

E 870

Magyar **HIRADÁSTECHNIKA**

XD



11-12

Felelős szerkesztő:

Lévai Pál

Szerkesztőbizottság:

Alkér Tibor
 Balla Miklós
 Barcza László
 dr. Barta István
 Boglár Gyula
 Bognár Géza
 Honti Péter
 Izsák Miklós
 Koczka László
 Kódlányi Gyula
 Komlós István
 dr. Orbán György
 Sárközy Géza
 Székely Mihály
 Szigeti György
 Szikszay Lajos
 Szokol Hubert
 Vágó Artur
 Valkó Iván Péter
 Winter Ernő

Megjelenik kéthavonta
 Előfizetési ár egy évre 30.—,
 példányonként 6.50 Ft.

A Tudományos Munkások Világszövetsége III. közgyűlésének határozatai	141
Kiss László: A hangerőszabályozás művészi és technikai kérdései a hang- átvitelben	142
Fábián Anna: Tömör ellenállások	148
Sebestyén László: Egy elektron-optikai problémáról	152
Tarnay Kálmán: A reflex klystron elmélete	157
Könyvszemle (Dr. Radványi László: Elektromos szűrők és kiegyenlítő- elmélete és méretezése. — Az 1953. évi DIN szabványjegyzék) ..	164
Helyreigazítás (Takács Jenő: A Fourier-amplitudók meghatározása ope- rátorszámítással)	164

Решения III. общего собрания Всемирного Союза Научных Работников	141
Ласло Киш: Вопросы музыки и техники регулировки усиления в звукпередаче	142
Анна Фабиан: Сплошные сопротивления	148
Ласло Шебештьен: Об одной проблеме электронной оптики	152
Кальман Тарнай: Теория рефлексного клистрона	157
Обзор книг. — Поправка	164

L. Kiss: Künstlerische und technische Gesichtspunkte der Lautstärke- regelung bei der Tonübertragung	142
A. Fábián: Massenwiderstände	148
L. Sebestyén: Über ein elektronenoptisches Problem	152
K. Tarnay: Theorie des Reflex-Klystrons	157

L. Kiss: Artistical and Technical Problems of the Volume Control in Sound Transmission	142
A. Fábián: Solid Rod Resistors	148
L. Sebestyén: An Electron-Optical Problem	152
W. Tarnay: Theory of the Reflex Klystron	157

L. Kiss: Points de vue artistiques et techniques du réglage de volume en transmission sonore	142
A. Fábián: Resistances massives	148
L. Sebestyén: Sur une problème de l'optique des électrons	152
K. Tarnay: Théorie du klystron a réflexe	157



A Tudományos Munkások Világszövetsége

III. közgyűlésének határozatai

I. sz. Határozat.

1. A Tudományos Munkások Világszövetségének III. Közgyűlése olyan pillanatban ül össze, amikor új lehetőségek merültek fel a nemzetközi feszültség enyhítésére — és inkább mint valaha tudatában van azoknak a lehetőségeknek, amelyek a tudomány jóra vagy rosszra való felhasználásában rejlenek — újra leszögezi alapszabályának legfontosabb célkitűzését: »Munkálkodni a tudomány legteljesebb hasznosításáért, a béke és az emberiség jólétének érdekében.«

2. A Közgyűlés felhívja az egész világ tudományos munkásait, hassanak oda, hogy országaik kormányai tegyenek meg mindent a nemzetközi ellentéték békés megoldása érdekében. Ilyen megegyezés a fegyverkezés csökkentéséhez vezetne és a tudomány számára felmérhetetlen jelentőségű lenne. A békés kutatás és a tudomány fejlesztése számára komoly összegeket biztosítana és felszabadítana intézményeket és tudományos munkásokat, akik jelenleg háborús kutatásokkal foglalkoznak. Ily módon a tudomány összes erőforrásait az emberiség teljes jólétének felépítésére lehetne hasznosítani.

II. sz. Határozat.

A tudósok munkájuk természeténél fogva jól tudják, milyen súlyos veszélyt jelentenek az emberiség számára az olyan tömegpusztító fegyverek, mint az atombomba, a hidrogénbomba, vegyi és rádióaktív mérgek és a baktériumfegyver. Viszont teljes mértékben tudatában vannak, hogy milyen óriási jótétet jelentene az emberiség számára az atomenergia békés célokra való felhasználása.

A Tudományos Munkások Világszövetsége elhatározza, mindent elkövet annak érdekében, hogy a széles tömegek felismerjék a tudomány alkalmazásának eme kettős arculatát. A tudomány új lehetőségeit nem szabad rombolás céljára felhasználni. A tömegpusztító fegyverek kiküszöbölése terén az első lépés már megtörtént akkor, amikor majd minden kormány ratifikálta a baktériumfegyverek használatát megtiltó, 1925-ös genfi egyezményt.

A Közgyűlés nyomatékosan felhívja minden ország kormányát, egyezzenek meg nemzetközi tárgyalások útján abban, hogy betiltják a tömegpusztító fegyvereket és e tekintetben olyan gyakorlati rendszabályokat fogantatnak, amelyek tudományosan megalapozottak és hatékonyak.

III. sz. Határozat.

1. A Tudományos Munkások Világszövetségének III. Közgyűlése megerősíti állásfoglalását, alapszabályának és alapokmányának megfelelően, a tudományos szabadság korlátozásával, a szabad nemzetközi tudományos érintkezés korlátozásával és a tudományos vagy technikai alkalmazás korlátozásával szemben, amelyet bármely országban bárki ellen érvényesítenek, az illetőnek neme, faja, nemzetisége, politikai felfogása vagy vallása miatt. A Közgyűlés felhívja tagszervezeteit, hogy országukban vizsgálják meg a hátrányos megkülönböztetés minden ilyen esetét, számoljanak be róla és más szervezetekkel együtt tegyenek olyan intézkedéseket ezek ellen, amelyek a legcélravezetőbbnek látszanak és nyújtsanak anyagi és erkölcsi támogatást mindazoknak, akiket az ilyen megkülönböztetések sújtanak.

2. A Közgyűlés, hogy a maga részéről megfelelően hozzájáruljon a nemzetközi feszültség enyhítéséhez, elhatározza, hogy a nemzetközi tudományos kapcsolatok sürgősen szükséges megjavítására ösztönzi tagszervezeteit. Felkéri tagszervezeteit, hogy éljenek a Világszövetség adta lehetőséggel annak érdekében, hogy tájékoztassák egymást a saját országaikban folyó tudományos tevékenységről, valamint országaik tudományos dolgozóinak helyzetéről. Továbbá nyomatékosan felhívja tagszervezeteit, hogy mozgósítsák elő és javítsák meg a tudományos könyv- és folyóiratcserét, segítsék elő a tudósok, kutatók, egyetemi hallgatók tanulmányútjait a jelenlegi korlátozásoktól mentesen.

3. A Közgyűlés leszögezi, hogy a tudomány felhasználásában rejlő lehetőségeknek sokkal szélesebb körben és sokkal mélyebben ismerteknek kellene lenniök, mert csak akkor válhat általánossá annak követelése, hogy éljünk is ezekkel a lehetőségekkel. A Közgyűlés egyhangúan elhatározza, hogy akciót kezdeményez a tudomány felhasználásában rejlő lehetőségek közismertté tételére és ennek érdekében a tömegpropaganda minden eszközét felhasználja.

4. A Közgyűlés meg van győződve arról, hogy a tagszervezetek ilyen tevékenysége révén a Világszövetség alapszabályának és alapokmányának szellemében, a tudományos munkások világszerte meg fogják találni a módját, hogy valóra váltsák leghőbb vágyukat, annak biztosítását, hogy a tudomány a legteljesebb mértékben az emberiség javát szolgálja.

A hangerőszabályozás művészi és technikai kérdései a hangátvitelben

KISS LÁSZLÓ

A hangátvitel feladata az, hogy akusztikai eseményeket természetűen közvetítsen a hallgatóhoz. A közvetlen, »elő« hangátvitel a közvetítendő cselekmény és a megfigyelő helye közötti térbeli távolságot hidalja át, míg a rögzített hangátvitel a térbeli távolság kiiktatásán felül a felvétel és visszaadás időpontjai között időbeli eltolásra is lehetőséget nyújt. A hangforrás által keltett akusztikai energia-átalakításoknak elektromos, mágneses, mechanikai, vagy fényenergiává való átalakítása, valamint ennek hanggá történő visszaalakítása igen sok olyan külső tényező befolyásától függ, melyek közül egynek megváltoztatása is az eredeti hangképnek erős eltorzítását hozhatja magával. Az alábbiakban az átvitt hang minőségét befolyásoló tényezők közül a hang egyik legfontosabb jellemzőjét, a dinamikát tesszük vizsgálatunk tárgyává.

A hangátvitelben a beszéd és zene közül az utóbbinak átvitele kívánja meg magasabb technikai követelmények megvalósítását. Mivel a beszéd közvetítése a minőségi zeneátvitel technikai határain belül történik, tárgyalásunkban általában a magasabb minőségi követelményeket támasztó zeneátvitel kérdéseivel foglalkozunk.

Egy zenemű jellegét — a többi között — a fortissimo és pianissimo részek közötti ellentét adja meg. Ezt a számokkal is kifejezhető arányt dinamikának nevezzük. A dinamikát az előadásban előforduló legkisebb és legnagyobb intenzitásamplitúdók viszonya határozza meg.

A dinamika fogalmának pontos meghatározásához szükséges, hogy megkülönböztetéseket tegyünk a hangforrás helyén effektíve fellépő dinamika, az átvitel folyamán megvalósítható dinamika, valamint a hallgató által fiziológiailag érzékelhető dinamika között. E szerint a dinamikának három fajtáját különböztetjük meg:

1. a zenemű előadása közben előforduló legkisebb és legnagyobb hangerősségek viszonya a *természetes (zenei) dinamika*,
2. az átvivőlánc zajfeszültségének a megengedhető legnagyobb feszültséghez mért aránya a *technikai dinamika* és
3. a fül által érzékelhető legkisebb és legnagyobb hangnyomások aránya a *szubjektív dinamika*.

Természetes dinamika

A zenemű dinamikája, mely egyike a mű fő jellemzőinek, lényegében három tényezőtől függ:

- a) a szerző művészi elképzeléseitől, melyeket a partitúrában *p*, *mf*, *ff* stb. jelekkel ír elő az előadók számára,
- b) a művet előadó zenekar összetételétől, amely nagyságával és erős hangszereinek (fúvósok, nagybőgő, üstök) számával megszabja a zenekar legnagyobb hangerejét és
- c) attól az előadási módtól, ahogyan a karmester a szerző előírásait értelmezi.

Egyes karmesterek a pianissimókat enyhén megemelik és megfordítva: csökkentik a fortissimók szintjét, hogy így »diszkrét« hatást érjenek el. Mások ezzel ellentétben a zenei kifejezést a zenekar adottságainak megfelelően kiterjesztik, hogy a nagyobb kontraszt élénkebbé, színesebb tegye a mű előadását. Többek között ez a felfogásbeli különbség teszi kedvelté egyik, vagy másik karmestert a zenekedvelő közönség körében.

A szerző előírásainak zenei értelmezésébe csak mikrofon segítségével tudunk valamilyen normalizációt behozni. Ilyen módszerrel nagy szimfonikus zenekar játéka közben a karmester helyén az alábbi hangerőfokozatokat lehet megállapítani:

<i>ppp</i> 20 phon	<i>f</i> 75 phon
<i>pp</i> 45 phon	<i>ff</i> 85 phon
<i>p</i> 55 phon	<i>fff</i> 95 phon
<i>mf</i> 65 phon	

A zeneművek természetes dinamikája különböző kiegészítő tényezőktől is függ, ilyenek pl. a terem akusztikai tulajdonságai, a zenekar és a mikrofon elhelyezése stb.

A szerzők az évszázadok folyamán a zenekar méreteinek kiterjesztésével állandóan növelték műveiknek termé-

szetes dinamikáját. Erre bizonyíték az alábbi érdekes táblázat:

Zenekarok	A zenészek száma
Bach kamarazenekara	12
Mozart zenekara	35
Beethoven zenekara	90
Liszt zenekara	100
Wagner zenekara	130
Berlioz zenekara	450
Mahler zenekara (a IV. szimfónia előadásánál)	1000

A gyakorlatban a dinamika nem növekedhet minden határon túl. Alsó határát az alapzaj jelenségei szabják meg; ezek megadják azt az »alapot«, amelyen az esztétikai jelnek kell nyugodnia. Az alapzaj az előadás körülményeivel erősen változik: rossz hangversenytermekben (ajtók, köhögés, suttogás) tekintélyes, 45—50 phon értéket is elérhet. Kevésbé fontos az alapzaj kérdése akusztikailag jól kialakított teremben, ahol a terem saját hangjainak intenzitása a hangversenydobogóról érkező hangokkal ellentétben a távolsággal arányosan csökken.

»Halk« közönség eredeti hangspektrumának összetételét csak igen pontatlan szubjektív mérési eljárással lehet megállapítani a fellépő hangenergiák csekély volta miatt. A mérések azt mutatják, hogy az alapzaj hangspektruma főképpen mély összetevőket (emberek mozgása, mormogás) foglal magában. A zajszint gyorsan esik a középfhangok felé és a karmester mögé helyezett mikrofon jól kialakított, telt teremben csupán 20—25 phon alapzajt érzékel azoknál a frekvenciáknál, melyeknél a fül érzékenysége normális. Majdnem üres rádióstúdióban a mikrofont 20 phonnál nagyobb erősségű zaj nem éri.

A pianissimók alsó határát a gyakorlatban az egyes hangszerek által megszólaltatható legkisebb hangerősség és maga a zenekar, mint »zajforrás« szabja meg. A pianissimókban ritkán fordul elő, hogy két, vagy három hangszernél kevesebb volna egyidejűleg játékban. Az általuk keltett »alapzaj« — a zenekar legkisebb hangerőssége — a hangszerek fajtái és az előadott hangok magassága szerint erősen változik. A mérhető phon-értékeket a zenei dinamikatartomány alsó határának kell tekinteni. A felső határt, mint már említettük, a zenekar összetétele és mérete határozza meg.

Ha a zenészek a karmester körül *R* m sugarú körben helyezkednek el, a legtávolabbi hangszer által kiterjesztett hanghullámot a hallgató $2R/340$ sec-mal később érzékeli mint a legközelebbi által megszólaltatott hangot; ezáltal időbeli eltolódás keletkezik, melyről a kísérletek azt mutatják, hogy legfeljebb $1/10$ sec lehet, a zenemű egységére való kellemetlen hatás — visszahangjelenségek — nélkül, és ez mintegy 40 m átmérőben határozza meg a zenekar legnagyobb kiterjedését. A kritikus távolság egyes előadásoknál, amelyeknél a szokottnál több — pl. 400 — zenész működik közre, bizonyos mértékben még kiterjeszthető. (Csajkovszkij: 1812 nyitány a moszkvai Nagy Színházban, vagy Berlioz: Rákóczi induló a párisi Cirque d'Hiver-ben).

A természetes dinamikatartomány szélessége a zenei műfajok szerint erősen változik.

Mint az 1. ábra mutatja, a legnagyobb hangnyomás-különbségek és legszélesebb dinamikásáv a nagyzenekari művekben fordul elő, míg a szólóhangszerek dinamikája lényegesen kisebb értéket ér el.

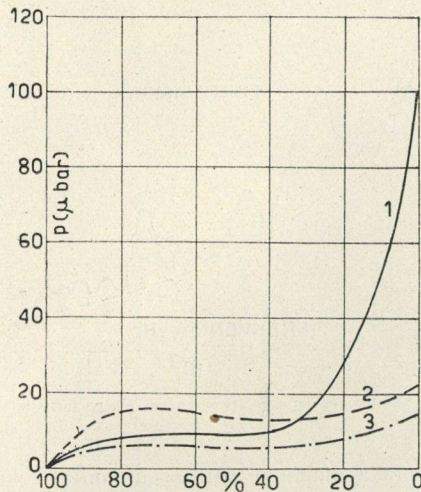
A dinamikát egyszerű arányon kívül — pl. 1 : 1000 — logaritmikus egységekben is ki lehet fejezni. Így a *természetes (zenei) dinamika* értékét decibelben

$$d = 20 \cdot \log \frac{p_{\max}}{p_{\min}} = 10 \cdot \log \frac{I_{\max}}{I_{\min}} \text{ dB}$$

összefüggés adja. Itt

$p_{\max}$ (μ bar) a legnagyobb hangnyomás
 $p_{\min}$ (μ bar) a legkisebb hangnyomás
 $I_{\max}$ (W/cm^2) a legnagyobb hangintenzitás és
 $I_{\min}$ (W/cm^2) a legkisebb hangintenzitás
a zenemű előadása közben.

A közvetítendő hangfolyamat intenzitás-terjedelmének nagy jelentősége van az átviteltechnikában: a kérdéses hangerőtartományon belül a hangrögzítő- és visszaadó berendezéseknek lineárisan kell dolgozniuk.



1. ábra. A különböző műfajoknál előforduló hangnyomásértékek százalékos aránya a művek teljes időtartamához képest.
1 szimfónikus zene, 2 tánczene, 3 zongora

Az alábbi táblázatban $p_{\max}$ a fortissimókban előforduló legnagyobb hangnyomást, $p_{\min}$ a pianissimókban előforduló legkisebb hangnyomást jelenti rádióátvitel esetén a mikrofon helyén. A zárójelben lévő számérték a mikrofon és a hangforrás közti távolságot jelenti.

Hangforrás	A szereplők száma	$p_{\max}$ (μbar)	$p_{\min}$ (μbar)	$\frac{p_{\max}}{p_{\min}}$	Dinamika (dB)
Zongora (7 m)	1	16,8	0,10	168	45
Vonósnégyes (2,5 m) .	4	16,8	0,12	140	43
Tánczene	9	26	0,2	130	42
Szórakoztató zene	21	20	0,08	250	48
Fúvószenekar	25	44,2	0,13	340	50
Szimfónikus zenekar ..	55	24	0,06	400	52
Férfikórus	38	23	0,1	230	47
Kórus és zenekar	350	150	0,5	300	49
J. S. Bach: Brandenburgi verseny előadása	7	18,7	0,05	374	51

Az élő beszéd dinamikája 1 : 20–30 (25–30 dB) körül mozog, míg a suttogás — kiabálás hangnyomásviszonya 1 : 1000 (60 dB) értéket is elérhet.

