

Roncsolásmentes töltőgáznyomás- mérés kész izzólámpákban

ETO: 621.326.7.032.12:531.787

Az izzólámpák jelentős részét semleges gáz töltéssel látják el. Minél nagyobb a gáz nyomása, annál kisebb a wolfrámspirál párolgása. Nem közömbös tehát, hogy ismerjük a kész lámpában levő nyomás értékét, mivel ez jelentősen befolyásolja a lámpa minőségét. A nyomás roncsolásos meghatározása a gyártásra, vagy egy lámpatételre csak statisztikus információt nyújt, hiszen a vizsgált példány a továbbiakban már nem használható fel. Az alábbiakban ismertetett módszer mind gyártásellenőrzésre, mind a kész termék minősítésére alkalmas, mivel a vizsgált lámpát semmi károsodás nem éri.

A lámpában levő gáztérrel közvetlen kapcsolat nem létesíthető, ezért a méréshez a lámpa és a gáztér valamilyen nyomásfüggő jellemzőjét kellett felhasználni. A vizsgálatok azt mutatták, hogy a gázok hővezetési és áramlási tulajdonságainak nyomásfüggése elegendően szelektív nyomásmérést tesz lehetővé.

A mérés elve

A gáztöltésű izzólámpákban a fűtött spirálról a hő sugárzással, az árambevezetőkön és a spiráltartókon keresztül vezetéssel, és a gázon keresztül vezetéssel és áramlással távozik a környezet felé. Adott lámpageometria, töltőgáz és hőmérséklet mellett a gáz által elszállított hőmennyiség csak a töltőgáz nyomásától függ.

Vizsgáljuk a gáz által elszállított hőmennyiséget. Alacsony nyomásnál, ahol a gázmolekulák szabad úthossza nagyobb, mint a spirál és a bura közötti távolság, a falhoz elszállított hőmennyiség erősen függ a gáz nyomásától, mivel növekvő nyomással egyre több molekula szállít el energiát a spirálról a falhoz. Mikor a nyomás olyan nagy, hogy a szabad úthossz kisebbé válik a spirál-fal távolságnál, a hővezetés nyomásfüggése egyre kisebbé válik, mivel a molekulák csak több egymással való ütközés után adják át energiájukat a falnak. Nemesgázok hővezetőképességének nyomásfüggése atmoszferikus nyomás fölött már elhanyagolhatóvá válik. A fent leírt nyomástartományban dolgoznak a Piráni típusú nyomásmérők.

A fűtött spirál körüli gáztér hőmérséklete térben nem egyenletes, így a sűrűsége sem. A sűrűségkülönbség felhajtóerőt hoz létre. Kis nyomásokon a gáz kis átlagsűrűsége miatt ez a felhajtóerő kicsi, hatása elhanyagolható. Nagyobb nyomásoknál jelentősége megnő, a lámpán belül gázáramlás indul meg, amely növekvő nyomással egyre erőteljesebb. Az áramlás a nyomás növekedésével először lamináris, majd átmeneti illetve turbulens lesz. A gáz

viszkózitása miatt a spirál körül mindig lesz lamináris zóna, úgynevezett határreteg alakul ki. Ez jól látszik az 1. ábrán bemutatott Schlieren-felvételen. Az áramlási sebesség növekedésével a gáz által elszállított hőmennyiség egyre nagyobb lesz.

A lámpán belüli viszonyok kvantitatív vizsgálata nagyon nehéz. Parciális differenciálegyenlet-rendszer kell megoldani bonyolult határfeltételekkel. A differenciálegyenlet-rendszerből leszarmaztatott hasonlósági kritériumok alapján viszont becslést tehetünk a nyomásfüggésre ott, ahol már áramlás is van a lámpában. A hőtadásra jellemző Nu , Nusselt-szám felírható mint a szabad áramlásra jellemző Gr , Grashoff-szám és a gázra jellemző Pr , Prandtl-szám függvénye:

$$Nu = f(Gr \cdot Pr)$$

$$Nu = \alpha \cdot d / k$$

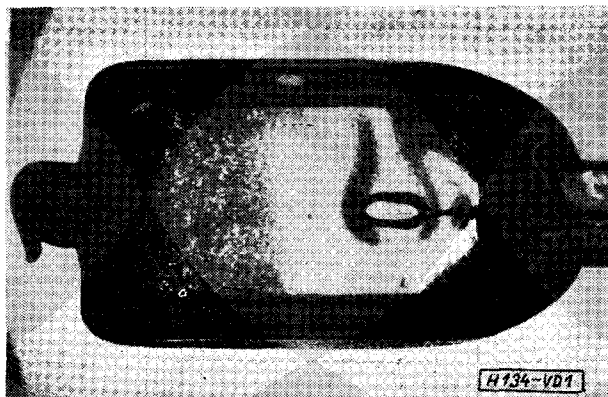
$$Gr = \beta \cdot g \cdot \Delta T \cdot d^3 \cdot \rho^2 / \eta^2$$

