

Haladóhullámú cső alacsony fűtőteltjesítményű katóddal*

ADÁM JÁNOS—NEUMAYER BÉLA—
SZEKERES BÉLA

Tungstram Kutató Intézet



ÖSSZEFOGLALÁS

A szerzők ismertetik az EIVRT Kutató Intézetben kifejlesztett 10—20 W közötti kimenőteltjesítményű 4 GHz frekvenciatarományban működő haladóhullámú cső hosszú élettartamú oxidkatódjának tervezési szempontjait. A csővek megbízhatósága megköveteli egyrészt a katódrendszer fűtőteltjesítményének minimalizálását, másrészt az emissziós paraméterek által megengedett minimális katódhőmérséklet állandó értéken tartását. Az ismertett és megvalósított konstrukció 2,5 W fűtőteltjesítmény melletti 1000 K katódhőmérsékleten az elvárt 40—50 000 óra élettartamot biztosítja. (Δ)

1. Bevezetés

Az utóbbi évek fejlődése a közepes teltjesítményű távközlési haladóhullámú csővek esetében mindenképp előttr a megkívánt élettartam, a megbízhatóság és az összhatafok javítása terén kívánta a legjelentősebb előrelépést. Itt most az előbbieket növelése érdekében kifejtett tevékenységről szolunk, amely ráadásul egy igen energiatakarékos katódrendszer létrehozásával párosult, nem elhanyagolható mértékben járulva hozzá ezzel a határfok növeléséhez is.

2. A katód problémaköre

A cső élettartamát elsősorban a katód határozza meg. Tervezésénél több szempontot kell figyelembe venni:

- megfelelő, elméletileg várható élettartam,
- a rögzített katódhőmérséklet stabilitása, minimális érzékenység a fűtőteltjesítmény változására,
- alacsony fűtőteltjesítmény.

A felsorolt szempontok között lényeges összefüggések állnak fenn. A katód hőmérsékletét részben a cső funkciójából és konstrukciójából adódó katódáramterhelés, részben a vákuumtér maradékgázainak katódkárosító hatása határozza meg [1, 2]. Ugyanakkor értékétől függ a katódréteg szabad Ba-tartalmának, valamint a katódmagfém illékony aktiváló komponensének párolgásból adódó veszteségi sebessége. A katódhőmérsékletet a betáplált elektromos teltjesítmény biztosítja. Nagyságával kapcsolatos megkötés általában a satellitcsöveknél lép fel energiaokok miatt. Földi telepítésű csöveknél is célszerű azonban a fűtőteltjesítményt minimalizálni a gázforrások hatásának csökkentése céljából.

* Elhangzott 1983. V. 19-én a VDE (NTG) IEEE „Elektronenröhen” konferenciáján Garmisch-Partenkirchenben.

Beekezett: 1983. X. 14.

ADÁM JÁNOS

Egyetemi tanulmányait a budapesti Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Karának fizika—kémia szakán végezte. Első munkahelye a Távközlési Kutató Intézet volt, ahol fotolumineszcenciával, félvezető alapanyag techno-

lógiával, és vékony rétegek ellipszometriájával foglalkozott. Jelenlegi munkahelye az EIVRT Kutató Intézet, ahol vákuum elektroncsövek elektronemissziós rendszerének fizikájával, technológiájával és konstrukciós problémáival foglalkozik.

2.1 A katód elméleti élettartama

A cső előírt mikrohullámú paramétereinek biztosításához szükséges kollektoráram 60 mA-re adódott. Az elektronágyú konstrukciós adatai alapján ez 200 mA/cm² katódáram-terhelést jelent, mely oxidkatódokkal még tartósan biztosítható. A megkívánt élettartam 50 000 óra volt.

