

Haladóhullámú csövek maradékgázok okozta ionzajának vizsgálata*

DR. SZEKERES RÉLA

Tunggram (kutatási főosztály)



ÖSSZEFOGLALÁS

Hírközlő láncokban alkalmazott haladóhullámú csövek üzeme alatt a maradékgázok nyomása olyan szintet érhet el, amikor nem kívánatos zajjelenségek keletkeznek. A gázok származhatnak a belső csőalkatrészekből, illetve a külső atmoszférából is. A zajjelenség alaposabb tanulmányozásához egy üzemelő haladóhullámú cső vákuumterébe különböző gázokat vezetünk, változtatva azok nyomását, miközben vizsgáljuk a fellépő zaj spektrumát, frekvenciáját és intenzitását. A vizsgálatokat hidrogén, metán, nitrogén, szénmonoxid, széndioxid, hélium, neon és argon gázokra végeztük el. A kapott kísérleti eredményeket értelmeztük és kimutattuk, hogy azok jó egyezést mutatnak az akusztikus töltéshullámok elméletéből ismert összefüggéssel, amely szerint a frekvenciák reciprokai és a tömegszámok négyzetgyökei között lineáris kapcsolat van. Kísérleti eredményeink hasznosíthatók a haladóhullámú csövek tervezésénél.

1. Bevezetés

A közlemény tárgya haladóhullámú csövek ionzajának vizsgálata. Az ilyen típusú csövek fő alkalmazási területe a mikrohullámú hírközlő láncok széles sávú teljesítményerősítői. A haladóhullámú csövek ismert tulajdonsága, hogy nemkívánatos zajjelenségek lépnek fel akkor, ha a cső vákuumterében a maradékgázok parciális nyomása eléri egy kritikus szintet. E jelenséget számos szerző tanulmányozta [1], [2]. A zaj modulálja a hasznos jelet, ezáltal rontja az átvitel minőségét. A zajnak ezt a fajtáját „akusztikus ionzajnak” nevezik, ez általában minden ionizált közegben fellép [3], [4]. Haladóhullámú csőben a zaj úgy jön létre, hogy a cső hossz tengelyében a lassítóvonal közepén haladó elektronnyaláb ütközzel ionizálja a maradékgázok atomjait, illetve molekuláit, s az így keletkezett ritka plazmában akusztikus töltéshullámok gerjednek. A maradékgázok származhatnak belső forrásból és a külső atmoszférából egyaránt. Az első esetben a cső üzemszerű működése alatt a belső alkatrészekből folyamatosan gáz szabadulhat fel, míg a második esetben létrejöhet szivárgás vagy permeáció az atmoszférából.

2. Vizsgálati módszer, mérési eredmények

A zajjelenség kísérleti vizsgálatához egy üzemszerűen működő haladóhullámú cső vákuumterébe olyan gázokat vezetünk, amelyek maradékgázként is előfordulhatnak. Vizsgálatainkat elvégeztük hidrogénre, metánra, nitrogénre, szén-monoxidra és szén-dioxidra, a nemesgázok közül pedig héliumra, neonra és argonra.

Beérkezett: 1984. VI. 14. (Δ)

* Előadás formájában elhangzott a „Popov Rádió Napok”-on. Moszkva, 1981. május 20.

DR. SZEKERES
BÉLA

A budapesti Eötvös Loránd Tudományegyetemen 1964-ben fizikusi diplomát szerzett, majd természettudományi doktori fokozatot nyert. Munkáját a Távközlési Kutató

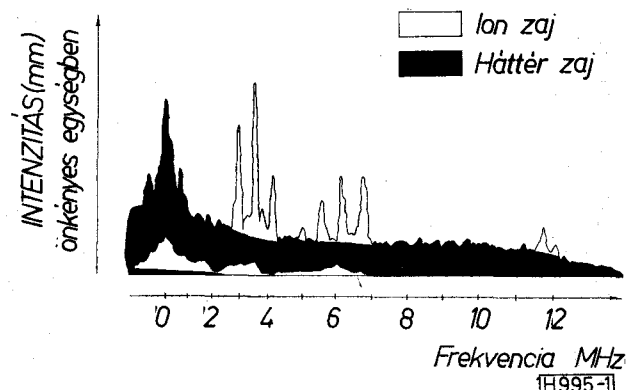
Intézetben kezdte, jelenleg a Tunggram kutatási főosztályon laboratóriumvezetői beosztásban dolgozik. Munkaterülete vákuumfizika, tömegspektrométerek fejlesztése, vákuumcsövek konstrukciós és mérési problémái.

