouštěcí ventil a tím automaticky nastavovat tlak.

Literatura

- [1] Dosse, Mierdel: Der elektrische Strom im Hochvakuum und in Gasen, Hirzel-Verlag, Leipzig 1945, str. 306.
- [2] Strnad: *Doutnavky*, ESČ Praha 1947, str. 95.