Ismeretes [3], hogy az oxidkatód alacsony kilépési munkáját az alkáli földfémoxid bevonat optimális szinten tartott szabad Ba-koncentrációja biztosítja. A szabad Ba a bevonat és a magfém aktivátor atomjai között végbemenő kémiai reakció (redukció) eredménye. Az aktivátoratomok diffúzió útján jutnak a magfémbe a bevonatba. A katód működése során a szabad Ba mennyiségét egy, az áramterheléstől függő értéken kell tartani, azaz a párolgási és a maradékgázból származó veszteséget folyamatosan pótolni kell. Katódmagfémként Wiggins 222 ttp. nikkelt használtunk, mely 0,07% Mg-ot tartalmaz. Az irodalomból ismert eljárással [4, 5, 6] meghatároztuk a Ba képződési sebességének időfüggését a hőmérséklet és magfémvastagság függvényében (1. ábra). A katód fajlagos áramterhelés értékéből két következmény adódott:

- a katód hőmérséklete 730 °C,
- a Ba kritikus képződési sebessége 10⁻⁸ μmol/cm² s lévén, 50 000 órás élettartamhoz 0,5 mm vastag katódnikkel szükséges.

A számításához felhasznált és az adott magfémre vonatkozó D_{Mg} diffúziós állandó értékét külön erre a célra kidolgozott eljárással határoztuk meg (730 °C-nál D_{Mg} = 3,15 · 10¹² cm²/s). A diffúziós állandó hosszabb égetési idő után a magfémbe végbemenő szennyezésnövekedés miatt időfüggést mutatott.

Katódbevonatunk (Ba Sr Ca)₀ a legkisebb párolgási sebességet adó Ba (50%), Sr (45%), Ca (5%) összetételben. A bevonat mennyiségét a magfém

aktivátor kémiai ekvivalenciája és a bevonat párolgási sebessége alapján határoztuk meg, $1,3 \text{ g/cm}^3$ sűrűség mellett a rétegvastagságra 60μ adódott.

Az említett paraméterekkel megépített katód termikusan és áramkivétellel optimumra aktiválva $580 \text{ }^\circ\text{C}$ átmeneti hőmérsékletet (T_{kn}) adott 200 mA/cm^2 egyenáramú terhelés mellett. Az átmeneti hőmérsékletet a Bodmer [7] által kidolgozott „dip-test” eljárás továbbfejlesztett módszerével határoztuk meg [8]. Diódákban és csőkísérletekben lefolytatott tartóségetési vizsgálataink adatai szerint, az átmeneti hőmérséklet átlagosan $2 \text{ }^\circ\text{C}/10^3$ óra sebességgel növekedik (1. ábra).

2.2. A katód termikus tervezése

Tekintettel arra, hogy elméletileg a katódhőmérséklet $25 \text{ }^\circ\text{C}$ -os változása kétszeres faktort jelent az élettartamban, hosszú élettartamú csöveknél különös gondot kell ügyelni a katód termikus tervezésére. A tervezésnél az alábbi szempontokat tekintettük meghatározónak:

2.2.1. Fűtőfeszültség-változás—fűtőteljesítmény-változás összefüggésének meghatározását.

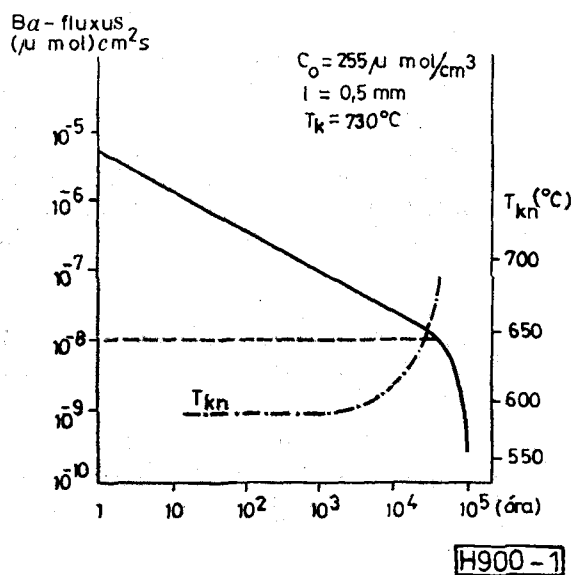
2.2.2. A fűtőteljesítmény-változásnak a katódhőmérséklet változására gyakorolt hatását.