A táblázatban adott kísérleti eredmények azt mutatják, hogy a természetű hangátvitel érdekében támasztott követelmények eléggé súlyosak. A fellelő hangnyomásértékek a mikrofon helyén $5 \cdot 10^{-2}$ μbar és $1,5 \cdot 10^2$ μbar között ingadoznak. A gyakorlatban általában 50 dB-es dinamikával szokás számolni mint felső értékkel. Különleges esetekben a hangnyomás a táblázatban szereplő értékeket felülmúlhatja, így pl. szimfónikus zenemű előadása közben szélső esetben 1 : 3000 (70 dB) dinamika is előfordulhat.

Széles dinamika-sáv mérhető Beethoven Coriolan-nyitányában, modern zenekarral, a szerző előírásainak figyelembevételével történő előadásban; az első ütemek modulációs* csúcsai 120 tagú zenekarnál elérik a 105 phont (100 watt akusztikus teljesítmény!), az alapzaj pedig ez esetben 15–25 phon között változik. Ezekkel az értékekkel találkozunk Wagner egyes darabjainál is. (»Az istenek alkonya«.) A szólóhangszerek dinamikája aránylag kicsi, zongoránál

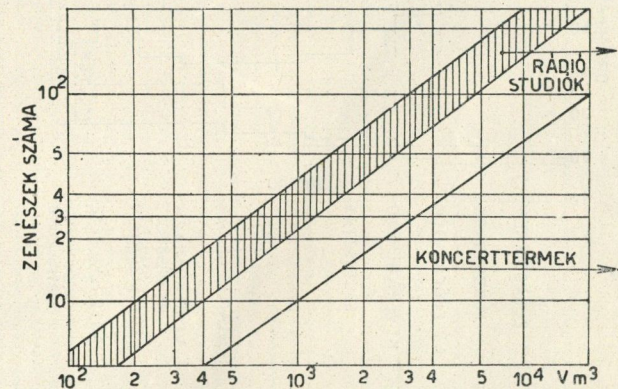
például a húrok aránylag lassú mozgása miatt nem lépi túl a 45 dB-t.

Egy zenekar által elérhető dinamikataromány szélessége és a zenekar által megszólaltatott hangteljesítmény — a teremben egyenletes hangerőeloszlást feltételezve — meghatározza az előadóteremnek a zenekar által megkívánt optimális méretét. Ezt az összefüggést, amely — eléggé durván — megadja a zenekar és a terem megfelelő arányát, igen gyakran figyelmen kívül hagyják. A nem megfelelő — csekély, illetve túlságosan nagy — terem méret a hallgatóban akusztikai telítettség, illetve hangelmosódás kellemetlen érzetét kelti.

Technikai dinamika

A természetű hangátvitel megvalósítása komoly technikai nehézségekkel jár. A rendelkezésre álló modern hangátvivőrendszerek, hangrögzítő- és visszaadó berendezések műszaki teljesítőképessége a technikai fejlődés ellenére is korlátozott, ezért a hangjelenségek átvitelében a minőség rovására engedmények adására kényszerülünk; különösen a természetes dinamika átvitele jelent egyelőre nem tökéletesen megoldott kérdést. E ténynek figyelembevétele elsősorban zenei szempontból jelentős, mert nagy hangerő-különbségek zenei, főképpen nagyzenekari művek előadása közben fordulnak elő. Az itt adódó dinamikaértékek a beszédéhez képest százszoros értéket is elérhetnek. Csúcsértékek aránylag ritkán lépnek fel (lásd az 1. ábrát), így az átvivőrendszereket gazdasági okokból óvatosan megállapított hangnyomás-középtértékre tervezik és korlátozzák: a kézi szabályozást, vagy automatikus szabályzóberendezéseket alkalmazzák.

A természetes dinamika a technikai dinamika szűkebb határai közé történő összenyomását az eredeti mű kényszerű eltorzításának kell tekintenünk. E mesterséges torzítás a közvetített művek zenei minőségét nem hagyja érintetlenül. Az átvivőberendezések tervezőinek, valamint



2. ábra. Összefüggés a zenészek száma és az optimális terem nagyság (V) között

a közvetítések művészi és technikai lebonyolítóinak feladata, hogy a hangminőségnek e csökkenését a zenei kontrasztok és árnyalatok megtartásával a lehető legkisebbre szorítsák le.

A rádióátvitelben a technikai eszközökkel megvalósítható dinamika alsó határát a stúdióban uralkodó zaj, mikrofonok, erősítők, hangrögzítő- és lejátszóberendezések, valamint az adóberendezés alapzaja, a légköri zavarok zajsintje és a vevőkészülék önzaja szabja meg. A felső határt a közvetítőlánc által átvihető legnagyobb hangerősség: a mikrofonok, erősítők, hangrögzítőberendezések, adóállomás és vevőkészülék legnagyobb torzítatlan feszültség-szintje jelenti.

A technikai dinamika számszerű összefüggésben az alábbiakban fejezhető ki:

$$d = 20 \cdot \log \frac{U_{\max}}{U_{\min}} = 20 \cdot \log \frac{I_{\max}}{I_{\min}} = 10 \cdot \log \frac{N_{\max}}{N_{\min}} \text{ dB}$$

Itt $U_{\max}$ (mV) ... a legnagyobb torzítatlan feszültség
 $I_{\max}$ (mA) ... a legnagyobb torzítatlan áramerősség
 $N_{\max}$ (mW) ... a legnagyobb torzítatlan teljesítmény
 $U_{\min}$ (mV) ... a legkisebb zajfeszültség
 $I_{\min}$ (mA) ... a legkisebb zajáramerősség
 $N_{\min}$ (mW) ... a legkisebb zajteljesítmény

* Moduláció = a hangfrekvenciás áram amplitúdóváltozásai. (Nem tévesztendő össze a rádiótechnikában használatos modulációs fok kifejezéssel.)

Túlmoduláció = a megengedhető legnagyobb értéket meghaladó moduláció.

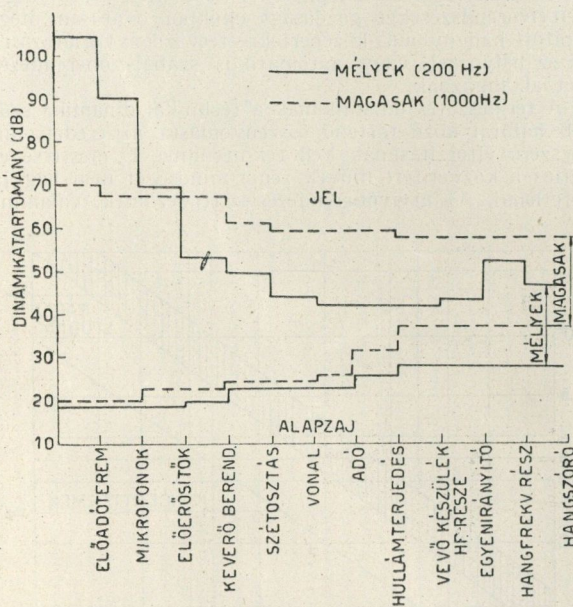
A technikailag megvalósítható dinamika-sáv szélessége az alkalmazott átvivőrendszer típusától és minőségétől függ. A gyakorlatban három fő hangátviteli módot különböztetünk meg:

1. közvetlen, »élő« rádióközvetítés,
2. rögzített rádióközvetítés (magnetofon, hanglezem) és
3. préselt kereskedelmi lemez lejátszása.

A különböző átviteli módokkal megvalósítható technikai dinamikaértékek lényegesen eltérnek egymástól; e különbségek az alábbi táblázatban szembetűnőek.

Közvetlen mikrofonátvitel (hangerősítés)	1 : 5000 (75 dB)
Rádióadás	1 : 60 (35 dB)
Rádióvétel	1 : 60 (35 dB)
Magnetofon	1 : 1000 (60 dB)
Viaszlemez	1 : 300 (50 dB)
Lakklemez	1 : 60 (35 dB)
Préselt kereskedelmi lemez	1 : 30 (30 dB)
Film	1 : 200 (45 dB)

Míg a hangerősítés, a közvetlen mikrofonátvitel a legnagyobb természetes dinamikaértékek torzítatlan átvitelét is lehetővé teszi, addig a különböző hangfelvételi eljárásoknál, rádióadásnál és rádióvételnél megvalósítható technikai dinamika-sáv szélessége a természetes dinamikatartomány-nál lényegesen szűkebb. Ez a tény a hangátviteli folyamat-



3. ábra. A dinamika lépcsőzése közvetlen rádióadás esetén.

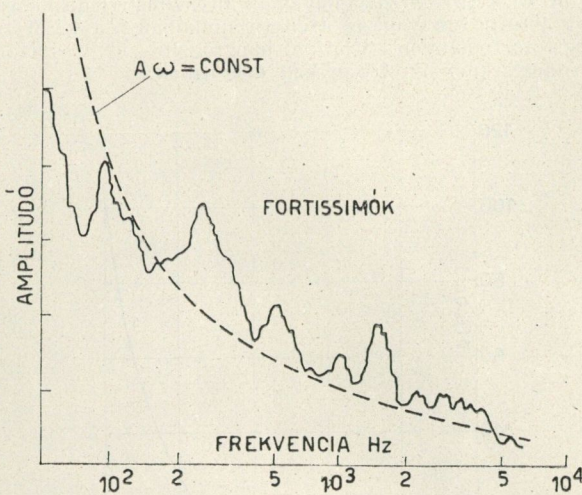
ban fontos utasítást jelent: a természetes dinamika értékeit mesterségesen a technikai dinamika határai közé kell szorítani a lehetőséghez képest úgy, hogy az előadott mű zenei hűsége a kontrasztok megőrzésével biztosítható legyen.

Az »élő« rádióközvetítésben háromféle dinamika-szűkítés szerepel:

a) A mikrofonok széles tartományban lineárisak, a mikrofon előerősítő azonban mintegy 40 dB-re korlátozzák a dinamikát az előerősítőcső jelleggörbéjének görbülete és az alapzaj miatt.

b) A hangmérnök, vagy technikus meghatározott szabályok szerint nagy gondot szabályozza a dinamikát. A szabállyal fellépő hatásoknak fontos szerepe van a szimfonikus zene közvetítésének minőségében. A dinamika szélső értéke az adónak szolgáltatott legnagyobb modulációs feszültségnek és az első cső rácán mérhető zajfeszültségnek viszonya. A hangmérnök ezek között a határokat között szabályozhat.

c) A közvetítőlánc végén az atmoszférikus zavarok figyelmen kívül hagyásával — tökéletes közvetítést feltételezve — vannak olyan torzításokat okozó szervek pl. a rádió-vevőkészülék hangferkvenciás fokozatai és hangszórója, melyek a dinamikát erősen korlátozzák.



4. ábra. Szimfonikus zenekar átlagos hangszíneke fortissimóknál

A 3. ábra a dinamika változásait mutatja különböző frekvenciákon az átvitel különböző fázisaiban. Látható, hogy a láncban a »leggyengébb« elem a vevőkészülék, mely magas hangoknál a dinamikát erősen korlátozza; a hangszóró torzításai pedig különösen a mély hangoknál nagyobbak, mint az átvivőlánc bármely tagjának torzítása.

Rögzített rádióközvetítéseknél a fentiekén kívül a vágófej, maga a lemez és a lejátszófej is korlátozza a dinamikát. Ebben a főszerepet az elektromechanikus szervek játsszák: a mély hangoknál lineáris torzítást idéznek elő, 200 Hz alatt csak »konstans amplitúdóval« tudunk visszaadni konstans sebességamplitúdó ($A\omega$) helyett, mint ahogyan ezt az elektromágnesség törvényei kívánják. Állandó sebességamplitúdó mellett pedig az elektrodinamikus, vagy elektromágneses lejátszófej független lehetne a frekvenciától.

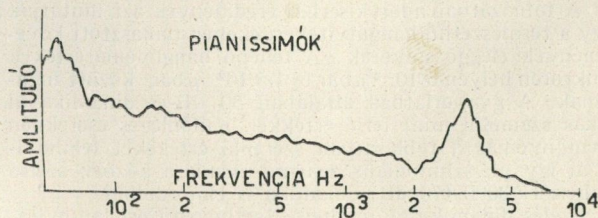
A szimfonikus zene átlagos hangszíneke hűen követi az

$$A\omega = \text{konstans}$$

törvényszerűséget. (4. és 5. ábra). Ez a mély hangoknál nagy amplitúdót jelent.

A fellépő nagy amplitúdók miatt lemezzvágásnál a kontrasztoknak összenyomása válik szükségessé; ezt a kontrasztszűkítést a lejátszóerősítő az eredetinek megfelelő módon visszakorrigálja. A vágható cellulóz-alapanyagú lemezeknek a dinamika lépcsőzésekben aránylag csekély befolyása van.

A mély hangoknál, 50—100 Hz között a gyakorlatban a dinamika általában 10—12 dB-el csökken, ez az egyik fő oka a hangminőség romlásának rögzített szimfonikus hangversenyek visszaadásánál a közvetlen adásokhoz képest. Rádióközvetítésnél a minőségi hangátvitel érdekében a mély hangok kiemelésével kontrasztkiterjesztést szoktak megvalósítani a lejátszóerősítő korrekciós tagjának segítségével,



5. ábra. Szimfonikus zenekar átlagos hangszíneke pianissimóknál.

hogy ki lehessen egyenlíteni a rögzítés és visszaadás közbeiktatásából adódó mintegy 20 dB-es esést. Ez a kiterjesztés a gyakorlatban azonban nem lépi túl a 10 dB-t. (6. ábra).

Legkedvezőtlenebb a helyzet préselt kereskedelmi lemez esetén: itt a dinamikát nem csupán a vágó- és lejátszófejek jelleggörbéje korlátozza; maga a kemény részecskéket tartalmazó préselt lemez is erős alapzajt, sistergést

okoz. A lemez anyagán kívül a visszaadás körülményei is — a tű alakja, helyzete, kopott volta — az alapzaj növelésével erősen korlátozzák a megvalósítható dinamikát.

Mágneses hangfelvételnél a helyzet lényegesen kedvezőbb: a magnetofonrögzítés és lejátszás mintegy 60 dB-es dinamikája általában lehetővé teszi a zeneművek természetes dinamikájának hanghű visszaadását.

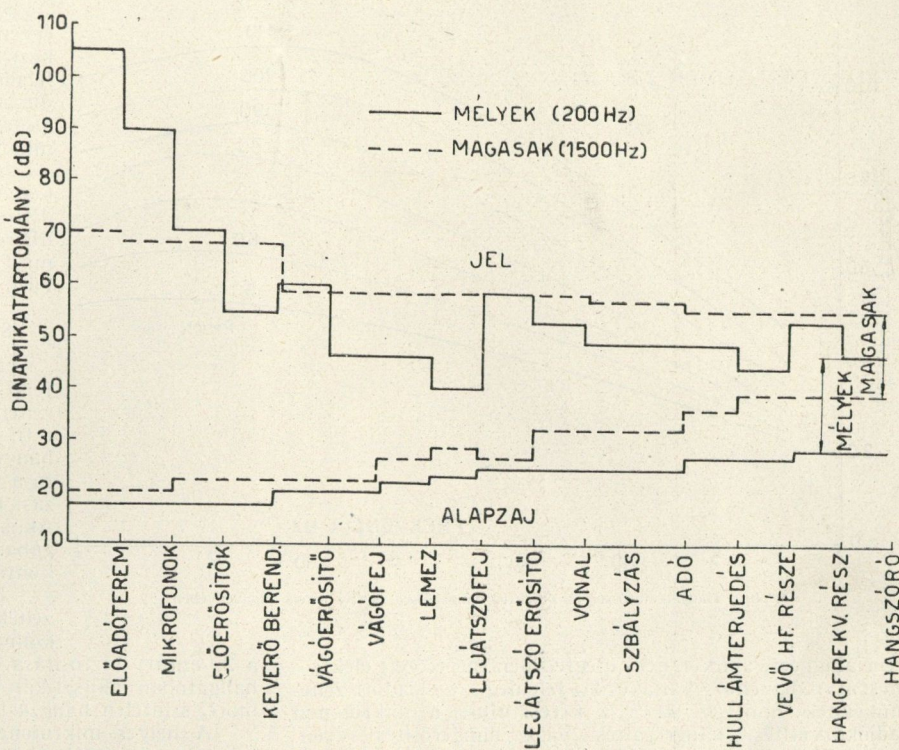
Szubjektív dinamika

A szubjektív dinamika értékét az emberi fül, mint hangfelfogó szerv fiziológiai tulajdonságai szabják meg. A fül átvivőképessége dinamika szempontjából minden technikai berendezésnél tökéletesebb: a hallás alsó és felső küszöbértéke a Fletcher-görbe szerint az 1000 Hz körüli rezgésszámoknál mintegy 120 dB-es dinamikatarományt határol. A hangnyomás abszolút értéke az alsó határon $2 \cdot 10^{-4}$ μ bar, a felsőnél pedig $2 \cdot 10^2$ μ bar körül mozog.

A fül érzékenysége, mint ismeretes, a mély és magas frekvenciák felé erősen csökken: a mély hangoknál figyelembe veszi a véráram lüktetésének erősségét és rezgésképét és kevéssel felette marad az általa keltett hangnyomás abszolút értékének. A magas hangoknál az érzékenység a levegő-molekulák hőmozgásának spektriális eloszlását követi és az érzékenységi görbe sehol sem éri el az alsó küszöbön a kritikus értéket.

A fül frekvenciafüggő érzékenységi görbéjének e tulajdonságaival együtt más fiziológiai adottságok is — nemlineáris hangérzeterősség-növekedés, elmosódási jelenségek — sok szubjektív elemet visznek be a hangátviteli folyamatba. Ezeknek figyelmen kívül hagyása a hangátvitelt technikai öncélusággá súlyosbíthatja. A hangátviteli folyamatban ezért a természetes és technikai dinamika mellett a »hallásszerű«, szubjektív dinamikának jelentős szerepe van.

A fellépő alapzaj-jelenségeknek műszerrel mért (objektív) és a fül által érzékelt (szubjektív) értékei jelentősen eltérhetnek egymástól a mély frekvenciáknál. Így pl. az erősáramú hálózat szórásaiból adódó 50 Hz-es, vagy (egyen-



6. ábra. A dinamika lépcsőzése rögzített visszaadás (lemez) esetén.

irányítóknál) 100 Hz-es bűgást a fül sokkal csekélyebb mértékben érzékeli, mint maga abb frekvenciáknak ugyanolyan feszültsége mellett. Ezért pontos méréseknél különbséget tesznek idegenfeszültség és zajfeszültség fogalma között.

A zajfeszültséget úgy méri, hogy a feszültségmérő-műszer elé »fűlszűrőt« iktatnak és ez utánozza a fülnek 30 phonnál mutató érzékenységét. A szűrőt úgy méretezik, hogy az 1000 Hz-es rezgésszámnál ne csillapítson, a mély és legmagasabb hangoknál pedig a 30 phonos hangerő-érzékenységnek megfelelő csillapítást jelentsen. Az előírások általában megkövetelik, hogy a zajfeszültség kisebb legyen, mint —60 dB, azaz a legnagyobb amplitudó 1/1000 része.