Az 1. ábrán egy tipikus ionzaj spektrumot láthatunk. A spektrum jellegzetes vonalas-csúcsos szerkezetet mutat, a háttérzajra szuperponálódva. Az ionzajok frekvenciái a gázra jellemző értékek, nagyobb részt a 0-tól 12 MHz-ig terjedő tartományban találhatóak.

A méréseket úgy végeztük, hogy a legjobb háttérnyomásból, ill. végvákuumból kiindulva, az egyes gázok lassú fokozatos beeresztésével a csőben a nyomást mindaddig növeltük, amíg az ionzaj mérőberendezésünkben éppen észlelhetővé vált. Majd folytattuk a nyomás növelését a cső károsodása nélkül még megengedhető határig, közben folyamatosan figyeltük a spektrum változásait.

Mérőberendezésünknek a vizsgálat szempontjából leglényegesebb eleme egy alapsávi spektrumanalizátor volt.

A mérési eredményeket a felsorolt gázokra táblázatban foglaltuk össze. Azonban a terjedelem kötöttsége nem teszi lehetővé a táblázat leközlését. A mért adatokból az látható, hogy a nyomás növelésekor a zaj általában 10^{-6} és 10^{-5} mbar között kezd észlelhetővé válni. Ez természetesen mérőberendezésünk érzékenységétől is függ, de az üzemszerű alkalmazás-



1. ábra. Tipikus ionzaj spektrum. Az ionzaj vonalai a folytonos spektrumú háttérzajból emelkednek ki

ban ez a zajszint még nem zavaró. A nyomás növelésével a legkülönbözőbb frekvenciájú vonalak mutatkoznak, más és más intenzitással.

Szembevetendő, hogy a szén-monoxid és szén-dioxid gázok esetében semmilyen zaj nem volt észlelhető, még 10^{-4} mbar nyomáson sem. Egyidejűleg vákuumrendszerünkhöz kapcsolt tömegspektrométeren megfigyelhettük a szén-dioxidnak szén-monoxiddá való szokásos lebomlását.

Nemesgázok esetében megfigyelhető volt, hogy a zajjelenség általában kisebb nyomáson vált észlelhetővé, mint a többi gáznál. Ez a tapasztalat arra figyelmeztet bennünket, hogy a nemesgázok jelenléte a haladóhullámú csövekben különösen káros lehet zaj szempontból.

Különös jelenségként figyeltük meg, hogy a működő cső szivattyú módjára, képes volt az argont folyamatosan megkötni. Amikor viszont a csövet kikapcsoltuk a megkötött argon ismét felszabadult.

3. Ionzajspektrum vonalainak értelmezése

A továbbiakban röviden vizsgáljuk meg milyen összefüggés tapasztalható az egyes gázokra jellemző zajfrekvenciák és a gázok molekulaszúlya, illetve tömegszámai között. Nézzük meg továbbá, hogy mérési eredményeink miként illeszthetők a témakör elméletéhez.