2.2.3. Fűtőteljesítmény minimalizálását az adott feltételek mellett.

2.2.1. A V_f fűtőfeszültség és P_f fűtőteljesítmény között fennáll az alábbi összefüggés [9]:

$$\frac{dP_f}{P_f} = \left(1 + \frac{1}{c}\right) \frac{dV_f}{V_f},$$

ahol „c” a fűtőszál differenciális ellenállásának és a munkaponti ellenállásának a viszonya, az üzemi feltételek között. Célszerű „c” értékét minél magasabbra választani, ami részben konstrukcióval, részben megfelelő hőmérséklettel biztosítható. Jól konstruált katódoknál értéke $1,6-2,0$ között változik. Az általunk megvalósított bifiláris síkspríál esetén $c=1,82$.



1. ábra. A Ba-fluxus időfüggése a $C_0=255 \mu\text{mol/cm}^3$ kezdeti Mg koncentrációjú, $0,5 \text{ mm}$ vastag katódnikkel esetén $730 \text{ }^\circ\text{C}$ -on; az átmeneti hőmérséklet (T_{kn}) időfüggése



NEUMAYER BÉLA



DR. SZEKERES BÉLA

Villamosmérnöki oklevelét 1958-ban szerezte a BME Villamosmérnöki Karának Gyengeáramú Tagozatán. 1958–1969-ig a Távközlési Kutató Intézet alkalmazottja, munkaköre: mikrohullámú csömérés és mérőberendezés fejlesztés, színes képszó mérés és mérőberendezés fejlesztés. 1969-től az Egyesült Izzólámpa és Vili. Rt. alkalmazottja, munkaköre: mikrohullámú cső K + F témafelelőse.

A budapesti Eötvös Loránd Tudományegyetemen 1964-ben fizikusi diplomát szerzett. Ugyanitt 1980-ban PhD fokozatot nyert. Munkáját a Távközlési Kutató Intézetben kezdte, majd az Egyesült Izzó Kutató Intézetében folytatja. Munkaterülete vákuumfizika, tömegspektrométerek fejlesztése, vákuumcsövek katódjainak konstrukciós és mérési problémái.

2.2.2. A P_f változás hatása a katódhőmérsékletre attól függ, hogy a katód energiaegyenlegében milyen a sugárzási és a vezetési veszteség aránya.

$$P_f = \beta P_j + (1 - \beta) P_K,$$

ahol βP_j a sugárzás útján leadott energiahányad. A katód működési hőmérséklet-tartományában feltelezhető, hogy

$$P_f \sim T_K^\alpha,$$

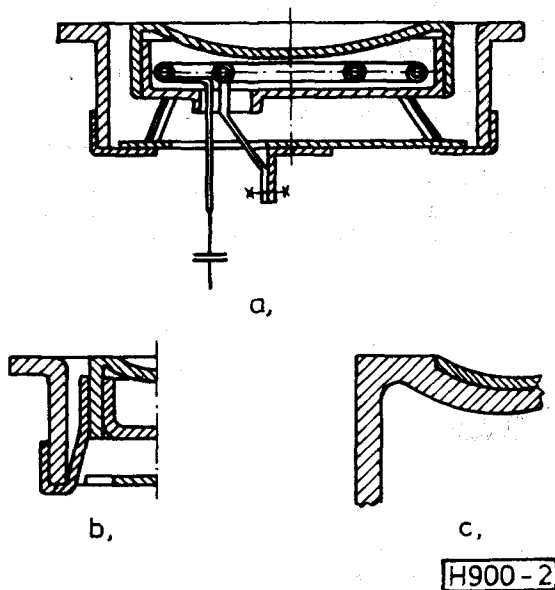
melyből a relatív változásra

$$\frac{dP_f}{P_f} = \alpha \frac{dT_K}{T_K},$$

érvényes.