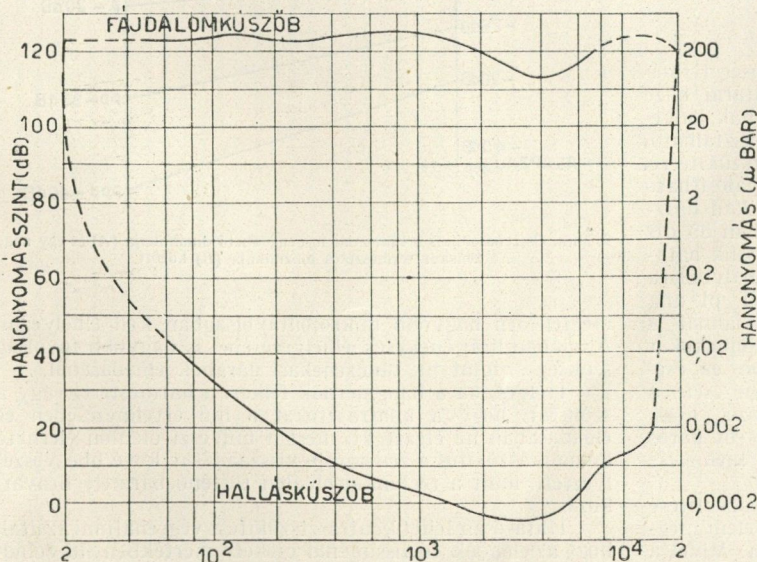
Idegenfeszültségen a fűlszűrő nélkül mért, tehát normális, frekvenciafüggetlen voltmérő által mutatott feszültséget értjük. Az előírások szerint az idegenfeszültségnek —40 dB-nél, azaz a legnagyobb amplitudó 1/100 részénél kisebbnek kell lennie.

A fül érzékenységének frekvenciafüggése a vizsgált hangjelenség — nagyzenekari előadás — hangenergiájának szubjektív hangképi eloszlásában a zenekar átlagos hangképéhez viszonyítva lényeges eltéréseket okoz. A szimfónikus zenekar átlagos hangspektruma azt mutatja, hogy nagy energiaamplitudók mindig a mély hangoknál térnek vissza. Jól ismert tény viszont az, hogy a fül fiziológiai érzékenysége 200 Hz-től lefelé gyorsan csökken és a 90–110 phonos szintnél 35–150 Hz között, azaz a zenekar hangszereinek mély regisztereiben közel 14 dB-lel változik (Lásd a 7. ábrát.)

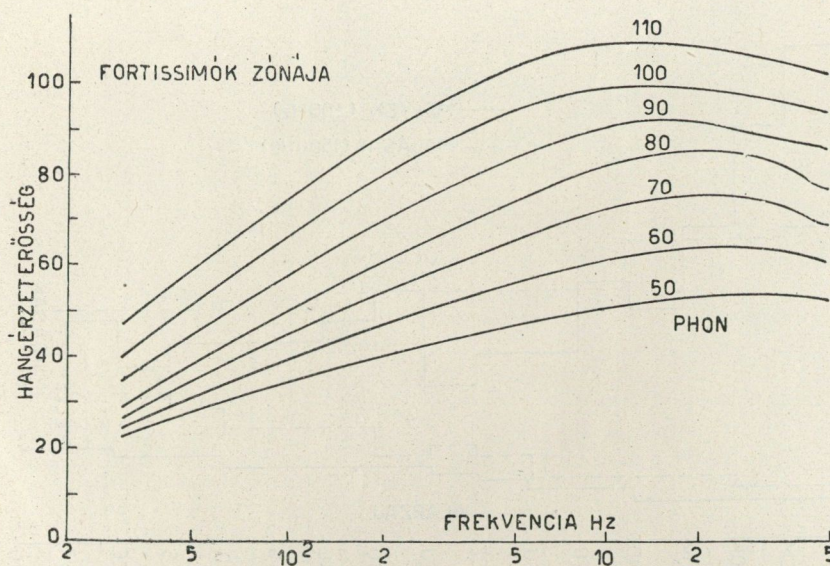
A zeneszerzők ösztönösen ismerik ezt a jelenséget, ezért a pianissimók általában a középső regiszterekben, a fortissimók pedig a teljes zenekar megszólaltatása közben a mély regiszterekben fordulnak elő.

A végzett kísérletek szerint a fűlszigában mért feszültséggörbe nagy nyomásoknál a 8. ábrához hasonló lefolyású és ez megerősíti a fül frekvenciafüggő érzékenységéről szóló ismereteinket.

A jó minőségű mikrofón ellentétben a fül viselkedésével, csak akkor mutat frek-



7. ábra. A fül érzékenységi görbéje.



8. ábra. Hangérinterősség az objektív hangerősség és frekvencia függvényében

venciafüggést, amikor nem megfelelően méretezett elektromos átvivőláncok csatlakoznak. Jelenleg az előadott zeneműveknek mintegy 90 %-a keresztüljut a mikrofonon rádióközvetítés, hangrögzítés vagy hangerősítés révén. A rádióműsoroknak általában 20 %-át teszi ki a klasszikus zene (néhol többet is) és ez a zenének különleges — jó, vagy rossz — átvitelét jelenti. A zene elektroakusztikus átvivőláncokon keresztül történő érzékelésének ezek szerint tehát nagyobb a jelentősége, mint a közvetlen hallású érzékelésnek.

A szubjektív dinamika kialakulásához hozzájárul a fülnek az a tulajdonsága is, hogy a szubjektíve érzékelt hangerősségek (hangosság) összegeződése eltér a fizikai energiáösszegeződés törvényeitől. Ez a pszichológiai jelenség annál inkább érvényre jut, minél nagyobb a hang-zinkülönbség az egyidejűleg megszólaltatott hangforrások — pl. egy crescendóban belépő és erősödő hangszercsoportok — között, ha a belépések időkülönbsége szűk határok között az elmosódási küszöbön (1/16 sec) belül mozog. Így Ravel Bolerojában a 16 ütemes téma fokozatos erősödését nem csupán a hangteljesítmény növekedése okozza, hanem az is, hogy a különböző hangszínezetű hangszerek egymástutáni belépése az említett pszichológiai hatást eredményezi. Beethoven III. Leonora nyitányában, ehhez hasonlóan, a dinamika kibontakozása a szintén a különböző hangszínezetű hangszerek egymástutáni megszólaltatásával hozható összefüggésbe.

Szabályozási módok

Az eddigiekből következik, hogy a hangjelenség természetes dinamikájának a technikai dinamika határai közé történő összenyomása a hangátviteli folyamatoknak lényeges mozzanata. A hangátviteli gyakorlatában tapasztalható, hogy nem minden esetben van szükség kontrasztszűkítésre, mert a technikai eszközökkel általában megvalósítható 1 : 100 (40 dB) dinamikatartományt aránylag ritkán használjuk ki. A természetes dinamika értéke általában 35 dB körül mozog és gyakran már a művészi oldalon szűk határok között van, így összenyomására, vagy utánszabályozásra nincsen szükség. Táncczeneműsorok rádióátvitelénél pl. alig beszélhetünk lényeges dinamikáról, különösen annál a hangfelvételi irányzatnál, amely a hangszercsoportokat területileg igyekszik szétválasztani több mikrofon és csekély mikrofontávolságok alkalmazása által. Ilyen esetben a fellépő dinamika olyan szűk határok között mozog, hogy utánszabályozás nem minden esetben szükséges, sőt káros is lehet, mert egyes hangszercsoportok túlzott kiemelése a mű zenei egyensúlyát teljesen megbonthatja.

Egyes zeneműfajok — szimfonikus zene — közvetítése esetén azonban az aránylag nagy intenzitás-terjedelemből megkívánja a dinamika ellenőrzését és szabályozását. Mivel a természetes dinamika kénszerű megváltoztatása az eredeti hangjelenség tökéletes átvitelét és a művészi szempontok

érvényesülését gátolja, az alkalmazott kézi, vagy automatikus szabályozás feladata az, hogy a zenemű természetes dinamikáját a zenei hűség megtartása mellett igyekezzék leszűkíteni a technikailag megvalósítható dinamika-sávra.

A 9. ábra vázlatosan feltünteti a szabályozási folyamat célját: a 60 dB-es természetes dinamika-sávot 30 dB-re kell összesűríteni. Vizsgáljuk meg most a szabályozás kivitelének különböző módszereit.

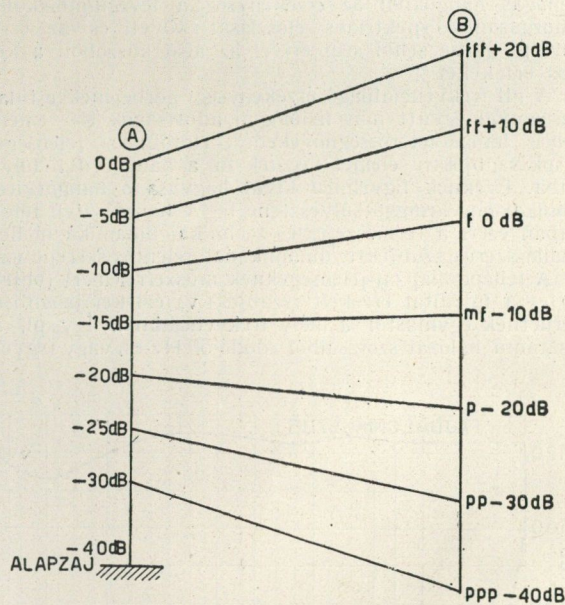
Szabályozás az előadóteremben

Mivel a hangerőszabályozóval történő minden beavatkozás a visszaadott zenemű művészi hitelességét veszélyezteti, a szabályozásban legelsősorban a hangerőszabályzó helyzetének változtatása nélkül alkalmazható szabályozási lehetőségeket kell felhasználnunk. Akusztikai megfontolások alapján magában a stúdióban is végrehajthatunk kontrasztszűkítést.

Igen lényeges ilyen szempontból a zenekar nagyságának és az előadók számának megfelelő stúdió-tér fogat (lásd

a 2. ábrát) biztosítása, mivel a túlszűrt előadóterem a hallgatóban akusztikai telítettség érzetét kelti és nyomott, szintelen hangzást okoz.

A helyes mikrofonelrendezés és megfelelő mikrofontávolságok megválasztásánál mindig figyelembe kell venni az egyes hangszercsoportok által megszólaltatott hangteljesítmények nagyságát. Így pl. a nagyobb hangteljesítményt sugárzó hangszercsoportokat (rézfúvó, ütődob) ennek



9. ábra. Összehasonlítás a rádióadás megengedhető dinamikája (A) és egy nagy zenekar természetes dinamikája (B) között.

megfelelően nagyobb mikrofontávolságban kell elhelyezni. Általában lírai énekesek elhelyezésénél is nagyobb távolság szükséges, mint pl. táncczenekari darabok előadásánál.

Helyes, ha a hangmérnök felkéri a karmestert, vagy a szólistát, hogy a kontrasztokat a mű értelmezésében és előadásában ne élezze ki, mert a művészi oldalon elérhető dinamika-szűkítés a zenemű jó visszaadását kevésbé veszélyezteti, mint a technikai oldalon történő bármely beavatkozás.

Hatásosan lehet kontrasztszűkítést végrehajtani azáltal, hogy az előadók fortissimójánál csekély mértékben eltávolodnak a mikrofontól, illetve pianissimójánál közeledek a mikrofonhoz. A lírai énekesek a magasabb regiszterekben általá-

ban nagyobb hangenergiával énekelnek, ezért helyes, ha fortissimók alkalmával a szopránénekes fejét enyhén elfordítja, vagy kissé eltávolodik a mikrofontól. A hirtelenlű történő, vagy nagyobb mérvű eltávolodás természetesen károsan befolyásolja az előadás minőségét, ezért ezt a módszert igen óvatosan kell alkalmazni.

Szabályozás hangerőszabályzóval

Az eddigiekben már meghatároztuk a dinamikasabályozás problémáját: a stúdióban fellépő 50–60 dB-es természetes dinamikát a zenei kifejezésnek, árnyalatoknak, a mű időbeli kibontakozásának figyelembevételével mintegy 35 dB-re kell összenyomni. A szabályozás technikai kivitelezésénél a mikrofonelőerősítő és főerősítő közé beiktatott frekvenciafüggetlen csillapítástaggal a modulációs feszültséget olyan mértékben emeljük, vagy csökkentjük, hogy a legkisebb kivezélés a maximumhoz viszonyítva legalább –35 dB legyen, illetve a megengedett ± 0 dB felső modulációs szintet tartósan ne lépje túl.

A moduláció objektív ellenőrzése decibel-, vagy százalékskálával ellátott frekvenciafüggetlen kivezélésmérő műszer segítségével történik. A megfigyelés szempontjából igen lényeges a műszer időállandóságának helyes megállapítása, mert csak ilyen esetben tudja az emberi szem — fiziológiai tehetetlensége miatt — a regisztrált elektromos jelenségeket hűen követni. A gyakorlatban jól bevált műszereken a skálamutató a visszafutás fázisában ± 0 dB-ről –40 dB-re 1 sec alatt tér vissza. A moduláció szubjektív ellenőrzésére hangszóró szolgál.

Fontos tény, hogy a fül különösen érzékeny kontraszthatásokra, de ezzel ellentétben kevésbé érzékeny az abszolút szintkülönbségekre és még kevésbé képes hangerősszintek megjegyzésére. A pianissimó árnyalatoknál a fül kedvező tulajdonságot mutat: mikor az alapzaj a pianissimókifejezés számára a hangelfedési hatás szomszédságát jelenti, a fül — logaritmus érzékenysége miatt — kielejezi ezt az árnyalati különbséget és ezzel azt a szubjektív benyomást kelti, mintha a pianissimó árnyalatot még halkabban játszották volna. Ez a szubjektív dinamikaerősítés a technikai dinamikaszkutitást részben ellensúlyozza.

Az elmondottakból a szabályozás elvégzésére az alábbi következtetéseket vonhatjuk le.

Nem szabad ugrásszerűen növelni, vagy csökkenteni a hangerősséget, a szabályozást folyamatosan kell elvégezni. A fül korlátozott felbontóképessége miatt 1,5–2 dB hangerőugrásokat még nem vesz észre, a hangerőszabályzó kialakításánál és a szabályozás elvégzésénél tehát ezen a határon belül kell maradnunk.

Lehetőleg kerülni kell a pianissimó részek alatt történő szabályozást, mert a fül az alacsonyabb hangerőszinteknél a hangerősségváltozásra nagyobb érzékenységet mutat.

Az utánszabályozást, vagy hangerőscsökkentést lehetőleg zenei mondat végén, pauzában kell elvégezni, mert — mint említettük — a fül abszolút hangerősségértékekre nehezen tud visszaemlékezni.

A helyes dinamikasabályozás elvét két mondatban ki lehet fejezni:

- először is a hangerősség-csúcsok ismeretében meg kell határozni a mű közepes hangerősség-szintjét és
- a szabályozást ehhez a szinthez viszonyítva kell lefelé, vagy felfelé elvégezni.

A középszent helyes beállítása azt eredményezi, hogy a »minimális szabályozás« elve megvalósítható, azaz a szabályozóhoz a legkevésbébszer kell hozzányúlni.

Vizsgáljuk meg az alábbi diagramon, hogyan lehet a zenei hűség megóvása mellett az erősítőfokozatok túlvézérlését elkerülni. (10. ábra).

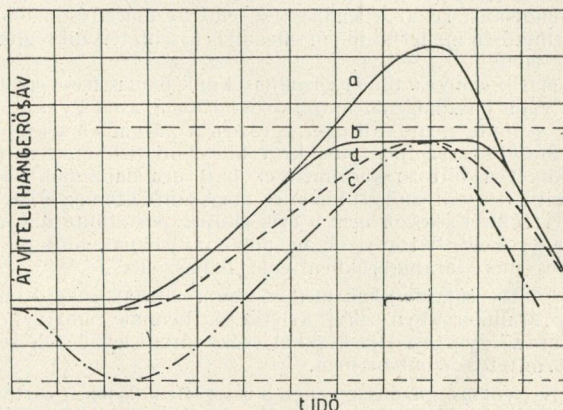
Ábrázolja az a jelű görbe a mikrofonelőerősítő kimenő pontján mérhető feszültséget. Többféle eljárás ismerünk a görbe túlmodulációs pontjának lejjebbszorítására.

a) Az a hangmérnök, aki nem veszi figyelembe a zenei árnyalatokat és nem tudja, hogy melyik pillanatban következik be a túlmodulációs pont, a b jelű görbe szerint szabályoz; akkor kezd csökkenti a modulációs szintjét, amikor műszerének mutatója már a megengedhető felső modulációs határ felé közeledik. Ez a szabályozási mód egyáltalán nincsen tekintettel a zenei finomságokra és a fortissimó csúcsán váratlanul fellépő hangerőesés pszichológiai hirtelen törés benyomását kelti. A mű szerzője

által megírt és a zenekar által jól előadott crescendo így a szabályozás áldozata lesz.

b) Ha a zenemű crescendo-jellegű része nem hosszú időtartamú, a középszent előzetes csökkentésével a c görbe szerint az eredeti dinamika görbével párhuzamos jellegű szabályozást lehet megvalósítani, így a mű crescendóját hűen tudjuk visszaadni. Ez a szabályozási mód különösen akkor alkalmazható, amikor a crescendót megelőző rész elhalkuló jellegű, mert a középszent csökkentése a decrescendónak megfelelő értelmű és nem ellene »dolgozik«.

c) Egyes zeneműveknél — pl. Ravel Bolerójánál — a crescendo folyamatosan, hosszabb idő alatt éri el a tetőpont-



10. ábra. A dinamikasabályozás különböző módjai. a) az eredeti hangerősségváltozás, b) a csúcsérték helytelen levágása, c) a crescendót megtartó »alszabályozás«, d) a csúcsérték időtartamának meghagyása a meredekség megváltoztatása mellett.

ját. Ilyen esetekben helyes a crescendo egész tartama alatt a d görbe szerint folyamatosan csökkenteni a modulációt mert a szabályozás — hosszú időtartama miatt — nem vehető észre és a mű zenei hűségét nem rontja le.

A gyakorlat azt mutatja, hogy aránylag nagy dinamika-növekedést is vissza lehet adni nagyobb mérvű szabályozás nélkül, ha a növekedés kezdete előtt a közvetítés művészi és technikai közreműködői a hangerősség-szintet az egész dinamika-tartományban (hangerősségszkála) olyan pontjára helyezik, amelyből a dinamika-növekedés további korlátozás — szkutítás, vagy utánszabályozás — nélkül ki tud bontakozni.