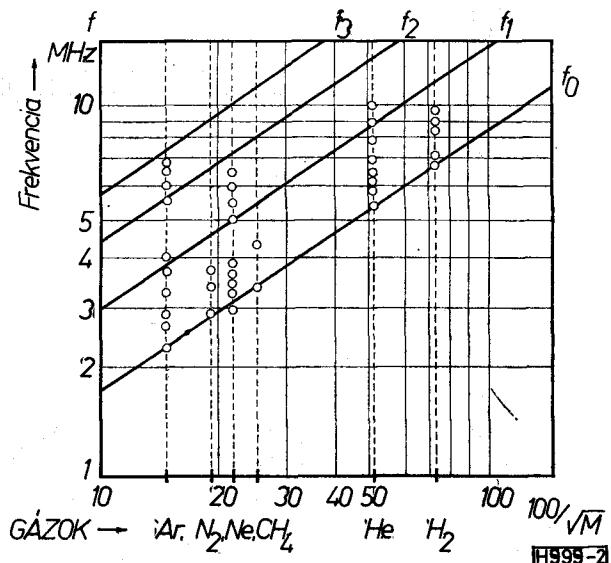
A kapott eredményekből látható, hogy minden gázfajtához a gázra jellemző frekvenciájú spektrumvonal rendszer tartozik. A haladóhullámú cső úgy viselkedik, mintha tömegspektrométer lenne. A vonalrendszer frekvenciái kismértékben a gáz nyomásának is függvénye.

A 2. ábrán kis körök formájában valamennyi észlelt spektrumvonal frekvenciáját feltüntettük. A vonalintenzitásokról az ábra nem ad számot. Az akusztikus töltéshullámok elméletéből ismeretes Tonks—Langmuir-formula szerint, a zajfrekvenciák arányosak a gázok molekulaszúlyaik négyzetgyöke reciprokával, azaz

$$f \sim 1/\sqrt{M}.$$

Ha minden gáz spektrumából kiválaszthatjuk a legalacsonyabb frekvenciájú vonalat és a fenti értelemben ábrázoljuk, akkor egyenest kell kapnunk, amint az az ábrán látható. Ezek a frekvenciák a rezgés alaplómodusából származnak. A jelenség mechanizmusára az alábbi magyarázat látszik kézenfekvőnek: A spirális lassítónál lényegében körülzárja az ionfelhőt és mint egy hengeres rezonátor, geometriai méreteivel, főként átmérőjével meghatározza az ionfelhő radiális irányú akusztikus rezgéseinek frekvenciáját. Ez a magyarázata annak, hogy az észlelt zajfrekvenciák változnak a cső típusától függően is.

A spektrumban észlelt magasabb frekvenciájú többi vonal értelmezése már nem ilyen egyszerű feladat. A vonalak egy részét értelmezhetjük a magasabb módusok gerjesztéseként, másrészt pedig az ionfelhőben mindig jelen levő molekulatöredékekre jellemző frekvenciaként. Mindezek alaposabb tisztázása mélyebb vizsgálatokat tenne szükségessé. Egy modell felállítását javasoljuk, amelyre elvégzett számítás megadja a magasabb módusokból eredő frekvenciá-



2. ábra. A gázok tömegszámai és ionzajuk frekvenciái közötti összefüggés. Valamennyi gáznál az észlelt legalacsonyabb frekvenciák egy egyenesre esnek. A felső három egyenes a magasabb módusok gerjesztéséből adódó frekvenciák számítással meghatározott helyei

kat. Modellünk lényege, hogy a lassítónál által körülzárta ionizált gáz csak matematikailag meghatározott rezgéseket végezhet. Egyszerűsítő feltevéseink az alábbiak:

1. A (helix) spirálist folytonos fémcsőnek tekintjük, mivel a spirál menetemelkedése jóval kisebb az átmérőjénél.
2. Csak a radiális irányú ionrezgéseket vesszük számításba.

Bessel típusú differenciálegyenletet kell megoldanunk. Itt csak a számítás végeredményét ismertetjük. A magasabb módusok gerjesztéséből származó vonalak frekvenciái az alaplófrekvencia viszonyával kifejezve az alábbiak szerint adódnak:

$$f_1 = 1,86 f_0,$$

$$f_2 = 2,63 f_0,$$

$$f_3 = 3,40 f_0.$$

Az eredményben érdekes, hogy a magasabb módusok frekvenciái nem egész számú többszörösei az f_0 alaplófrekvenciának, mint az általában a derékszögű rezonátorokra megszokott. Az 5–6-os indexektől felfelé azonban a törvényszerűség lassan helyreáll.