Látható, hogy minél nagyobb α annál kevésbé érzékeny a katódhőmérséklet a fűtőteljesítmény megváltozására. Az α értéke mérésből meghatározható, esetünkben $\alpha=3,8$ adódott az üzemi állapot környezetében. Ebből ismert összefüggések alapján $\beta=0,8$ értéket kaptunk, vagyis a konstrukció a betáplált teljesítmény 80%-át sugárzás útján adja le, amit igen kedvező értéknek tartunk. A fenti összefüggésekből adódik, hogy pl. 10% fűtőfeszültség-változásnak csak $\sim 30 \text{ }^\circ\text{C}$ katódhőmérséklet-változás felel meg, ami hosszú élettartamú haladóhullámú csövekre megengedett (1–3%) fűtőfeszültség-eltérések mellett, igen jó — $10 \text{ }^\circ\text{C}$ alatti — T_K stabilitást jelent.

2.2.3. A katód teljesítményfelvétele: $2,5 \text{ W}$. Ezt az alacsony értéket az emisszióban részt nem vevő katódfelület minimalizálásával és sugárzási vesztesé-



2. ábra. A katódkonstrukció elvi vázlata

gének árnyékolással történő csökkentésével, valamint a katódkikötés alacsony vezetési veszteségével biztosítottuk. Az emissziós felület $\varnothing 6$ mm, a kikötést 4 db $0,2 \times 0,3$ mm² keresztmetszetű, ponthegeztéssel rögzített invár szalag biztosítja. Mivel a hőelvezetés definiált, a katódhőmérsékletnek a névleges értéktől való standard eltérése 6°C (2a, b ábra). Megemlítjük, hogy a katód nikkelfelületén a görbületi sugár megtartása mellett préseléssel alakítunk ki egy $60\text{-}\mu$ mély fészket, amelyet szuszpenzióból, elektrosztatikus eljárással több rétegben töltünk ki az emissziós anyaggal (2c ábra). A réteg teljes megszáradása után a felületet pontosan a kívánt görbületi sugárra köszörült speciális szerszámmal megmunkáljuk, ezáltal biztosítjuk az emissziós felület kívánt görbületi sugarát.

3. A gázháztartás javítása

A katódfizikai és -kémiai számítások eredményeinek megvalósítása csak igen jó, s az élettartam során tartósan fennmaradó vákuumfeltételek teljesítése esetén remélhető. Ezt a gyártás során alkalmazott, az előírt, s szigorúan betartott vákuumhigiénia, a megfelelően megválasztott vákuumtechnikai anyagok, azok gondos kémiai és vákuumtechnikai előkezelése, kikezelése, tárolása, a higiénikus szerelés, az előírt szivattyúzási és csőkikezelési technika szisztematikus végrehajtása, valamint a jól megválasztott és méretezett getterek használata és kikezelése együttesen biztosítja.

Korábbi haladóhullám csöveink, különösképpen a második generációs 4 GHz-es *MH11* és 6 GHz-es *MH12* típusúak kifejlesztése és gyártása során igen sok hasznos tapasztalatra tettünk szert. Az itt kialakított technikán a hosszú élettartamú csöveknél az alábbi területeken vezettünk be szigorítást:

- alkatrészek anyagellenőrzésénél (összetétel, gáz-tartalom);

- mechanikai megmunkálásoknál alkalmazott hűtő, kenő szuszpenziók használatánál;
- kémiai tisztításoknál;
- kályházási hőfok- és időtartamnál;
- szivattyúzási végvákuum-, ill. elektronkiterhelésnél, getterezésnél.

A felsoroltak közül a getterezés előtt megkívánt végvákuum értéket emeljük ki, amely a szivattyún történő, az üzeminek megfelelő egyenáramú terhelés esetén 10^{-9} torr közelében van. Ez az alkalmazott előkezelések esetén — tapasztalataink szerint — megfelelőnek látszik.