Az elektroakusztikus berendezések átvivőképességének technikai és gazdasági korlátjai — mint láttuk — erősen határt szabnak az eredeti hangjelenség tökéletes átvitelének és így a közvetített zenemű mind művészi, mind technikai vonatkozásban veszít zenei hűségéből. A visszadás olcálán kell tehát minden lehető eszközt felhasználni a mű kényszerű eltorzulásának visszakorrigálására. A rádiótechnika többféle módszert alkalmaz és ismer az összenyomott dinamika kiterjesztésére (dinamikaexpander). Különböző frekvenciafüggő korrekciós elemek beiktatása által, ha nem is teljes, de jelentős kontrasztkiterjesztést lehet elérni és ezáltal a hangátvitel minősége lényegesen megjavítható. E módszerek tárgyalása messze vezetne, itt megelégszünk a felvételi olcálon végbemenő folyamatok vizsgálatával. A nyert eredmények helyes felhasználásán áll, vagy bukik — a többi között — a zenei és prózai rádióműsorok hű továbbítása, a film és hang-lemez hangjának művészi megalkotása — általában az átviteltechnikus, a hangmérnök számára a határának teljesítése: a természetű hangátvitel megvalósítása.

IRODALOM:

- F. Trendelenburg: Einführung in die Akustik. — Springer, Berlin. 1950.
 W. Reichardt: Grundlagen der Elektroakustik. — Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig. 1952.
 F. Krones: Die magnetische Schallaufzeichnung. — Verlag B. Erb, Wien. 1952.
 J. Bernhart: Traité de prise de son. — Eyrolles, Paris. 1949.
 K. Henney: Radioengineering Handbook. McGraw-Hill, New-York. 1950.
 A. Moles: Dynamique de la musique et expression de contrastes. — Radio service 9151/1–2. Basel.
 J. Grunert—A. Schneider: Künstlerische und technische Probleme der Schallaufnahme und Schallübertragung. — Funk und Ton 1950/1. Berlin.

Tömör ellenállások

FÁBIÁN ANNA

I.

Tömör ellenállások fogalmkörébe tartoznak mindazok az ellenállások, melyeknél az ellenállástest teljes térfogata egészében részt vesz az elektromos vezetésben és teljes egészében azonos anyagból vagy anyagkeverékből áll. Ez a típus jó terhelhetősége és olcsó előállításai miatt tarthat számot érdeklődésre. A jó terhelhetőség miatt különösen olyan alkalmazási lehetőségeknél lép előtérbe, ahol viszonylag kis hely áll rendelkezésre az ellenállástest elhelyezésére, és azonos terhelhetőség mellett a tömör ellenállás kisebb térszükséglete nagy előny.

Másik előnye a tömör ellenállásoknak magas frekvenciakon való használatnál mutatkozik. Ellenállásuk gyakorlatilag semmit nem változik, egészen a megaciklusokig.

Stabilitás szempontjából kevésbé előnyösek, mert ohmértéküket a változó körülmények hatására hajlandók változtatni, és a változó körülmények megszünte után az eredeti ohmértéküket sokszor nem is érik el újra. A stabilitásnak ez a hiánya nagy hátrány olyan alkalmazásoknál, mint pl. a pontos mérő áramkörökben való felhasználás.

Fontos tulajdonsága még a tömör ellenállásoknak az, hogy áramkörökben zörejt keletkezik bennük, amelyet a különböző gyártási eljárásokkal csökkenteni lehet, teljesen megszüntetni azonban nem.

A gyártás gazdaságossága a rétegellenállások gyártási költségeivel való összehasonlításakor tűnik ki. Első közelítésben a tömör ellenállások gyártása nagyon kifizetődőnek látszik. Megtakarítható vele elsősorban a kerámia anyag, amely a kész ellenállás árához viszonyítva általában nem olcsó, és megtakarítható az ügyes, begyakorolt munkásokat igénylő munkafázisok egész sora. A tömör ellenállás gyártásánál viszonylag olcsó nyersanyagokból indulnak ki, elég nagy tömeg készíthető elő egyszerre, és legtöbbször egészen kevészámú, jól gépesíthető művelettel, tömeggyártásban állíthatók elő a teljesen kész ellenállások.

Legtöbb nehézséget a szórás okozza. A szórás ugyanis alig tartható nagyságrenden belül, az utólagos korrekció pedig sokkal alatta marad a rétegellenállásokon közörléssel elérhető eredményeknek. Ezért olyan piaclehetőségeknél, amelyeknél bizonyos favorizált értékek iránt mutatkozik érdeklődés és aránylag szűke a kívánt tűréshatárok, ott a különben olcsón előállítható tömör ellenállások gyártása mégsem fizetődik ki.

II.

A tömör ellenállások lényegében finom eloszlású vezetőszemcsék, leginkább szénfészeségek, vagy elektronvezető fémoxidok, fémszulfidok, magukban vagy szigetelő kötőanyaggal keverve, szilárd formába öntve, fröccsentve, préselve, stb. Ily módon szilárd, merev vezetőrudakat állítanak elő, amelyek megfelelő kontaktussal, esetleg nedvességvédő vagy jelző burokkal ellátva kerülnek kereskedelmi forgalomba. Az ilyen típusú ellenállások gyártásának előnyei oda hatottak, hogy egy iparág fejlődéséhez képest rendkívül rövid idő alatt, valóban nem egészen egy évtized alatt, nagyon sokféle gyártási mód és lehetőség született. Ezek gyakorlatilag jobban vagy kevésbé használhatók, de sokrétűségükkel és ötletességükkel fogva, mindenképen nagyon érdekesek.

A különböző gyárak gyártási módszereiket gondosan titokban tartották, eleinte tudományos közlemények formájában sem szivárgott ki semmi. Így ha áttekintést akarunk nyerni a gyártás elvi megoldási lehetőségeiről, csak a nyilvánosságra hozott szabadalmi leírásokra vagyunk utalva. Az első szabadalmak az 1920-as évek közepe táján jelennek meg. Ilyen pl. a következő: ellenálláselem, melynek anyaga rézoxid. Kellő mechanikai szilárdságot, az elektromos szempontból való egyenletességet, tehát a teljes keresztmetszeten való egyöntetűséget azáltal éri el, hogy egy alkalmasan választott alakú réztestet, hosszának csak egy részén, de teljes keresztmetszetében megfelelő kezeléssel vezető oxidvegyületté változtat. A réztest el nem oxidált végei célszerűen a kivezetéseket alkotják és tökéletes elektromos érintkezést biztosítanak.

Ez a típus főként magas ohmértékű ellenállásokat adott. Szükség volt alacsony ohmértékű és jól terhelhető ellenállásokra. A rétegellenállások erre a célra nem voltak olyan jók, mint a tömörek, mert a vékony réteg kevésbé állja a terhelést, mint a teljes térfogat. Ezért olyan eljárást dolgoztak ki, mely az ismert módon, széntartalmú oxigénmentes atmoszférából valamilyen hordozóra csapatas útján ellenállásanyagot készít, amely bármilyen kívánt ellenállásértékre, magasakra és alacsonyakra, továbbá alacsony és magas terhelésekre egyaránt felhasználható. A szén nagyon finom szemcséjű szigetelő porra csapatták (ez a por lehet magnézium, homok, vagy bármilyen más, igen hőálló anorganikus anyag). A kicsapódás folyamata csak másodpercekig vagy legfeljebb percekig tart, mert a réteg azonnal képződik, amint a gáz az izzó szigetelő részecskével találkozik. Az így szénréteggel ellátott porszemcséket alkalmas szigetelő kötőanyaggal összekeverik és rúd- vagy lemezalakra formálják, majd az így előállított ellenállástesteket keményítési eljárás során szilárdítják. A leírás szerint az ily módon előállított ellenállások különlegesen állandó ellenállásértékűek és a kívánt ellenállásértékek tömeggyártás során teljesen egyenletesen nyerhetők. Az ohmértéket az utólag hozzákevert kötőanyag mennyiségével lehet szabályozni. Külön előnye az ilyen ellenállásnak, hogy amellett, hogy a szénhidrogén gázból lecsapatott kemény szén előnyös tulajdonságaival bír, nincs meg benne a hátrány, amelyet a tartóra csapattott kemény szénréteg vékony volta rejt magában. Az ellenállásnak nagyon kis temperaturakoefficiense van. Nedvességgel szemben nagyon ellenálló. Külön védelmet tehát nem igényel. További előnye az ily módon készített tömör ellenállásnak, hogy olyan kemény, hogy a csúszó érintkező végig csúszhat rajta anélkül, hogy megsértené.

A felhasználás során az ellenállások tulajdonságaival szemben különböző követelmények merültek fel, így először a hőmérsékleti együtthatóval szemben. Kis hőmérsékleti együtthatójú ellenállások előállítására kért szabadalom szerint szigetelő fémoxidokat és vezető fémoxidokat (a vezető oxidok ne legyenek ionvezetők) kevernek össze ügyelve arra, hogy a szigetelő és a vezető oxidok egymással egyfázisú testet (vegyület, oldat vagy elegy-kristály) alkossanak. Az ellenállásokat 1700°C felett, lehetőleg 1800°C-nál, redukáló izzításnak vetik alá, előnyösen csaknem tiszta hidrogén áramban vagy hidrogén-nitrogén áram keverékében. Szigetelő oxidként főleg magnézium és alumínium oxidokat, vezetőként titán-oxidot választanak. Az így készült ellenállás 0-50°C között maximálisan 30 % ellenállásérték változást mutat, ami technikai célokra a feltaláló szerint kielégítően alacsony hőmérsékleti együttható.

A kontakttrészt szinterelés előtt a kontaktfém feliszapolat kenőcsével vonja be és úgy szinterel. Erre azért van szükség, mert a forrasztásnál gyakran előfordult, hogy az ellenállástest porusaiból a kontaktfém szemcséi kihúzódtak. Jó eredményeket értek el, ha a porózus fémkontakttrészt egy fémlemezrel itatták át, amely a kontaktfémlemez nem alkot ötvözetet. A kivezetők felforrasztása a porusok teleítatásával egyidejűleg történt. Forrasztófémként ugyanis azt a fémlemez használták, amelyet a kontaktfém teleítatására is. Pl. wolfram-molibdén kontaktfém esetén, ha a kivezetések vasdrótok előnyösen voltak használhatók a forrasztásra réz és ezüst, valamint ezek ötvözetei.

Az ellenállásokkal szemben támasztott minőségi követelmények fokozásával felmerült a zörejmentesség kérdése. és megindult a zörejmentes ellenállások készítésére szolgáló módszerek kidolgozása.

Ilyenek pl. a szén igen finom eloszlásban tartalmazó oldatok bepárolása, vagy olyan nem illékony szénvegyületek szénre való lebontása, amely szénvegyületeket előzőleg itatás útján szigetelő hordozóban oszlattak el.

A zörejmentesség elérése végett a szénfészeség felületére tapadt gázokat és nedvességet vákuumban való izzítással eltávolítják, majd vákuumban szigetelő kötőanyaggal keverik és így védik a további behatásoktól. A nedvesség eltávolítása után készített ellenállások zöreje 20-30%-kal kisebb, mint az anélkül gyártottaké, feltéve természetesen, hogy egyébként azonos körülmények között készültek.

Egy másik szabadalom magas ohmértékű ellenállások előállítását írja le. A gyártás célja elektromos szempontból kifogástalan, tartós és kevésbé érzékeny felületű ellenállások gyártása. Ezeket a tulajdonságokat olyan eljárással éri el, amely a végső keményítési eljárás előtt alkalmazott megelőző hőkezelés után, még plasztikus állapotban magas hőmérsékleten való préselésből, majd utólagos nyomás- és hőkezelésből áll.

Például ellenállás alapanyagként fenol-aldehid műgyanta alkoholos oldatát veszi egy szabadalom bejelentője. Ebbe az oldatba viszi az elektromos vezető anyagot pl. grafitot olyan mennyiségben, hogy homogén keverék keletkezzék. Ebbe a keverékbe semleges töltőanyagot visz, az oldószert elpárologtatja, majd hőkezelésnek veti alá.

Eközben a kötőanyagon olyan változás megy végbe, amely annak fokozatos megkeményedésében nyilvánul meg. Ez az előzetes hőkezelés 130–140° C-on megy végbe. Meleg állapotban 100° C-on való préselés következik, 2000 kg/cm² nyomással. Préselés után az ellenállásokat utólagos hőkezelésnek veti alá 150° C-on.

Ha a préselés túl alacsony hőmérsékleten történik, a keletkező ellenállások rendszertelen vezetőképeségűek lesznek. Ha pedig a préselés túl magas hőmérsékleten következik be, az ellenállásanyag már nem folyik megfelelően és nem fog a kívánt minőségű tömör szerkezet előállni. Lényeges azonkívül, hogy a préselés még az anyagnak igen plasztikus állapotában történjen, ami az előzetes hőkezelés megfelelő megválasztásával érhető el.

Az optimális préselési hőmérséklet az éppen felhasználásra kerülő ellenállás alapanyag típusa szerint állapítandó meg. Az ily módon előállított ellenállások erősítőkörökben alkalmazva még mindig túl nagy zöréjjel működtek. Mivel a zöreje annál nagyobb, minél kevésebb egyenletesen és finoman vannak az elektromosan vezető részecskék az elektromosan szigetelő kötőanyagokban eloszolva, azért nem elégedtek meg avval, hogy a vezetőanyagot, pl. kormot, golyós malomban őröljék finomra, mert a golyós malomban nem sikerül az őrlet finomságát bizonyos fokon túl növelni, ezért egyedül ezen az úton nem is lehetett az ilyen ellenállások zöreijnívóját bizonyos határ alá szorítani.

Sokkal nagyobb finomsági fokozat érhető el ultrahanghullámok alkalmazásával. A golyós malomban lehető legfinomabbra őrölt szemet belekeverik az ellenállás szilárdítható alapanyagát polimolekuláris állapotban tartalmazó folyékony oldatba, majd a keveréket ultrahanghullámok behatásának teszik ki. A szigetelő anyag minden egyes vezető szemcsét teljesen beburkol, sőt elképzelhető, hogy az ultrahanghullámok lecsökkentik a műgyanta típusú szigetelő oldat felületi feszültségét és ezáltal a szigetelő anyag a vezető részecskéktől apró üregeiben nyomul. Az így készített ellenállások belseje és felülete teljesen egyenletes anyageloszlást mutat.

Az ultrahang kezelés ideje és hullámhossza függ a kiindulási anyagok minőségétől. Általában növekvő frekvenciával és növekvő behatási idővel növekszik az elérhető diszperzitások is. Így ezek a nagyságok valamivel kisebbek lehetnek keményszen vezető anyag felhasználása esetén, mint ha kormot a vezető, ezen anyagok szerkezetének megfelelően.

A kormot szerkezete mellett az egyes részek szétDarabolása magas frekvenciákon és hosszabb behatási idő mellett jobban elérhető.

A kötőanyag fizikai tulajdonságai annyiban játszanak szerepet, hogy pl. a félig folyós kötőanyag növekvő viszkozitásával rövidebb hullámhossz és hosszabb behatási idő alkalmazandó. Ezek alapján nagyságrendileg néhány perctől 1 óráig terjedő hatás ajánlatos 40–600 kHz frekvenciákkal. Az éppen optimális értékek természetesen tág határok között mozognak; a pontos értéket kísérletek alapján kell megállapítani.

További minőségi követelmények a terhelhetőség nagyságára vonatkoztak. Ennek megfelelően módszereket dolgoztak ki különlegesen jól terhelhető ellenállások készítésére. Ilyen lehetőség pl. szén és fénoxidok, fémszulfidok vagy karbidok keverékének felhasználása gyantával, mint kötőanyaggal megkötve. Vasszulfid, szén, rézoxidul keveréke valamilyen félvezető kötőanyaggal megkötve, kitűnő hőszigetelő képességével tűnik ki és így 15–20%-kal kisebb dimenziójú darabok bírják ugyanazt a terhelést, amelyet egyébként a szén-kötőanyagossal ellenállások bírnának. Ilyen ellenállások előállítására az alkotóelemeket finoman elosztott állapotban

félvezető kötőanyagba, pl. zaponlakkba, műgyantalakkbba ágyazzák, majd a már ismert módokon dolgozzák fel.

Különlegesen magas terhelést vízüveges vagy cementes kötőanyag használatával érnek el.

Az ilyen ellenállások a légköri behatásokkal szemben komoly védelmet igényelnek.

Műgyanta, vagy cementes kötőanyagokon kívül lehet kötőanyagként aszfaltféleséget is felhasználni. Erre vonatkozó szabadalmi leírás szerint a grafitot szerves kötőanyagban és szerves oldószerben diszpergálják. A kötőanyag és a grafit aránya 3 : 1 és 1 : 3 között változhat. Kötőanyagként olyan szénhidrogént választanak, amely szerves oldószerekben oldódik, aromás gyököket tartalmaz, esetleg oxigén hidakkal. Ha az ellenállást magas hőmérsékleten pl. 100° C-on kívánják használni, célszerű egy magasabb olvadáspontú kötőanyagot választani, pl. olyat, amelynek olvadáspontja 115° C felett van. Kitűnő eredmények érhetők el aszfaltféleségekkel, amelyek olvadáspontja magasabb. Az oldószer forráspontja 100° C alatt legyen, hogy melegítéssel könnyen lehessen a keverékből eltávolítani. A grafit, kötőanyag és oldószer jó összekeverése golyós malomban történik. A szabadalmaztató feltételezi, hogy az ellenállás kitűnő stabilitását annak köszönheti, hogy a kötőanyag aromás gyökei elősegítik a grafitra való adszorpcióját.

Az ilyen típusú ellenállásoknál azt találták, hogy a hőkoeficiens nagysága függ a kötőanyag koncentrációjától. Azt is megállapították, hogy a kötőanyag koncentrációjának növelésével a hőkoeficiens 0 lesz, majd pozitív irányba csap át. Bizonyos keverékek olyan hőkoeficienset értek el, amely 5-ször akkora mint a fémeké, szobahőmérséklet és a megengedett 130° C-os max. üzemi hőmérséklet között.

Azt találták ezenkívül, hogy az ellenállások tulajdonságait befolyásolja a kötőanyag tágulási együtthatója. Legjobb eredményeket olyan kötőanyagokkal értek el, amelyek tágulási együtthatója magasabb mint a grafité. A hőmérséklet emelésevel az ellenállásérték kevésbé csökken vagy éppen növekszik, amint a kötőanyag mennyiségét és hőtágulási együtthatóját növelik. Feltevésük szerint ez abból származik, hogy a grafit szemcsék közti érintkezés csökken az aszfalt tágulásával. A fajlagos ellenállás változik a grafit koncentrációjával. Kívánság szerint a fajlagos ellenállás növelhető finomra őrölt, elektromosan szigetelő, nem porózus anyagok hozzáadásával.