$$Pr = \eta \cdot c_p / k$$

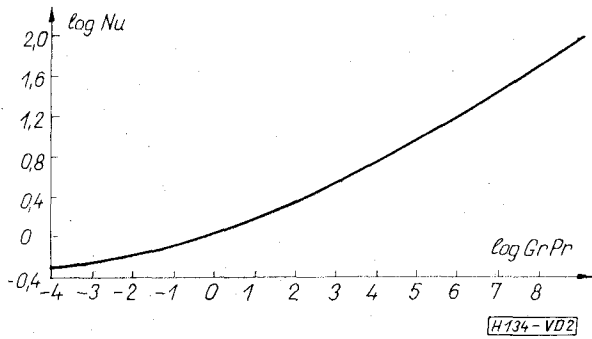
- ahol α — a hőtadási tényező;
 d — a jellemző geometriai méret;
 k — a gáz hővezetési tényezője;
 β — a gáz köbös hőtágulási együtthatója;
 g — a nehézségi gyorsulás;
 ΔT — a hőmérsékletkülönbség a spirál és a fal között;
 η — a gáz viszkozitása;
 ρ — a gáz sűrűsége;
 c_p — a gáz fajhője.

Különböző alakú testekre felrajzolva a $Nu = f(Gr \cdot Pr)$ függvényt, az irodalom szerint a mért értékek jó közelítéssel a 2. ábrán látható görbére esnek.

A Grashoff-szám a sűrűség négyzetével, ez pedig a nyomással arányos, ezért adott tartományokban becsülhető a nyomásfüggés mértéke a 2. ábráról. Az $1000 < GrPr < 1\,000\,000$ tartományban a konvek-



1. ábra. Halogén vetítőlámpa Schlieren-felvétele



2. ábra. $Nu = f(Gr \cdot Pr)$ függvény vízszintes hengerre

cióval elszállított hőmennyiség \sqrt{p} -vel közelítőleg arányos. A nyomás kitevője a nyomás növekedésével nő. Ezt az arányosságot a burra zavaró hatása különösen kis nyomásoknál módosítja.

A mérés módja

Az előbbieken vázolt jelenséget a lámpában való nyomásmérésre a következő módon alkalmazhatjuk:

Adott lámpatípusnál a spirált áthaladó árammal meghatározott hőmérsékletre hevítjük. A lámpa által felvett teljesítmény a lámpában levő nyomás függvényeként változni fog. A hőmérséklet megválasztásánál figyelembe kell venni, hogy a sugárzással leadott hőteljesítmény magasabb kitevő szerint változik a hőmérséklet függvényében, mint a gáz által elszállított. Ezért a mérést azon a legalacsonyabb hőmérsékleten célszerű végezni, ahol még a környezeti hőmérséklet változásának zavaró hatása még elhanyagolható. A legkedvezőbb mérési eredményeket 300–500 °C-nál kaptuk.

A spirál hőmérsékletének mérésére saját ellenállásának hőmérsékletfüggését használtuk fel. Ismeretes, hogy valamely hőmérsékleten mért ellenállás R_T jó közelítéssel számítható a szobahőmérsékleten mért R_{25} ellenállás és az α hőmérsékleti együttható segítségével.

$$R_T = R_{25} [1 + \alpha(T - 25)]$$

Ha tehát a spirált adott hőmérsékletre akarjuk melegíteni, ismerni kell a szobahőmérsékleten mért ellenállást és akkora teljesítménnyel kell fűteni, ami beállítja a T hőmérsékletnek megfelelő R_T/R_{25} ellenállásarányt.

A spirál ellenállása egyes lámpatípusoknál szobahőmérsékleten kisebb 0,1 ohmnál. Ezért a mérés módjának megválasztásánál külön problémát jelentett a csatlakozások átmeneti ellenállásának zavaró hatása. Ennek kiküszöbölésére áram-feszültségkapcsos mérést alkalmaztunk. A műveleti erősítővel felépített ellenállás-stabilizátor a 3. ábrán látható.