4. Vizsgálati eredmények

A fentiek hasznosításával készülnek 4 és 6 GHz-es távközlési 10–20 W-os kimenő teljesítményű haladóhullámú csöveink. 50 000 órás égetési eredmények e pillanatban még csak laboratóriumi vizsgálatokból származnak. A nagyobb mennyiségű felhasználás esetén remélt megfelelést egyrészt az említett laboratóriumi tapasztalatokra, másrészt a második generációs típusokhoz tervezett hasonló felépítésű katódrendszerekkel nyert eredményekre alapozzuk. Az utóbbi esetben a katódokat 20 000 órás elvárt élettartamra terveztük. A fent közölt tervezési eljárás alapján, az ugyancsak *Wiggin 222* magfém vastagsága 0,2 mm-re a katódtérhelés változatlanul 200 mA/cm² körülire adódott.

44 db ellenőrzött égetőhelyen, több mint 2 millió akkumulált üzemóra alatt egyetlen kiesés adódott 15 000 óránál, és további egy 18 500 óránál. A többi cső 25 000 üzemóra fölött teljesített. Az átlagos élettartam elérte a 32 000 üzemórát, ami láthatólag biztonsággal fölötte van a kívánt 20 000 órának.

5. Következtetések

A modern mikrohullámú haladóhullámú csövek leglényegesebb követelményei közül vezető helyen áll a hosszú élettartam, a nagy megbízhatóság és a jó összehatások. Ezek legfőbb meghatározója a cső elektron emitter rendszere: a katód. A bemutatott tervezési elveken nyugvó katód konstrukció az elvárásoknak megfelelő haladóhullámú csövek kifejlesztését eredményezte.

A korábbi csőtípusok hasonló elven tervezett katódjaival nyert nagyobb volumenű konkrét felhasználói és az új csőtípusokra kapott laboratóriumi vizsgálati eredmények tanúsága szerint az elvárt 40–50 000 órás élettartam, kiváló megbízhatósági adatokkal párosulva, megoldottnak látszik. Ugyanakkor a katód fűtőteljesítmény igény gyakorlatilag fele a hasonló célú külföldi csöveknek.

I R O D A L O M

- [1] *E. Bíró*: „The influence of gas ambient on the emission characteristic of thermionic cathodes”, *Giorgi — Della Porta* (eds.): *Residual Gases in Electron Tubes*. — Proc. of the 4th Int. Symp., Academic Press, London, p. 89 (1971).

- [2] *K. M. Tischer*: „Der Einfluss der Umgebung auf die Oxidkathodenemission“, *Vakuum-Technik*, 27 106 (1978).
- [3] *E. S. Rittner*: „A theoretical study of the chemistry of the oxide cathode“, *Philips Res. Rep.* 3 184 (1953).
- [4] *H. E. Kern*: „Research on oxide-coated cathodes“, *Bell Lab. Record*, Dec. 1960, p. 451.
- [5] *H. E. Kern et al.*: „Thermionic emission and diffusion studies on zirconium doped nickel cathodes“, *Advances in Electron Tube Tech.*, 6th Nat. Conf., Sept. 1962, p. 235.
- [6] *F. Dlouhy et al.*: „Magnesium im Kathoden-nickel“, *Die Telefunken Röhre*, No. 46, 39 (1966).
- [7] *M. G. Bodmer*: „Dip testing, a new method for measuring cathode activity“, *I.R.E. Trans. PGED*, ED-5 43 (1958).
- [8] *B. Szekeres*: „Eine Methode für die Messung der Knicktemperatur“, *Tungs. Techn. Mitt.* (Im Druck.)
- [9] *F. R. H. Almer, A. Kuiper*: „Eine Oxidkathode mit Halbwattheizfaden für Kathodenstrahlröhren“, *Philips Techn. Rdsch.* 23 25 (1961/62).