A kész ellenállást a kötőanyag lágyuláspontját meghaladó hőmérsékleten melegítik ki, vigyázva arra, hogy közben a kötőanyagban bomlás ne következzen be, amely célra előnyös nem oxidáló gázatmoszférában végezni a melegítést. Ezt a hőkezelést addig folytatják, amíg megfelelően stabil terméket nem kapnak.

III.

Az előzőekben leírt gyártási eljárások alapján azt szűrhetjük le, hogy a gyártási nehézségeknek két főfajtája van. Az egyiket a minőségi követelményektől való eltérések okozzák, a másik a gazdaságosság kérdésével függ össze.

A minőségi követelményekkel szemben a magas zörejnívó, magas feszültségfüggés, magas hőkoeficiens és alacsony terhelhetőség mutatkozik.

A gazdaságosság követelményeivel szemben áll az aránylag egyenetlen előállítási lehetőség. A kész ellenállás ohmértékét erősen befolyásolják az anyagelőkészítésnél és feldolgozásnál felmerülő és teljesen ki nem küszöbölhető egyenlenségek, a kész ellenállás ohmértéke pedig nem korrigálható olyan mértékben és olyan egyszerűen, mint amilyen módon a rétegellenállásokat a köszörlőrésszel lehet korrigálni.

A minőségi követelményekkel szemben mutatkozó nehézségek abból erednek, hogy a vezető szemcsék nem érintkeznek egymással, hanem kisebb-nagyobb szigetelő közfal van közöttük és ezért kis kondenzátorokként viselkednek az áram útjában. Ennek kiküszöbölésére vagy legalább is csökkentésére az anyagelőkészítés és gyártás folyamán kell törekedni. Az előkészítés során pl. a vezetőként felhasználásra kerülő szénféleséget megtisztítják a felületére tapadó idegen anyagoktól. Vákuumban való izzítással (kalcinálás) még az esetleg felületére tapadó gázokat is eltávolítják. A feldolgozás folyamán különös gondot fordítanak arra, hogy szigetelő kötőanyaggal való elkeveredése minél egyenletesebb és alaposabb legyen. Különleges oldó, őröl és keverő berendezéseket használnak fel ennek a célnak elérésére. A feldolgozás módján kívül függenek ezek a tulajdonságok a felhasznált nyersanyagok alaptulajdonságaitól is. A felhasznált szén-

féleség szemcsenagysága és fajlagos vezetőképessége fontos szerepet játszik a zőrej és a feszültségfüggés kialakításában. vagy kiküszöböléiben. Finom szemcés szén használatánál nagyobb valószínűséggel várhatjuk, hogy a vezető-szigetelő előzár egyenletezesebb lesz, és az egyes vezető szemcsék közé előforduló szigetelő rétegek vastagságai kisebb értékek közé esnek, mint nagyobb szemcsék esetén. Nagyobb fajlagos vezetőképességű vezető használatánál hasonló jelenéget várhatunk. Ugyanazon ohmérték elérééhez magasabb fajlagos vezetőképességű szénféle égből többet kell ugyanazon szigetelő kötőanyag mennyiséghez bemérni. Azonos szemcsenagyság esetén ez azt jelenti, hogy az egyes szemcsék közé vékonyabb szigetelőrétegek jutnak, ami szintén javítja a zőrej és feszültség tulajdonságait.

A szigetelő kötőanyag kiválasztásánál figyelembe kell venni ennek hőtágulási tulajdonságait, különös tekintettel a felhasznált vezetőanyagok hőtágulására. Ez különösen az elektromos tulajdonságok terhelés alatti megváltozását befolyásolja.

A szigetelő kötőanyag folyékony állapotba vivésénél arra kell ügyelni, hogy a művelet teljesen egyenletes legyen eredményezzen. A kész oldat viszkozitása ne legyen magas, mert ebben az esetben a vezetőrések belekeveredése nem történhet kellő finomságú elcsatolásban. A túlzott hígítás viszont akkor lehet káros, mikor a töltőanyagokkal való összekeverés után az oldószer elpárologtatására kerül sor. Itt az alkalmazott hőkezelés túlzott mértéke ártalmas lehet a későbbi feldolgozás szempontjából, amennyiben ronthatja a műanyagok préselési folyamatán mutatandó plaszticitását. Ugyanezen ok miatt már az oldás folyamán is kerülni kell az elegy felesleges felmelegedését.

A feldolgozás során a hátrányos zőrejtulajdonságok kiküszöbölése elsősorban a keverés intenzívebbé tételével történik. Azonkívül, hogy a szilárd anyagokat a lehető legfinomabbra őrölve használják fel, ezek összekeverésének alaposágáról is gondoskodni kell. Az üzemi gyakorlatban ilyen keverésekre legmegfelelőbbnek a golyós malmok mutatkoznak. Megfelelő mennyiségű és méretű őrölt golyó és alkalmasan választott forgási sebesség mellett nagyon jó keverést lehet elérni. A jó keverés szempontjából előnyös, ha azokat az alkatrészeket, amelyeket folyékony állapotba lehet vinni (oldani), azokat folyékony állapotba viszik. Ez az üzemi gyakorlatban főként a szigetelő kötőanyagra vonatkozik, amely, ha műgyanta alapú, legtöbbször jól oldható.

Némely esetben a szénféleség is folyékonnyá tett állapotban kerül felhasználásra. A finomra őrölt grafitot egyes vállalatok kolloid szuszpenzió formájában hozzák forgalomba. Ez a szuszpenzió valamilyen védőkolloiddal stabilizálva van. Felhasználása a finom eloszlás miatt előnyös.

Ha folyékony és szilárd alkatrészek alapos összekeveredését kell elérni, kitűnő eredménnyel használhatók az ultrahang üzemi keverő berendezések. Ilvenek használata esetén az optimális frekvenciát és keverési időt külön ki kell kísérletezni.

A folyékony kötőanyagba a vezetőrészekon kívül semleges, igen finomra őrölt töltőanyagokat szoktak keverni. Ezek a töltőanyagok nagyon sokféle lehetnek, pl. kvarcisz, homok, aszbesztisz, fűrészpór, kaolin, magnézia, földpát, szilpát stb. A töltőanyagok bekeverése után az egész elegyet további feldolgozás előtt legtöbbször ki kell szárítani. Az illékony alkatrészek elpárologtatása emellett hőmérséklettel, esetleg csökkentett nyomással gyorsítható. A hőmérséklet emelésének alkalmazásánál, mint már fentebb említettük, óvatossággal kell lenni, mert műgyanta alapú kötőanyag használatánál a műgyanta veszíthet plaszticitásából. Ezért előnyös csökkentett nyomással dolgozni, esetleg a kettőt együtt alkalmazni, ilymódon egy viszonylag alacsonyabb hőmérséklettel és csökkentett nyomással elérhető ugyanaz a cél. Az anyagkeverék kiáztatás után kisebb-nagyobb szilárd csomókba áll össze. Ezeket az anyagcsomókat porrá kell őrölni. Az őrölt por szilárd formába tömörítéssel préseléssel, műgyanta alapú kötőanyag használatánál az anyag természeténél fogva megkívánt technológiával, melegen préseléssel vagy fröcsöntéssel történik.

A melegen préselés technikája nagy tapasztalatot, anyagismeretet és különleges gondosságot kíván. A préselési hőmérséklet és nyomás nagy mértékben befolyásolja az ellenállás tulajdonságait. Ez érthető is, ha meggondoljuk, hogy a préselési folyamán az ellenállásanyag először többé-kevésbé folyós masszává alakul, amely csak később válik szilárd

tömeggé. Ez a folyamat az általában használatos üzemi körülmények között legfeljebb néhány percet vesz igénybe. A megolvás ideje alatt azonban az egyébként nagy gondú előkézitett és összekevert anyagban bizonyos átrendeződés mehet végre, amelynek eredményeképpen a teljesen egyenletes anyagelosztástól eltérések jöhetnek létre. A jobban folyós folyékonnyá vált részek, továbbá a szilárd részek közül a súlyosabbak a nehézségi erő hatása folytán az ellenállástestet előbb részben megürsödnek, míg a többi alkotó elem a felsőbb részekben marad. A hőhatásnak intenzívebben kitett, a szerszámmal közvetlenül érintkező részek előbb szilárdulnak meg, ami esetleg később az ellenállástesten belül kialakuló belső feszültségek létrejöttét okozhatja. Mindezen folyamatokat befolyásolja természetesen még az a körülmény is, hogy a teljes préselési nyomás elérése milyen felmelegedési stádiumban találja az anyagot. Minthogy minden anyagkeverékre más és más körülmények a legelőnyösebbek, esetenként külön kell kikérletezni azokat. Az általános ismertetés csak arra szorítkozhat, hogy felsorolja azokat a tényezőket, amelyek hatását figyelembe kell venni a külső körülmények megválasztásánál. Ezek a külső körülmények a prés milyenségétől, működésétől függenek, továbbá nem kis mértékben a préserszám építéstől és a fűtőtest méretezésétől, valamint a préserszámon való elhelyezésétől.

A prés fontos tulajdonsága első sorban a vele elérhető nyomás nagysága, de legalább ilyen fontos az is, hogy a teljes nyomás elérése milyen sebességgel történhet, hiszen mint említettük, nem mindegy, hogy a felmelegedő anyagot milyen felmelegedési állapotban éri a nyomás. Törekedni kell arra, hogy a préselvény megszilárdulása gyorsan és egyenletesen menjen végbe, nehogy átrendeződésekre kerülhessen sor. Ezért a fűtőtest elhelyezése olyan legyen, hogy a préserszám átmelegedésénél különböző hőmérsékletű zónák ne alakulhassanak ki, a hőkezelés teljesen egyenletes legyen. A préserszámon célszerű kis túlfutó nyílást hagyni, ami az esetleges anyagfelesleg eltávolítását teszi lehetővé, bár ennek jelentősége pontos anyagbeméréssel csökkenthető.

A pontos anyagbemérésen kívül az adagolást célszerűen tablettázással lehet összekötni. A tablettázás előnyei az egyenletes és gyors adagolás lehetőségén kívül különösen a többrészes szerszámoknál, valamint a kivetések megoldásánál jutnak előtérbe. A tablettázásra automatikus gépi berendezések vannak forgalomban, amelyekbe egyben bele lehet tölteni a poralakú anyagot, és a gép adagolja, valamint a megkívánt formára préseli hidegen olyan nyomással, amely elegendő mechanikai szilárdságot ad neki, hogy egy csarabban tovább kezelhető legyen, de nem tömöríti annyira, hogy az a megömlési folyamatát károsan befolyásolja.

Többrészes szerszámnál a tablettázatlanul a szerszámba beöntött anyag a rendelkezésre álló idő és a folyási körülmények mellett nem oszlik meg egyenletesen a formadarabok helyeire. A szélekre, vagy a beöntés helyétől távolabb pontokra kevesebb anyag jut, ami szélsőséges esetekben odáig fajulhat, hogy az egyes formadarabok szemmel látható szerkezetigadózásokat mutatnak, ami nemcsak mechanikai tulajdonságaikat befolyásolja károsan, hanem elektromos sajátágaikat is, nem utolsósorban terhelhetőségüket és ohmértéküket.

A tablettázást követi az anyagkeverék megszilárdítását célzó művelet, a melegen való préselés. A préselés művelete nemcsak minőségileg igen fontos tényező, hanem gazdaságilag is. A tömör ellenállásokat jó terhelhetőségük mellett nem utolsó sorban olcsó kivitelezésük miatt szeretik gyártani. Azonban természetüknél fogva a kész ellenállások ohmértéke már nem korrigálható. Ezért az anyagelőkészítés és a feldolgozás során arra kell törekedni, hogy a legvártott ellenállások ohmértéke olyan mértékben közelítse meg a kívánt ohmértéket, hogy azon már utólagos korrekcióra ne legyen szükség.

A gyakorlatban ezt a követelményt teljesen elérni nem lehet. Különböző gyártási módszerekkel többé vagy kevésbé közelíthető meg. A gyártási módszerben és a gyártmányok természetében rejlő ezen tulajdonságot az iparban «szórás»-nak nevezik. Az ohmérték szabályozása nagyjából a felhasznált vezető és a hozzákevert szigetelő-kötőanyag, illetve semleges tömőanyagok különböző arányú összeállításával történik. Befolyásolja az ohmértéket a felhasznált szilárd anyagok, különösen a vezető szemcsenagysága is.

A gyártásnál természetesen arra töreksznek, hogy az ohmértéket befolyásoló összes tényezőt számba véve, azok pontos reprodukálásával ugyanazon ohmértéket sikerüljön

előállítani, tehát a gyártott ellenállások ohmértéke az egymásután következő gyártási sorozatokban azonos legyen. A szórás fogalmához éppen az a tapasztalati megismerés vezetett, hogy a leggyakoribb gyártási és előkészítési munka folyamán sem sikerül, még egyetlen gyártási sorozaton belül sem azonos ohmértékű ellenállásokat előállítani. Némely gyártási sorozatokban szűkebb, másikkban tágabb ohmérték-határok között «szórnak» az ellenállások ohmértékei.

A feltevések és a tapasztalat szerint a préselési körülmények nagy mértékben befolyásolják az ohmértéket. Ez a megállapítás jól igazolható ott, ahol többrészes szerszámot használnak. Ilyen szerszám használatával elvégezhető a következő mérősorozat: több egymásután következő préselést végzünk azonos körülmények között előkészített, pontosan bemért és azonos nyomáson tablettázott anyaggal, és a kész ellenállások ohmértékét megmérjük, mindegyikről figyelembe véve a szerszámban elfoglalt helyét. Azt fogjuk tapasztalni, hogy megállapíthatók a többrészes szerszámban olyan helyek, amelyeken az esetek többségében az átlagosnál magaabb és olyan helyek, amelyen az átlagosnál alacsonyabb ohmértékű ellenállások préselődnek. Ez az eredmény két dolog fontosságát bizonyítja. Az egyik, hogy a prés kiválasztása, a szerszámkészítés nagyon gondosan kell, hogy történjen, a másik, hogy fűtőtest tervezése és beépítése mennyire fontos a hőmérsékletingadozás kiküszöbölése miatt.

A préselést igen sok esetben még egy öregbítési folyamat követi, amelynek a préselmenyeket további feldolgozás előtt vetik alá. A gyártási tapasztalatok ugyanis azt mutatják, hogy a présből kikerült ellenállások az idő folyamán változtatják ellenállásukat, mégpedig eleinte nagyobb mértékben, később egyre csökkenően, ami arra a megfontolásra vezetett, hogy ezt a változást meggyorsítva a gyártás során előidézzék. Legáltalánosabb öregbítés a melegítés, melynek során végbe megy az utólagos molekuláris átrendeződések legnagyobb része, amelyek különben az idő folyamán mennének végbe; kiegyenlítődnek a préselés következtében esetleg előállott belső feszültségek.

Még egy másik előnyös hatása is van az utólagos hőkezelésnek. A tapasztalat szerint a terhelésnél is előáll ellenállásváltozás, ezt azonban még egy másik jelenség is kíséri igen sokszor, és pedig a kontaktusok kis mérvű kilazulása, amelyet az ellenállástest térfogatának zsugorodása idéz elő. Ez a zsugorodás hőkezelésnél is bekövetkezik.

Növelni lehet a hőkezelés hatását azáltal, ha ciklikusan, lehűtési periódusok közbeiktatásával alkalmazzák. A hőkezelés hőmérséklete függ az alkalmazott anyagok természetétől. Általában a hatékonyság aló határa 15–30° C-al a préselési hőmérséklet felett van, az egyáltalán alkalmazható hőfok felső határát a műanyagféleség, illetve bizonyos esetekben (pl. fűrészpor töltőanyag esetében) a töltőanyag bomlása, elszenneseződési hajlama határozza meg.

A hőkezelési időtartama általában pár órától egy-két napig terjed.

IV.

A tömör ellenállások kontaktussal való ellátása a tömeggyártásban nehezen megoldható probléma. Eleinte ennél a gyártásnál a kivezető megoldásokat a kerámiatartóra vitt vezetőréteges ellenállásoknál alkalmazottakról vették át. Így került sor a húzott és esztergált kupakok alkalmazására, előre, vagy utólag ráforrasztott, ráperemezett vagy más módon ráerőltetett kivezetésekkel. Használtak spirálalakban körbe hajlított ónozott rézdrótot, amelyet az ellenállástest végeire préseltek, majd a drótok közeit forrasztó páka, vagy olva zott forrasztófémbe való mártás segítségével kitöltötték a forrasztófémrel és ezáltal megszilárdították. Az ilyen típusú kivezetések alá a jó érintkezés biztosítása végett az ellenállástest végeire jól vezető réteget kell felvinni, ami nagyon sokféleképpen történhet és a különböző gyártók a legkülönbözőbb eljárásokat használtak fel. Ilyen eljárások pl. ezüst hidegen redukció útján vegyületekből, pl. a szokásos ammóniás ezüstolcattól szőlőcukorral kiredukálva. Másik mód finom eloszlású grafitot jól kötő lakkféleségben szuszpendálni, ezt mártással vagy szórással az ellenállástest végeire vinni, majd a lakkféleség természetének megfelelő hőmérsékleten hőkezeléssel megszilárdítani. Grafitpor helyett finomszemcésű fémporokkal is lehet ugyanilyen módon ellenállástestvégeket kontaktrézzel ellátni és elég finom eloszlás esetén a grafitnál jobb eredmények érhetők el.

Vittek fel kontaktréteget a tömör ellenállások végeire soppolás útján is. A jól vezető rétegek tapadásának elősegíté-

sére az ellenállástest felületét a végeken fel szokás lazítani, homokfüratással vagy más hasonló módon. Minthogy azonban az ellenállásanyag hőtágulási együtthatója és a fémes kontaktrésszelé különbözők, azért ezek a próbálkozások nem voltak kielégítőek.

Volt olyan megoldás, melynél az ellenállástestet csak egy jólvezető réteggel vonták be, vagy a végeket jobban vezető anyagból készítették, és egy rugózó érintkezőbe nyomták a darabot. Ilyenkor az ellenállástest és a fém hozzávezető között az érintkezési nyomás ingadozása zavarokat idézett elő, amely az ellenállások felhasználhatóságát korlátozta. Azonfelül olyan tömör ellenállás előállítása, mely a két végén jobban vezető anyagból áll, meglehetősen körülményes és ezért költségesebb is.