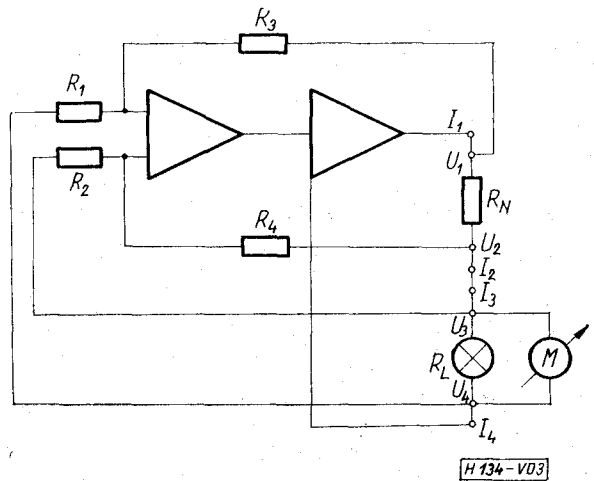
A műveleti erősítő összehasonlítja a mérendő lámpa R_L ellenállásán eső feszültséget az R_N normállenálláson eső feszültséggel, amely a lámpán átfolyó árammal arányos. Levezethető, hogy ha a kontaktusok átmeneti ellenállása, az R_N és az R_L ellenállás sokkal kisebb, mint a műveleti erősítő bemenetéhez csatlakozó ellenállások, valamint $R_4/R_2 = R_3/R_1$, akkor

$$R_L = R_N \cdot R_1 / R_3$$

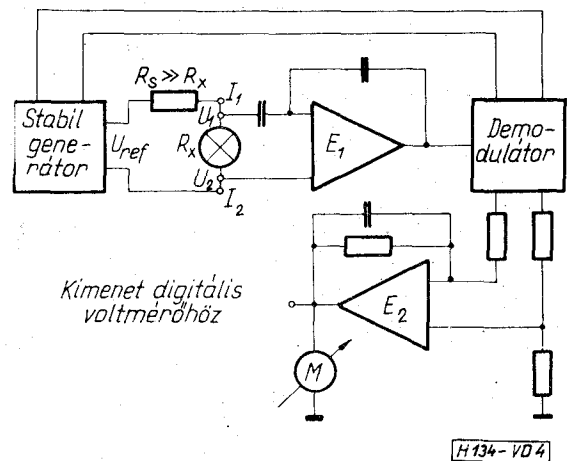
felel meg a rendszer egyensúlyi állapotának. A fenti feltételek teljesíthetők, mivel az átmeneti ellenállások ohm alatti értéken tarthatók és R_L , valamint R_N is ohm nagyságrendű, míg R_1, R_2, R_3, R_4 10–100 kohm is lehet. Ezzel a kapcsolással mind az R_N ellenállásnál, mind a lámpánál kiejthető az átmeneti ellenállások zavaró hatása.

A kapcsolás lehetőséget nyújt arra, hogy amennyiben $R_N = R_{25}$ -tel, úgy az R_1/R_3 aránnyal a kívánt R_T/R_{25} beállítható.

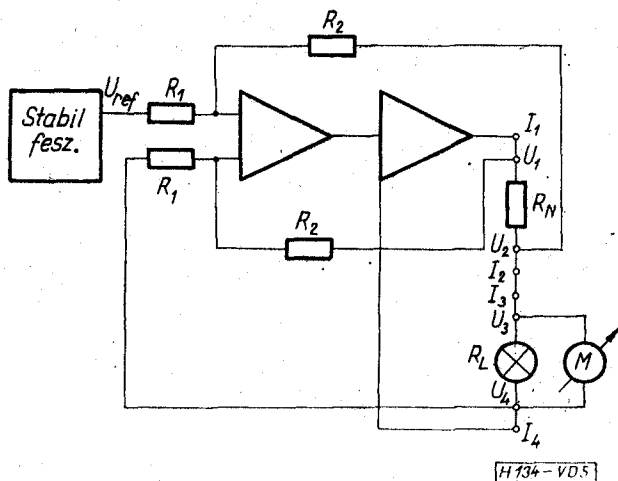
A nyomásméréshez tehát ismerni kell a lámpa szobahőmérsékleten mért ellenállását. Ennek mérése csak nagyon kis teljesítménnyel végezhető a wolfrám ellenállás nagy hőmérsékleti együtthatója miatt (egyébként a spirál fölmelegszik). A mérendő ellenállás tartománya 0,03 ohm és 100 ohm közé esik. A kis értékek mérése csak áram-feszültségkapcsos módszerrel végezhető az átmeneti ellenállások miatt. A kis ellenállás és a kis megengedhető teljesítmény miatt kicsi a mérőfeszültség, ezért egyenáramú mérésnél a termofeszültségek meghamisítják a mérést. Ezért olyan hidegellenállás-mérőt készítettünk, amely 100 mikrovoltnál kisebb mérőfeszültséggel dolgozik. Elvi kapcsolási rajza a 4. ábrán látható.