A kiszámított magasabb frekvenciákat szintén feltüntettük a 2. ábrán. Az ábrán a mérési pontok illeszkedése a modelltől nyert magasabb frekvenciák egyeneséhez esetlegesen látszik.

Mindez azonban nem jelenti a modell használhatatlan voltát, de sejteti, hogy összetett jelenséggel állunk szemben. Különösen nemesgázoknál észleltünk sok járulékos spektrumvonalat, ahol viszont nem beszélhetünk molekula-töredékekről. Van azonban még további magyarázat is a járulékos vonalak keletkezésére: A plazma úgynevezett adiabatikus kompressziós együtthatója függ a nyomástól és értéke 1, $5/3$ és 3 lehet. A frekvenciát megadó, fentebb már említett Tonks—Langmuir-formulában

szerepel ez az együtttható. A nyomás változtatásával így bizonyos spektrumvonalak eltűnhetnek, mások hirtelen felbukkanhatnak a kompressziós együtttható változásának megfelelően. Ezt a jelenséget kísérleteink során szintén tapasztaltuk.

4. Az eredmények hasznosítása a csőfejlesztés számára

Befejezésül egy példát kívánunk megemlíteni arra vonatkozólag, hogy mérési eredményeink milyen hasznosítható információt adhatnak a csőtervezés számára.

Ismeretes, hogy a hélium parciális nyomása az atmoszférában 10^{-3} mbar nagyságrendű. A különböző fajta üvegek, amelyekből a cső ballonja készülhet, a héliumra vonatkozólag kisebb-nagyobb permeációs állandóval rendelkeznek. Ez azt jelenti, hogy hosszabb-rövidebb idő múlva a hélium megjelenik a cső vákuumterében. Eredményeink ismeretében egy megkívánt csőélettartamhoz kiválasztható a legmegfelelőbb üvegfajta és pontosan kiszámítható az a ballon falvastagság, mely garantálja, hogy a cső élettartama végéig a vákuumterében megjelenő hélium nyomása ne érje el a zajsztintet.

5. Köszönetnyilvánítás

A szerző ezúton mond köszönetet Ádám Jánosnak és Neumayer Bélának a probléma felvetéséért, a munka támogatásáért, továbbá Németh Árpádnak a mérések elvégzéséért.

I R O D A L O M

- [1] Э. К. Алганизов, Ю. И. Кутаев: Исследование совместного усиления в ЛВВ монохроматического и шумового сигналов; Радиотехника и электроника, 1972, 17, № 10.
- [2] R. R. Thompson, T. J. Sheppard: The Design and Performance of 20 Watt Microwave Link Traveling Wave Tubes; Conference on the Design and Use of Microwave Valves, London, october 1963.
- [3] I. Alexeff, R. V. Neidigh: Observations of Ionic Sound Waves in Plasmas: Their Properties and Applications; Phys. Review, Vol. 129. No. 2. (1963) 516-527.
- [4] Tomizo Itoh: Ionic Waves in a Plasma Generated by Electron Beam; J. Phys. Soc. Japan 18. (1963) 1965.

ISMERKEDJEN MEG KATALÓGUS - HIBRIDÁRAMKÖRE- INKKEL !

A legjellemzőbb felhasználói igényeket szem előtt tartva széleskörűen alkalmazható áramkör-családokat fejlesztettünk ki. A katalógusunkban megtalálható áramkörfajtákból az alábbiakat ajánljuk:

- aktív RC szűrők,
- modem áramkörök,
- analóg műveleti áramkörök,
- nagyfrekvenciás áramkörök,
- feszültség/frekvencia konverterek,
- mintavevő-tartó áramkörök,
- A/D konverterek,
- D/A konverterek,
- /uP-kompatibilis analóg I/O rendszerek,
- precíziós ellenálláshálózatok,
- ultraprecíziós ellenállások.

A megrendeléseket az alábbi címre kérjük:

MEV, Kereskedelmi Igazgatóság
1325 Budapest, Postafiók 21.



MEV
MIKROELEKTRONIKAI
VÁLLALAT