Alapvetően másfajta megoldástípus az, amelynél a kivezetőket nem utólag vitték rá az ellenállásra, hanem egyidejűleg belepréselték vagy belefröccsölték, úgy hogy a fém kontaktust körülvevő ellenállásanyag a kivezetőket mechanikailag elmozdíthatatlanul körülvette és a nyomás által a jó áramvezetést biztosította. Ilyen esetekben az érintkezők pl. rövid fém pálcikák, amelyek a botformájú ellenállások homlokfelületein előre állnak. A rövid fém pálcikák helyett drótokat vagy szalagforma kivezetőket is lehet az ellenállástestek oldalába beágyazni. Az ilyen kivezetéseket különösen kényelmes a kapcsolásoknál felhasználni, mert egyszerűen beforraszthatók. Az ilyen kivezetések előállításánál is lépnek fel nehézségek. A kivezetések egymástól való távolágát pontosan be kell tartani, mert az amúgy is komoly szórást a különböző távolságban elhelyezett kivezetők még csak fokozzák. Ha a drót- vagy szalagkivezetéseket egy prés- vagy fröccsölő szerszámba helyezik, ezeket a nem nagyon merev belső résszel bíró elektródákat az ellenállásanyag könnyen elmozdítja helyükről és az ellenállástest értékeiben felül még rossz felfekvések is jönnek létre a préselési helyeken, mivel bizonyos körülmények között úgy deformálódhatnak, hogy az ellenállástest felületénél ágyazódnak be. Ennek elkerülése előre tablettázták az ellenállásanyagot és olcárról beleszurkálták a kivezetéseket, majd végső préselésnél tölték a tengely irányába azokat.

Körülményesebb megoldás az ellenállástest végeibe csavarmentet vájni és beleillő fémcsavarokkal érintkeztetni.

Ezek a kivezetésmegoldások a szigetetlen típusoknál alkalmazhatók. Készítenek azonban tömör ellenállásokat szigetelt kivitelben is. Ezeknél vezetővé tett cementféleggel árágozták a spirálalakban hajlított drótot az ellenállástest végére, vagy az ellenállástest végeit bevonják a jól vezető réteggel és rézkupakokat préselnek rá, mindezt megelőző a szigetelő burkot rávinnék.

V.

A tömör ellenállások természeténél fogva a burkolat védő szerepe nem elsőrendű fontosságú. Az ellenállástest mechanikai szilárdsága kielégítő és azáltal, hogy az elektromos vezetésben a teljes keresztmetszet szerepel, a levegő nedvességének esetleges befolyása a külső rétegekre az egész ellenállás működésében csak elenyésző jelentőséggel mutatkozik.

Szigetelési célokra burkolatokat a legkülönbözőbb típusokban készítenek, az egyszerű lakkburkolattól a legmasszívabb cementburkolatig.

Egy fajtánál pl. elkészítik az ellenállástestet, ellátják kivezetőkkel, majd behúzzák keramikusszöbe és a szöbe végeit kitöltik cementtel úgy, hogy a kivezetők kiálljanak a cementdugókból. Ennél a típusnál a kivezetőket úgy készítik, hogy kis spirális alakúak drótból, majd ezt a spirális vezető cementtel erősítik az ellenállástest végéhez.

Egy másik gyártó az ellenállástest végeit jól vezető réteggel vonja be, kis rézkupakokat nyom rájuk és aztán húzza őket a keramikusszigetelő szöbe. Kívülről a két típus csaknem egyforma.

Másik alaptípusa a szigetelő buroknak a melegen rápréselhető műanyagból pl. bakelitből készült burkolat. Ilyen burkolathoz először elkészítik az ellenállástestet, rápréselik a bakelitburkolatot és ugyanazzal a préselési művelettel a kivezetőket is beleágyazzák. Az egész ellenállás egységes, kemény, szilárd darab lesz, nem kerül levegő az ellenállástest és a burkolat közé. Töréskor a törsi felület teljesen egyenesen halad át a vezető közepén és a szigetelő burkon, mintha azonos anyag volna a kettő, különbséget szemre legfeljebb a szín okoz. A kivezető vége kis büttyökké van kiképezve, ez van az ellenállástest végébe illesztve, úgy hogy a préselési

művelet után a kivezető felduzzasztott vége benne van az ellenállástestben, onnan kihúzni nem lehet, csak az ellenállás széttröse után. Hasonlóan készül egy másik fajta ellenállás, csak kivezető drótja nem büttykös, hanem egyszerűen meghajlított.

Egy elektron-optikai problémáról

SEBESTYÉN LÁSZLÓ

(Távközlési Kutató Intézet)

Összefoglalás: Nagyáramú jól fókuszált elektronnyalábot előállító ún. »Pierce-katód« méretezésénél a legkedvezőbb viselkedésű nyaláb fogalmának bevezetésével újabb méretezési feltételek adódnak. A méretezés alapjául szolgáló egyenleteket diagrammokban tüntetjük fel és számpéldát dolgozunk ki; ismertetjük a kivitelezett katódon mért értékeket, amelyek a számításokkal kielégítően egyeznek.

Bevezetés

A probléma felvetése. Teljesítmény-erősítő és nagyenergiájú oszcillátor-klisztronoknál, haladóhullámú csövek-nél a katódsugár csövekhez képest nagy áramsűrűségű nyalábot kell viszonylag nagy távolságra (10–60 cm) eljuttatni. A haladóhullámú csőnél és néhány nagyteljesítményű klisztronnál a katódból kilépő elektronokat tengelyirányú mágnes tér igyekszik állandó átmérőn tartani. A haladóhullámú csőnél szükséges lehet magát a katódot és fókuszáló rendszert a mágnes téren kívül elhelyezni, egyrészt az ebből adódó gerjesztőtekercs megtakarítás, másrészt a mágneses fókuszálás úgynevezett Brillouin feltételének alkalmazhatósága érdekében (1). A nyaláb legyen axiálisan szimmetrikus, a fókuszálás történjen tisztán elektrosztatikus eszközökkel, a fókuszáló elektródák ne vegyenek fel áramot és hatásuk olyan legyen, hogy a katódból kilépő nagy áramsűrűségű nyaláb szélső elektronjai radiális sebességkomponens nélkül induljanak a nyalábot együtt tartó tengelyirányú mágnes térbe.

Akatódsugárscsőveknél szokásos elektronágyúk kevésbé alkalmasak arra, hogy kis feszültség mellett nagy áramú és áramsűrűségű jól fókuszált nyalábot állítsanak elő, mert a tértöltésnek — a katódsugárscsőveknél rendszerint elhanyagolható — hatása következtében a nyaláb erősen szóródik és a katódáram jelentős része elvész a fókuszáló elektródákon. Ezért nagyáramú nyaláb esetén, amikor is fontos, hogy a teljes katódáram eljusson a kollektor-elektrodáig, a katódsugárscsővektől eltérő katód és fókuszáló rendszer tervezése vált szükségessé.

A tervezés számítási része jelentős nehézségekkel jár. Az elektronpályáknak a tértöltés és kezdeti sebességek figyelembevételével történő meghatározása, görbevonalú elektronpályák számítása — tudomásunk szerint — mind-egyik meg nem oldott feladat. Ez azt jelenti, hogy nagy áramú, jól fókuszált nyalábot jó katódhatásokkal előállító katód tervezésénél lényegileg kísérletekre vagyunk utalva. (Katódhatások alatt a hasznosított, tehát a kollektor elektródáig, illetve a katódsugárscső ernyőjéig eljutó áramnak és a teljes katódáramnak viszonyát értjük.)

A számítási nehézség megoldható akkor, hogyha a katód és gyorsító rendszert olyan geometriai rendszerekből képezzük ki, amelyekre a tértöltés által korlátozott áram törvényei jól ismertek. Ilyenek párhuzamos síkok, koncentrikus hengerek és koncentrikus gömbök.

Pierce szerint (2) koncentrikus gömbök szegmenseiből alkotott katódnál a katód és gyorsító elektróda megfelelő alakú kiképzésével el lehet érni azt, hogy a nyaláb szélein úgy változzon a potenciál, mint változna akkor, ha a teljes gömbfelületek közt folyna áram, vagyis a gömbszegmensek között folyó áramrésztől a széleknél hiányzó tértöltési áram hatását terelőlemezekkel pótoljuk. Az ilyen elven működő katódok »Pierce-katód« néven ismeretesek.

A probléma amely nagy áramsűrűségű nyalábot előállító katódok tervezésénél felmerül, nem korlátozható

A tömör ellenállások gyártása a rádiózás első évtizedeinek fontos problémája volt. Gazdaságilag előnyös volta ezt a gyártási ágat nagyon kíváncsossá tette, s ezért a szakemberek nagy tömegének figyelme fordult a téma felé, amit a szabadalmak sokrétűsége is mutat.

magára a katód és fókuszáló rendszer tervezésére, hanem két egymással szorosan összefüggő részből áll:

a) Mekkora az adott hosszúságú és átmérőjű csövön mágneses fókuszálás nélkül átvihető legnagyobb áram?

b) Milyen legyen a maximális áram átviteléhez szükséges jóhatásfokú katód és fókuszáló rendszer?

Igazolni fogjuk, hogy adott hengeren akkor vihető át legnagyobb áram, illetve adott áram a legnagyobb távolságra, ha a beesési szög meghatározott nagyságú. Az a) és b) probléma tehát szorosan összefügg: a »Pierce-katódot« úgy kell méretezni, hogy az optimális beesési szög feltételét kielégítse. A továbbiakban Pierce és Spangenberg (3) nyomán haladva az elméletet az »optimális viselkedésű« nyaláb fogalmának bevezetésével egy lépéssel továbbfejlesztjük, és leírjuk egy optimális méretezésű katód tervezését.

I.

Adott hengeren átvihető legnagyobb áram

1. Elektronpályák egyenlete körszimmetrikus hengeres elektromos erőterben, a kezdeti sebességek és a tértöltés hatásának elhanyagolásával, a tengellyel kis szöget alkotó elektronokra.

Hengerszimmetrikus erőterre a Laplace-egyenlet

$$\frac{\partial^2 V}{\partial z^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial V}{\partial r} \right) = 0 \quad (1)$$

ahol r a tengelytől mért távolságot, z pedig a tengelymenti koordinátát jelenti. Ebből kis r értékek esetén és a tértöltés elhanyagolásával az elektronoptika egyik legfontosabb alapegyenlete nyerhető (4), (5), (6):

$$r'' + \frac{r' V_0'}{2 V_0} + \frac{r V_0''}{4 V_0} = 0 \quad (2)$$

ahol a vessző a z szerinti első és második deriváltat jelent V_0 pedig a potenciál értékét a tengely mentén.

2. Tengelyközeli elektronpályák meghatározására szolgáló egyenlet kiegészítése a tértöltés hatásának figyelembevételével.

Tételezzünk fel olyan áramsűrűséget, amelynél a tértöltésnek a tengelymenti potenciál-eloszlásra és ezzel az elektronok tengelymenti sebességére elhanyagolhatóan kis befolyása van. Ilyen, viszonylag kis áramsűrűségeknél is a tértöltés jelentős radiális sebességkomponenst ad a nyaláb elektronjainak. Feltesszük továbbá, hogy az egyes elektronpályák nem keresztezik egymást, azaz elhanyagoljuk a kezdősebességeket. A tértöltésmentes esetre vonatkozó Laplace-egyenlet helyébe a Poisson-egyenlet lép:

$$\frac{\partial^2 V}{\partial z^2} + \frac{\rho}{\epsilon_0} = - \left(\frac{\partial^2 V}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial V}{\partial r} \right) \quad (3)$$

Itt ρ a térbeli töltéssűrűség ϵ_0 pedig a vákuum dielektromos állandója. Az (1)-est a (3)-as egyenlettel összehasonlítva látható, hogy tértöltéses esetben V_0'' helyébe $V_0'' - \frac{\rho}{\epsilon_0}$ lép.

Ezt a (2)-es egyenletben felhasználva

$$r'' + \frac{r' V_0'}{2 V_0} + \frac{r V_0''}{4 V_0} - \frac{r \rho}{4 V_0 \epsilon_0} = 0 \quad (4)$$

3. Az elektronpályák kiszámítása a tengelyközeli, tértöltési tagot is tartalmazó elektronpálya-egyenletből konstans potenciál esetén. (7)

Konstans potenciál esetén, minthogy ilyenkor V_0 és V'_0 zérus, a (4)-es egyenlet

$$r'' = \frac{r \varrho}{4 V_0 \varepsilon_0} \quad (5)$$

alakra egyszerűsödik. Az elektronnyalábot fókuszáló rendszer olyan legyen, hogy a katódból kilépő elektronokat a katódnál kisebb keresztmetszetre szorítja össze; a nyaláb elér egy legkisebb keresztmetszetet, amely után ismét tágulni kezd.

Jelöljük a nyaláb legkisebb keresztmetszetét $2r_0$ -al. Az áramsűrűség a legkisebb keresztmetszet helyén

$$\varrho_0 = \frac{I}{r_0^2 \pi z} = \frac{I}{r_0^2 \pi \sqrt{2 \frac{e}{m} V_0}} \quad (6)$$

Az áramsűrűség a legkisebb keresztmetszettől valamilyen z távolságra

$$\varrho = \frac{I}{r^2 \pi \sqrt{2 \frac{e}{m} V_0}} \quad (7)$$

A (6) és (7) egyenleteket (5)-be helyettesítve

$$r'' = \frac{\varrho_0 r_0^2 e}{2 m v^2 r \varepsilon_0} \quad (8)$$

Vezessük be új változóként

$$R = \frac{r}{r_0} \quad (9)$$

és

$$R' = \frac{dR}{dz}, \quad R'' = \frac{d^2 R}{dz^2}$$

Ezzel a (8) egyenlet a következő alakba megy át:

$$R'' = \frac{\varrho_0 e}{2 m v^2 \varepsilon_0 R} \quad (10)$$

illetve R' -vel történő szorzás és rendezés után

$$\frac{R'}{R} = \frac{m v^2 \varepsilon_0}{\varrho_0 e} 2 R' R'' = C_1 R' R'' \quad (11)$$

Integrálva

$$\ln R = C_1 (R')^2 \quad (12)$$

Az integrációs állandó = 0, mert koordináta rendszerünket a legkisebb keresztmetszet helyén vettük fel, itt a $z = 0$ helyen $R = 1$, $R' = 0$. A (12) egyenletből

$$dz = \sqrt{C_1} \frac{dR}{\sqrt{\ln R}} \quad (13)$$

amelyből

$$z = \sqrt{C_1} \int_1^R \frac{dR}{\sqrt{\ln R}} \quad (14)$$

A konstans értékét kiszámítva a (14) egyenlet a következő alakban írható:

$$\frac{z}{r_0} = 5,74 \cdot 10^{-3} \frac{V^{3/4}}{I^{1/2}} \int_1^R \frac{dR}{\sqrt{\ln R}} \quad (15)$$

Vezessük be új változóként $t = \sqrt{\ln R}$, ezzel

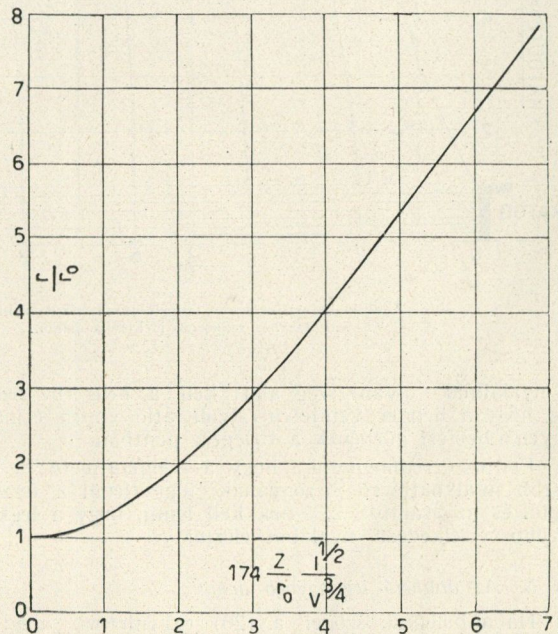
$$\int_1^R \frac{dR}{\sqrt{\ln R}} = 2 \int_0^{\sqrt{\ln R}} e^{t^2} dt \quad (16)$$

Az $\int_0^t e^{t^2} dt$ függvény táblázatosan megtalálható (8) alatt.

A (15), illetve (16) egyenlet alapján számított, eredetileg párhuzamos keresztmetszetű nyaláb feltágulását az 1. ábra mutatja.

4. »Legkedvezőbb viselkedésű« nyaláb.

A (15) egyenlet, illetve az 1. ábra alapján meghatározható, hogy eredetileg párhuzamos nyaláb hogyan tágul fel a tértöltés hatása alatt; ezzel előkészítettük adott hengeren átvihető maximális áram kiszámítását.



1. ábra. Párhuzamos nyaláb tágulása a tértöltés hatásának következtében.

Nyilvánvaló, hogy a hengeren átvihető áramerősség akkor lesz a legnagyobb, ha a beeső nyaláb konvergens, a henger közepén éri el legkisebb keresztmetszetét és a henger végére tágul fel ismét eredeti átmérőjére. A kérdés fogalmazható úgy is, hogy adott feszültség mellett milyen legyen a nyaláb beesési szöge ahhoz, hogy a nyaláb legmesszebb jusson el, anélkül, hogy a henger falára ráfutna. A beesési szög a (15) egyenletből az állandó numerikus értékét beírva

$$\operatorname{tg} \gamma = 174 \frac{I^{1/2}}{V^{3/4}} (\ln R)^{1/2} \quad (17)$$

Nevezzük azt a beesési szöget, amely mellett a nyaláb a legnagyobb távolságra eljut γ_0 -nak és a henger átmérőjét $2r_0$ -nak. z akkor lesz a legnagyobb, ha

$$\frac{r_a/r_0}{\sqrt{\ln \frac{r_a}{r_0}}} = \frac{r_a/r_0}{\int_0^{\sqrt{\ln R}} \frac{dR}{\sqrt{\ln R}}} \quad (18)$$

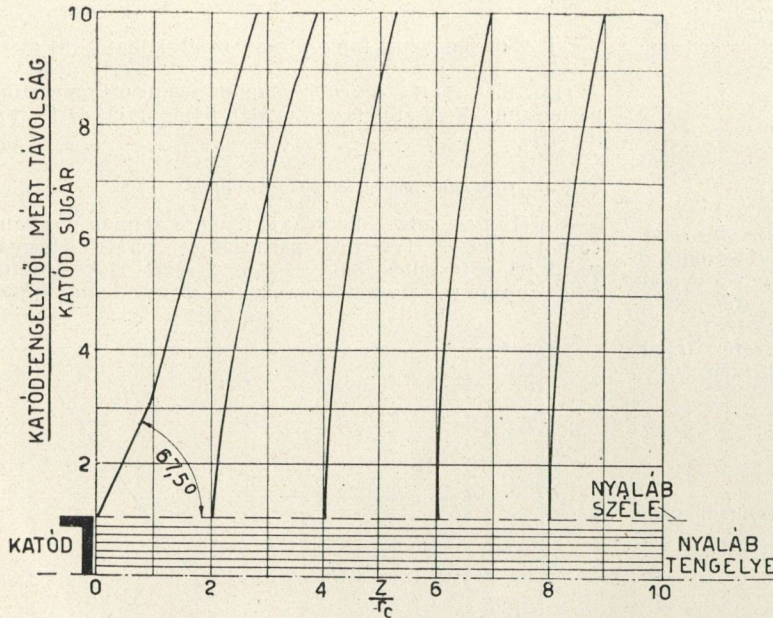
A (18) egyenlet grafikus megoldásának eredménye:

$$\left(\frac{r_a}{r_0} \right)_{\text{opt}} = 2,35 \quad (19)$$

amelyből

$$\operatorname{tg} \gamma_0 = 161 \frac{I^{1/2}}{V^{3/4}} \quad (20)$$

Ezzel — eltérő megfontolás alapján — ugyanarra az eredményre jutottunk, mint (3). Az optimális beesési szöget úgy kapjuk meg, hogy az 1. ábrán feltüntetett nyaláb-tágulási görbéhez az origón átmenő érintőt szerkesztünk



2. ábra. Állandó keresztmetszetű tengelyszimmetrikus elektronnyaláb előállításához szükséges elektróda alakok.