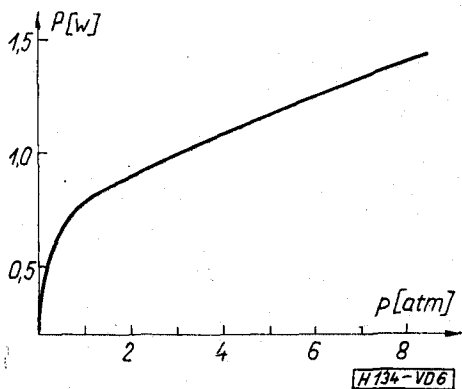
3. ábra. Ellenállás-stabilizátor, mint állandó hőmérsékletű nyomásmérő



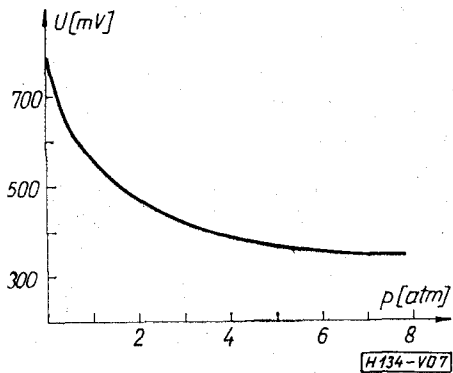
4. ábra. Hidegellenállás-mérő elvi rajza



5. ábra. Állandó áramú nyomásmérő



6. ábra. Halogén vetítőlámpa nyomáskalibrációja állandó hőmérsékleten



7. ábra. Halogén vetítőlámpa nyomáskalibrációja állandó áramon

A stabilizált generátor stabil amplitúdójú négy-
szögfeszültséget állít elő, amelyből az R_S ellenállás,
amely sokkal nagyobb, mint a mérendő R_X ellenállás,

stabil áramot állít elő. Ez az áram a mérendő ellen-
állás árambevezetőire csatlakozik. A feszültség-
csatlakozásokon megjelenő 100 mikrovoltnál kisebb
feszültséget, amely a mérendő ellenállásai arányos
az E_1 műveleti erősítő erősíti fel. Fázisérzékeny
egyenirányítás után az E_2 műveleti erősítő egyen-
áramú erősítést és szűrést végez és a kimenetén meg-
jelenő feszültség jut az M műszerre és a szükség
esetén a műszerhez kapcsolt regisztrálóra, vagy
digitális voltmérőre. A műszer 0,2% reprodukálható-
ságú mérést tesz lehetővé digitális voltmérővel.

Az állandó hőmérsékleten végzett nyomásméréshez
képest viszonylag egyszerűbb kapcsolást eredményez
az állandó árammal történő mérés. Ebben az esetben
a nyomás növekedésével a spirál hőmérséklete egyre
alacsonyabb lesz, így a wolfrám pozitív hőmérsék-
leti együtthatója miatt a rajta mért feszültség csök-
ken. Az állandó áramú nyomásmérő elvi rajzját az 5.
ábra mutatja.

Az áramkör

$$I = U_{ref} \frac{R_2}{R_1} \frac{1}{R_N}$$

nagyságú áramot hajt át az R_L ellenállású lámpán.
Az M műszer, amely a lámpa kapcsain megjelenő
feszültséget méri, adott lámpatípusnál nyomásban
kalibrálható.

Hitelesítés

A mérés elvéből következik, hogy a lámpageomet-
ria befolyásolja a mérést, ezért a műszert lámpa-
típusonként kalibrálni kell. Ez legegyszerűbben
különböző nyomású lámpák leméréseével, majd a
lámpák feltörésével történhet.

Egy állandó hőmérsékletű nyomásmérőhöz készült
kalibrációs görbét a 6. ábra, egy állandó áramú
nyomásmérőhöz készültet a 7. ábra mutat.

A mérés pontosságát befolyásolja a lámpa-
paraméterek szórása. A mérések szerint kb. $\pm 5\%$ -os
mérési bizonytalanság érhető el, ami a problémát
tekintve kielégítő. Az elvet természetesen egyéb
rendszerekben való nyomásmérésre is ki lehet ter-
jeszteni. Erre a célra készített mérőfejjel a pontosság
fokozható.

I R O D A L O M

McAdam W. H.: Heat transmission. McGraw Hill.
Mihejev M. A.: A hőátadás gyakorlati számításának alapjai.
Heijne L., Vink A. T.: Philips Technische Rundschau J.
30. N. 6/7. 1969/70. p. 171—174.
The application of linear microcircuits. SGS. 1969. jún.