A nyalábnak olyan szög alatt kell a hengerbe belépnie, hogy a henger vetületén rajzolt átló éppen érintője legyen a beesési görbének a belépési pontban.

Fontos eredményünk, hogy a hengerátmérő és legkisebb nyalábátmérő viszonyának, függetlenül a feszültségtől és az áramtól, 2,35-nek kell lenni, hogy a legkedvezőbb viselkedésű nyalábot elérjük.

5. Az átvihető legnagyobb áram.

Ha a belépési szöget a (20) egyenletnek megfelelően vesszük fel, akkor a (15) egyenletből

$$I_{\max} = V^{3/2} \left[5,74 \cdot 10^{-3} \frac{r_0}{z} \left(\int_1^R \frac{dR}{\sqrt{\ln R}} \right) \frac{r_a}{r_{\text{opt}}} \right]^2 = 38 \cdot 10^{-6} V^{3/2} \left(\frac{D}{L} \right)^2 \quad (21)$$

Itt D a henger átmérője, L a hosszúsága, az áramot és feszültséget amperben, illetve voltban kell helyettesíteni.

Megjegyezzük, hogy ha a nyaláb szétterjedését úgy akarjuk megakadályozni, hogy tengelyirányú mágnes-térrel fókuszáljuk, akkor az átvihető áramnak az szab határt, hogy a nyalábon belüli potenciáeloszlás olyan lesz, hogy a közepén a potenciál egyre csökken a szélekhez képest. Ez a jelenség a csövet teljesen kitöltő nyaláb esetén

$$I_{\max} = 1,02 V_{\text{[kV]}}^{3/2} \quad (22)$$

értékűre korlátozza az átvihető áramot. (9)

II. Konvergens nyalábot előállító katód

6. Párhuzamos nyaláb előállítása.

Az elektronnyaláb legkedvezőbb beesési szögének meghatározása és az adott hengeren átvihető legnagyobb áramerősség kiszámítása után rátérhetünk a második kérdésre, vagyis nagy áramú meghatározott szög alatt konvergáló nyaláb előállításának egyik lehetséges módjára.

Első lépésként — Pierce (1) nyomán — nézzük meg párhuzamos nyalábok előállításának lehetőségét. Gondolmenetünk a következő: körkeresztmetszetű nyaláb szélén az elektródákat úgy kell kiképezni, hogy ugyanolyan potenciáeloszlás lépjen fel, mintha a nyaláb végtelen kiterjedésű lenne, a nyaláb szélén lévő elektródák pótolják a hiányzó tértöltési áram hatását. A katód és gyorsító

elektródának olyan teret kell előállítani, hogy

$$V(r, z) = k z^{4/3} \quad (23)$$

$$\frac{dV(r, z)}{dr} = 0 \quad (24)$$

ahol r a nyaláb sugara és z a nyaláb terjedési irányában a katódtól mért távolság, k pedig egy állandó. A probléma, hogy olyan hengersizmetrikus erőteret keressünk egy adott hengeren kívül, amely eleget tesz a Laplace-egyenletnek a (23) és (24) egyenletben foglalt megkötések mellett, elektrolit tank segítségével oldható meg. Megfelelő elektróda alakokat a 2. ábra mutat. A 0 potenciálú elektróda a z tengellyel $67,5^\circ$ -os szöget alkot. Ez megegyezik a nem körkeresztmetszetű, hanem 2 dimenziós feltételezett négyszögletes nyaláb vizsgálatánál nyerhető analitikus megoldással (ilyen esetben ugyanis a feladat számítás útján megoldható).

Ha a 2. ábra szerint kiképzett katód, terelőlemez és gyorsító elektródákból forgástestet készítünk, akkor hengeres párhuzamos nyaláb keletkezik. Ha a pozitív feszültségű gyorsító elektróda után nincs erőter, akkor a katódgyorsító által alkotott lencse következtében a nyaláb divergáló lesz.

7. Radiális elektronáramlás két gömbszegmens között.

Az előbbieket szerint legkedvezőbb viselkedésű nyaláb előállításához a nyalábnak konvergálva kell belépni a hengerbe. Konvergáló nyaláb előállításához felhasználható két olyan gömbszegmens, amelyek közül a nagyobbik sugara a katód. Két koncentrikus gömb között a tértöltési áram (10)

$$I_a = \frac{16}{9} \pi \epsilon_0 \sqrt{2 \frac{e}{m}} \frac{V^{3/2}}{(\alpha_-)^2} = 29,34 \cdot 10^{-6} \frac{V^{3/2}}{(\alpha_-)^2} \quad (25)$$

ahol V az elektródák közötti feszültség-különbség és

$$\alpha_- = f\left(\frac{r_c}{r_a}\right)$$

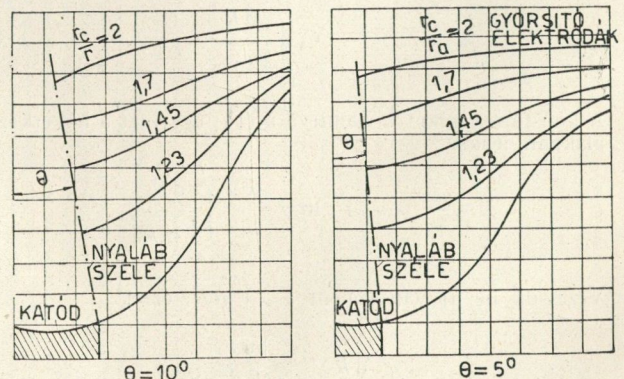
a katód és anód sugarak hányadosának függvénye; értékét Langmuir és Blodgett táblázatai közlik.

Ha a gömbökből Θ félkúpszögű nyílással szegmenseket vágunk ki, akkor

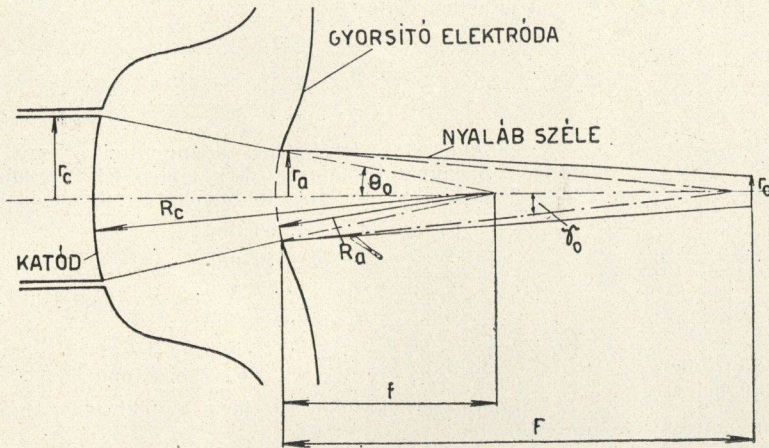
$$I = I_a \left(\frac{1 - \cos \Theta}{2} \right) = 14,67 \cdot 10^{-6} \frac{1 - \cos \Theta}{(\alpha_-)^2} V^{3/2} \quad (26)$$

Ezt V -re megoldva

$$V = \frac{I^{2/3}}{14,67 \cdot 10^{-4} (1 - \cos \Theta)^{2/3}} (\alpha_-)^{4/3} = k (\alpha_-)^{4/3} \quad (27)$$



3. ábra. A gyorsító elektróda alakja különböző Θ szögek és r_c/r_a viszonyok mellett. (11)



4. ábra. Konvergens nyalábot előállító katód- és gyorsító rendszer.

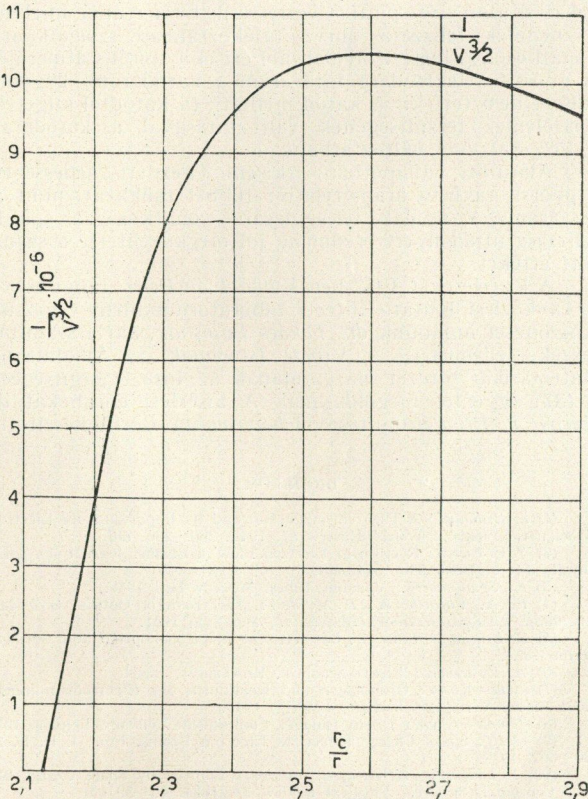
és a nyalábon belül

$$\frac{dV}{d\theta} = 0 \quad (28)$$

Megfelelő — elektrolit tank segítségével nyert — elektróda alakokat a 3. ábra mutat.

A katód melletti terelő elektróda az eddigieknek megfelelően $67,5^\circ$ szöget alkot a tengellyel.

Abban az esetben, ha a gyorsító elektródát követően nincs erőter, a katód-gyorsító rendszer mint szórólencse működik, a nyalábnak pedig az előző fejezetben elmondottak miatt meghatározott szög alatt konvergálnak kell lenni. A katód-gyorsító rendszert tehát úgy kell méretezni, hogy az ebből kilépő nyalábnak a tengellyel alkotott szöge megegyezzen a legkedvezőbb viselkedésű nyaláb eléréséhez szükséges szöggel. Mint ismeretes, egyszerű köraperturájú lencse fókusz távolsága, ha a gyorsító elektróda felőli oldalon nincsen potenciál-grádiens:

5. ábra. Összefüggés r_c/r és $1/V^{3/2}$ között.

$$f = \frac{4V}{V'} \quad (29)$$

ahol V a katód-gyorsító közti feszültség, V' pedig a katód-gyorsító közötti tér potenciál-grádiense. A (27) egyenletből

$$V' = \frac{2}{3} \frac{d(\alpha_-)^2}{d \frac{r_c}{r_a}} \cdot \frac{1}{(\alpha_-)^2} \frac{r_c}{r_a^2} V \quad (30)$$

A keskeny lencsékre érvényes összefüggések szerint

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{r_a} - \frac{1}{F} \quad (31)$$

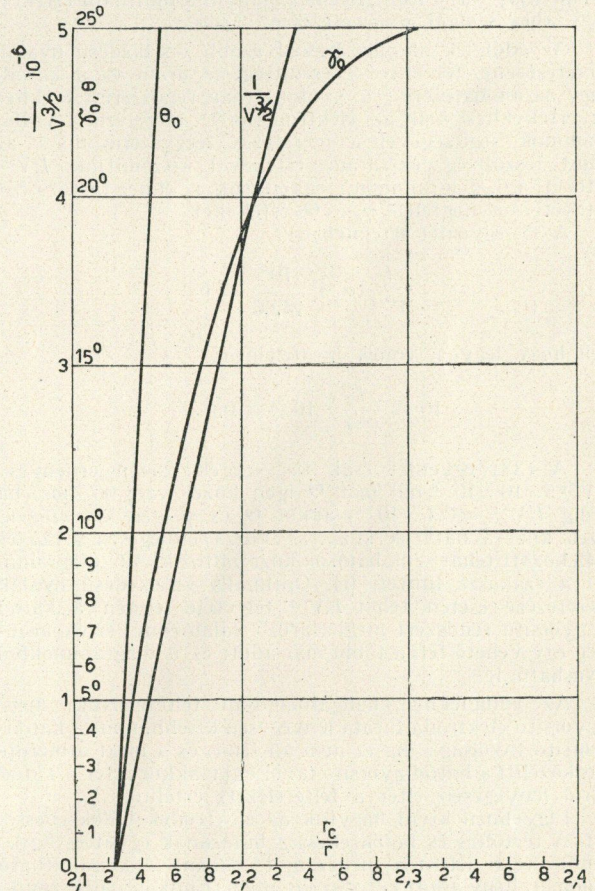
illetve

$$F = \frac{r_a f}{f - r_a} \quad (32)$$

A konvergens nyalábot előállító katód és gyorsító rendszert a 4. ábra mutatja, ezen leolvashatók a (31) és (32) egyenletekben használt jelölések.

A 4. ábra alapján kis szögekre

$$\frac{\sin \theta_0}{\sin \gamma_0} \approx \frac{\sin \theta_0}{\tan \gamma_0} = \frac{F}{r_a} = \frac{f}{f - r_a} \quad (33)$$

6. ábra. Méretezésre szolgáló diagramm. Összefüggés $1/V^{3/2}$, r_c/r , γ_0 és θ_0 közt.

innen

$$\sin \theta_0 = \tan \gamma_0 \frac{1}{1 - \frac{r_a}{f}} \quad (34)$$

Másrészt a (26) egyenletből

$$\cos \theta = 1 - \frac{I}{V^{3/2}} (\alpha_-)^2 \frac{10^6}{14,66} \quad (35)$$

A (34) egyenletbe $\tan \gamma_0$ és f értékét beírva

$$\sin \Theta_0 = \frac{161 \frac{I^{1/2}}{V^{3/4}}}{1 - \frac{1}{6(\alpha_-)^2} \frac{r_c}{r} \frac{d(\alpha_-)^2}{d \frac{r_c}{r}}} \quad (36)$$

Végül a (35) és (36) egyenletekből

$$\frac{I}{V^{3/2}} = \frac{29,33}{(\alpha_-)^2} 10^{-6} - \frac{(161 \cdot 14,66)^2}{\left[(\alpha_-)^2 - \frac{1}{6} \frac{r_c}{r} \frac{d(\alpha_-)^2}{d \frac{r_c}{r}} \right]^2} \quad (37)$$

A (37) egyenletbe különböző r_c/r értékeket, illetve az ehhez tartozó $(\alpha_-)^2$ értékeket és a deriváltat helyettesítve egy $I/V^{3/2} = f\left(\frac{r_c}{r}\right)$ összefüggést kapunk, amelynek alapján legkedvezőbb viselkedésű nyaláb méretezhető. A meglehetősen hosszás számítások eredményét az 5., illetve 6. ábrában tüntettük fel.

Az 5. ábrán feltüntettük az $I/V^{3/2} = f\left(\frac{r_c}{r}\right)$ görbét, a 6. ábrában pedig kirajzoltuk ennek a görbének a méretezéshez szükséges részét és feltüntettük γ_0 -nak a (20), illetve Θ_0 -nak (35) vagy (36) egyenlet alapján számítható értékét. A 6. ábra szolgál a méretezésre.

Az eddigiek alapján legkedvezőbb viselkedésű nyaláb méretezéséhez felvehető a feszültség, az áram és a katód- vagy az anódméret; a gyakorlatban rendszerint ezekhez az értékekhez kell az elektroncsövet méretezni. A diagrammok segítségével a méretezés leegyszerűsödik: az adott feszültség és áram értékéből kiszámítjuk $I/V^{3/2}$ értékét, a 6. diagrammon megkeressük az ehhez tartozó r_c/r értéket és a megfelelő γ_0 és Θ_0 értékeket.

A 35. egyenlet értelmében

$$\frac{I}{V^{3/2}} (\alpha_-)^2 \frac{10^6}{14,66} \leq 1$$

kell hogy legyen, ennek megfelelően

$$10 \geq \frac{I}{V^{3/2}} \cdot 10^{-6} \geq 0,0 \dots$$

A (33) egyenlet csak kis szögek esetén érvényes; $I/V^{3/2} = 10 \cdot 10^{-6}$ -nál már Θ igen közel van 90° -hoz, ha pedig $I/V^{3/2} = 0,1 \cdot 10^{-6}$, akkor Θ és γ igen kis szögek. Ezek közt a határok közt r_c/r hozzávetőlegesen 2,125 és 2,45 között tehát szűk határok közt változik. A 6. diagram ezt a szakaszt tünteti fel. Optimális viselkedésű nyaláb méretezése esetén tehát $I/V^{3/2}$ felvétele esetén a katód és gyorsító rendszert meghatározó valamennyi érték közül még egy vehető fel, a többi már adott és a diagrammokból olvasható le.

Az eddigiekben hallgatólágyosan feltételeztük, hogy a gyorsító elektróda furata lényegesen kisebb, mint a katód-gyorsító távolság; ha ez nem áll fenn, és a furat átmérője megközelíti a katód-gyorsító távolságot, akkor a tér a katód körül lényegesen eltér a feltételezett értéktől.

Figyelmün kívül hagytuk az elektronok hőfoksebességét. A tértöltés és hőfoksebesség hatásának együttes figyelembevétele jelentős nehézséget okozna; kiszámítható azonban, hogy adott r_c/r viszony mellett mikor válik egyik, illetve másik hatás túlnyomóvá. A nagy áramú nyalábok tervezésénél a legkisebb keresztmetszetet rendszerint nem a hőfoksebesség korlátozza, hanem a tértöltés. A tervezett katódnál a kezdeti sebességeket — itt nem részletezett megfontolások alapján — egyszerűen úgy vettük számításba, hogy a gyorsító furatának átmérőjét a számított értékhez képest 15%-kal megnöveltük.

8. Számpélda méretezésre.

Legyen az átvinni kívánt áram $I = 9$ mA, $V = 1000$ V feszültség mellett Ezzel

$$I/V^{3/2} = 0,2845 \cdot 10^{-6}$$

A 6. diagramm szerint

$$r_c/r_a = 2,135$$

$$\Theta_0 \cong 11^\circ$$

$$\gamma_0 \cong 4^\circ 55'$$

A katódméretek felvételénél szempontunk, hogy a katódon viszonylag kis áramsűrűség lépjen fel. Vegyünk fel $r_c = 3$ mm-t, akkor az összes többi méretek már adódnak:

$$r_a = 1,405 \text{ mm}$$

$$z_a = 16,39 \text{ mm}$$

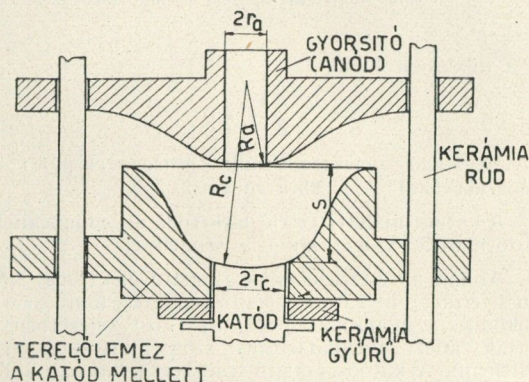
$$R_c = 15,72 \text{ mm}$$

$$R_a = 7,362 \text{ mm}$$

$$r_0 = 0,597 \text{ mm}$$

$$s = R_c - R_a = 8,36 \text{ mm}.$$

A kivitelezett katódot a 7. (nem léptékhelyes) ábrán tüntettük fel.



7. ábra. Kivitelezett katód rajza.

9. Kísérletek.

Az előbbieken leírt és a 7. ábrában feltüntetett katódnál a nyaláb feltágulását úgy ellenőrizzük, hogy a katód után drótspirálisan építettünk be a csőbe, amelynek a menetek felizzása durva tájékoztatásul szolgált arra vonatkozólag, hogy a nyaláb hol éri el a spirális átmérőjét. A gyorsító elektródára futó áram a katódáram 2%-ánál többet nem tett ki. A katód melletti, (a katódtól szigetelt) terelőlemez feszültségének változtatásával a katódáram $\pm 15\%$ -kal volt változtatható.

Aláfűtött állapotban, (kisebb kezdeti sebességek) a gyorsítóra futó áram relative többet csökkent, mint az összárám. A nyaláb feltágulására vonatkozó, a spirális felizzása útján nyert eredmény jól megközelítette a számított értéket.

A kísérleteket 1952-ben Valkó Iván Péter irányításával a Távközlési Kutató Intézet laboratóriumaiban végeztük. Köszönetet mondunk dr. Takács Lajosnak, aki a számítási részeket ellenőrizte, dr. Vincze Istvánnak, az Alkalmazott Matematikai Intézet igazgatójának az intézet segítségéért a (37) egyenlet megoldásánál. A kísérleti darabokat dr. Váradi F. Péter irányításával Navradszky László készítette.

IRODALOM

- (1) L. Brillouin: A Theorem of Larmor and Its Importance for Electrons in Magnetic Fields. Physical Review 67. 1945. 260—266. old.
- (2) J. R. Pierce: Rectilinear Electron Flow in Beams. Journal of Applied Physics 17. 8. 1940. 548—554. old.
- (3) K. Spangenberg: Vacuum Tubes. McGraw-Hill 1948.
- (4) E. A. Vajnrub, W. I. Miljutin: Elektronnaja Optika. Gosudarstvennoje Energeticeszkoe Izdatelstvo, Moszkva, 1951.
- (5) E. Brüche, O. Scherzer: Geometrische Elektronoptik. Julius Springer, Berlin 1934.
- (6) A. Rusterholz: Elektronenoptik. Birkhäuser, Basel.
- (7) Rothe—Kleen: Grundlagen und Kennlinien der Elektronenröhren. Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig, 1943.
- (8) Jahnke—Emde: Tafeln Höherer Funktionen. Teubner, Leipzig, 1952.
- (9) Haeff: Space Charge Effects in Electron Beams. Proc. I. R. E. 27. 586—602. 1939.
- (10) I. Langmuir, K. Blodgett: Currents Limited by Space Charge Between Concentric Spheres. Physical Review 24. 1924. 49—59. old.
- (11) R. Helm, K. Spangenberg, L. M. Field: Cathode-Design Procedure for Electron-Beam Tubes. Elec. Comm. 24. No. 1. 1947 márc. 101—107. old.

A reflex klystron elmélete

TARNAY KÁLMÁN

(Budapesti Műszaki Egyetem, Vezetéknélküli Híradástechnika Tanszék)

Összefoglalás: A reflex klystron a mikrohullámú technika kisteljesítményű oszcillátorcsöve: lokátorvevők helyi oszcillátorfokozatában, mikrohullámú szignálgenerátorokban alkalmazzák. A cikk első része az irodalom alapján ismerteti a reflex klystron oszcillátor működésének elvét és feltételeit. A második rész az elektronikus hangolás lehetőségeivel foglalkozik, mely egyszerű felépítésű automatikus frekvenciaszabályozást, vagy kisteljesítményű frekvenciamodulált oszcillátorként való alkalmazást tesz lehetővé. Az elektronikus hangolásnál zavaró jelenségeként lép fel az ú. n. hiszterézis, melyet a cikk kvalitatíve tárgyal. A befejező rész a reflex klystron frekvenciamodulált oszcillátorként való alkalmazásával és a fellépő torzításokkal foglalkozik.

I. Bevezetés

A reflex klystron a kis tápfeszültségekkel dolgozó sebességmodulációs csövek egyik kisteljesítményű típusa. A kétüreges klystronnal szemben a következő előnyei vannak rezgéskeltés szempontjából:

a) csak egyetlen ürege van, ennél fogva hangolása sokkal egyszerűbb, mert nem kell két üreg szimultán hangolását biztosítani.

b) a visszacsatolás elektronikus, a visszatérítő erőter segítségével történik, melyet a repellerfeszültség változtatásával szabályozhatunk, szemben a kétüreges klystronnal, amelynél a visszacsatolás külön visszacsatoló áramkörön keresztül történik.

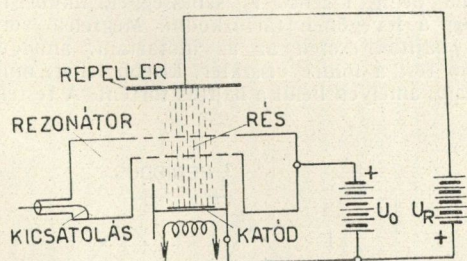
c) a repellerfeszültség változtatásával a gerjesztett frekvencia kismértékben változtatható, méghozzá teljesítményszükséglet nélkül: ez lehetővé teszi reflex klystron oszcillátoroknál egyszerű felépítésű automatikus frekvenciaszabályozás alkalmazását, vagy frekvenciamodulált oszcillátorként való felhasználását.

Hátrányai viszont a következők:

a) a tápfeszültség ingadozások következtében fellépő frekvenciaingadozás, amely lehetővé teszi AFC vagy frekvenciamoduláció alkalmazását, azonban a szabályozásban illetve modulációban részt nem vevő elektródákat stabilizált egyenfeszültséggel kell táplálni.

b) a rezonátorüreg a katódhoz képest többszáz voltnyi pozitív feszültségen van, a gerjesztett nagyfrekvenciás teljesítmény elvezetése kisebb technikai nehézségekbe ütközik.

A reflex klystron elvi felépítése az 1. ábrán látható.



1. ábra. Reflex klystron elvi felépítése.

Működési elve a következő:

A közvetett fűtésű katódból kilépő egyenletes áram-sűrűségű elektronsugár a katód és rezonátor közötti térben a rezonátoron levő egyenfeszültségnek megfelelő sebességre gyorsul (néha a rezonátor előtt egy gyorsító rács is van). A rezonátor a klystronoknál szokásos re-entrant rezonátor, mely két rácsot vagy íriszt tartalmaz, ezek alkotják a kör kapacitív részét, közöttük lép fel a maximális térerősség. A két rács közötti térben az elektronsugár sebességmodulációt szenved. A sebességmodulált elektronsugár a résből kilépve a rezonátor és a negatív feszültségen lévő repeller

közötti erőterben, mely az elektronok kinetikus energiáját felemészti — lelassul, majd visszafordul és gyorsulva halad vissza a rezonátor felé, eközben a különböző sebességű elektronok kötegelődnek, és helyesen beszabályozott visszatérítő erőter esetén olyan fázisban érkeznek vissza a rezonátor részébe, hogy a pillanatnyi résfeszültség az elektronokat fékezi, ekkor az elektronok energiát adnak le a résnek. Az energiának az a része, mely az üregrezonátor veszteségeinek fedezése után fennmarad, az üregből egy csatolóhurokkal koaxiális kábel, illetve az üregbe csatlakozó csőárvonal segítségével elvezethető.

2. Az elektronsugár áthaladása a résen

A katódból kilépő egyenletes áram-sűrűségű elektronsugár a résbe belépve a rés rádiófrekvenciás erőterének hatása alá kerül. A résfeszültség értéke

$$U = U_1 \sin \omega t$$

ha a v_0 sebességű elektronnak a résen való áthaladása közben a résfeszültség nem változik meg észrevehetően, vagyis, ha

$$\frac{d}{v_0} < \frac{2\pi}{\omega}$$

akkor a résben az elektron kinetikus energiája

$$\Delta W_0 = e U$$

értékkel változik meg az áthaladás következtében.

A klystron esetében azonban a periódusidő összemérhető a résen való áthaladás idejével, ezért a résfeszültség nem tekinthető változatlanul. A résfeszültség változása következtében az elektron kinetikus energiájának megváltozása a résen való áthaladás következtében

$$\Delta W = \beta e U$$

értékű lesz. A modulációs β együttható tehát az elektron energiájának megváltozása viszonyítva a változást okozó feszültség által létrehozható maximális energiaváltozáshoz.

A következőkben a β modulációs együttható értékét fogjuk meghatározni az alábbi feltételek mellett:

a) a tértöltés hatása elhanyagolható

b) a résfeszültség sokkal kisebb, mint a gyorsítófeszültség, tehát a résen való áthaladás idejét a résfeszültség nem befolyásolja

c) a rés szélessége kicsiny a hullámhosszhoz képest, így a résben mágneses tér nem alakul ki.

A résbe t_0 időpontban belépő elektron helyzete t időpontban

$$x = v_0 (t - t_0)$$

a térerősség értéke a résben

$$E = \frac{dU(x)}{dx} e^{j\omega t}$$

azonban t értéke az elektron által megtett út (x) és az elektron sebességének (v_0) hányadosával nagyobb t_0 -nál, ha a b) feltétel alapján az elektron mozgását a résben egyenletes mozgásnak tekintjük, vagyis

$$E = \frac{dU(x)}{dx} e^{j\left(\frac{\omega x}{v_0} + \omega t_0\right)} = \frac{dU(x)}{dx} e^{j(\gamma x + \omega t_0)}$$

Az elektron mozgásmennyiségének megváltozása a résen való áthaladás közben

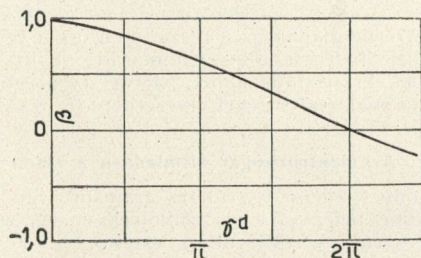
$$\Delta m v = \int e E dt = \frac{e}{v_0} \int_a^b \frac{dU(x)}{dx} e^{j(\gamma x + \omega t_0)} dx$$

Ha az elektromos erőter nem változik meg a résen való áthaladás alatt, akkor az elektron mozgásmennyiségének megváltozása

$$(\Delta m v)_0 = \frac{e \varepsilon^{j \omega t_0}}{v_0} \cdot \int_a^b \frac{dU(x)}{dx} dx = \frac{e U}{v_0} \varepsilon^{j \omega t_0}$$

Ha a v_0 sebességű elektron v_0 -tól csak kismértékben eltérő v_1 sebességre gyorsul, akkor kinetikus energiájának megváltozása

$$\frac{m v_1^2}{2} - \frac{m v_0^2}{2} = \frac{m}{2} (v_1 + v_0) (v_1 - v_0) \cong \\ \cong m v_0 (v_1 - v_0) = v_0 \Delta m v$$



2. ábra. Modulációs együttható síkszimmetrikus erőter esetén.

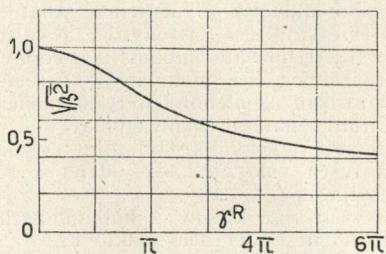
tehát a kinetikus energia megváltozása ilyen körülmények között arányos a mozgásmennyiség megváltozásával. Ezek alapján

$$\beta = \frac{\Delta W}{\Delta W_0} = \frac{\Delta m v}{(\Delta m v)_0} = \frac{1}{U} \left| \int_a^b \frac{dU(x)}{dx} \varepsilon^{j \gamma x} dx \right| \quad (2-1)$$

Vizsgáljuk meg két végtelen finom szövésű rác's között kialakuló erőter esetét. A térerősség nagysága

$$E = \frac{dU}{dx} = \frac{U}{d}$$

tehát a modulációs együtthatós



3. ábra. Modulációs együttható írisz esetén.

$$\beta = \frac{1}{U} \frac{U}{d} \left| \int_0^d \varepsilon^{j \gamma x} dx \right| = \frac{1}{\gamma d} \left| 1 - \varepsilon^{j \gamma d} \right| = \frac{\sin \frac{\gamma d}{2}}{\frac{\gamma d}{2}} \quad (2-2)$$

A 2. ábrán γd függvényében látható a modulációs együtthatós.

Tengelyszimmetrikus erőter esetén, mely írisz alkalmazásakor lép fel, ha a rendszer tengelyében a modulációs együtthatós értéke β_0 , akkor a tengelytől r távolságra

$$\beta(r) = \beta_0 I_0(\gamma r)$$

Ha a két elektróda végtelen közel van egymáshoz, akkor könnyen belátható, hogy a fal közvetlen közelében haladó elektronokra a modulációs együtthatós éppen egy-ségyi, ebből az következik, hogy

$$\beta_0 = \frac{1}{I_0(\gamma R)}$$

tehát

$$\beta(r) = \frac{I_0(\gamma r)}{I_0(\gamma R)}$$

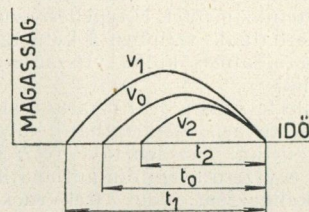
Mivel a modulációs együtthatós a tengelytől mért távolság függvénye, átlagolást kell végezni. Figyelembe véve azt, hogy az elektronok kétszer haladnak át a résen, a negyzetes átlagértéket kell kiszámolni

$$\overline{\beta^2} = \frac{1}{R} \int_0^R \beta^2(r) dr = 1 - \frac{I_1^2(\gamma R)}{I_0^2(\gamma R)} \quad (2-3)$$

A 3. ábrán látható γR függvényében a modulációs együtthatós írisz esetén.

A következőkben a résen áthaladó elektronsugárnak a résre való hatását fogjuk megvizsgálni. A résfeszültség által gyorsított elektronok rövidebb ideig fognak a résben tartózkodni, mint a résfeszültség által lassított elektronok. Ebből következik, hogy a gyorsított és lassított elektronok impulzusa nem fog megegyezni. Ha a gyorsító félperiódus alatti impulzusok összege abszolútértékre nézve különbözik a lassító félperiódus alatti impulzusok összegétől — vagy más módon kifejezve: ha egy periódusra nézve az impulzusok összege zérustól különbözik, akkor a rés és az elektronsugár között energiaátadás fog lejátszódni, mely az elektronsugár sugárterhelés admittanciájával jellemezhető, melynek értéke

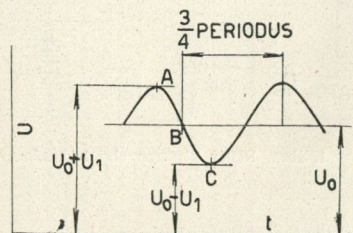
$$G_{es} = -\frac{1}{4} \frac{I_0}{U_0} \gamma \frac{d\beta^2}{d\gamma} \quad (2-4)$$



4. ábra. Kötegelődés.

3. Kötegelés a reflex klystronban

A sebességmodulált elektronsugár kötegelődése a rezonátor és repeller közötti erőterben játszódik le. A visszaterítő erőterben az elektronok egy olyan szilárd testhez hasonlóan viselkednek, melyet a Föld gravitációs erőterében felfelé hajtunk. Ha a testet v_0 sebességgel hajtottuk, akkor t_0 idő múlva fog a föld felszínére visszaérni. Ha az előbbinél nagyobb, v_1 sebességgel hajtottuk, akkor hosszabb ideig, ha pedig kisebb, v_2 sebességgel, akkor rövidebb ideig fog a levegőben tartózkodni. Megfelelő sorrendben végzett hajtás esetén az az időtartam, amelyen belül a három test a földre visszatér, kisebb lehet, mint az az időtartam, amelyen belül a hajtás történt. A testek vissza-



5. ábra. A résfeszültség.

térése ebben az esetben a közepes sebességű test köré csoportosul: kötegelődés következik be. Ezt az esetet a 4. ábrán láthatjuk.

Hasonlóan játszódik le a reflex klystronban is a kötegelődés. Az 5. ábra alapján fogjuk vizsgálni a reflex klystronban lejátszódó kötegelődési folyamatot.

Az az elektron, mely a résen való áthaladásakor az U_1 résfeszültség hatására gyorsul, ekvivalens az első, legnagyobb sebességgel hajított testtel (A). A résen való áthaladásakor sebességét nem változtató elektron (B) a közepes kezdősebességű, a résfeszültség hatására lassuló elektron (C) pedig a legkisebb kezdősebességű testnek felel meg. A működésnek ebben a részében a rezonátor energiája nem változik meg, mert a lassított elektronoktól éppen annyi energiát vesz fel, mint amennyit a gyorsított elektronoknak lead (az elektronikus sugárterhelést elhanyagoljuk).

Ezután az elektronok a közepes sebességű elektronok körül kötegelődnek. A visszatérő elektronkötegeknek olyan fázisban kell a résen áthaladnia, hogy energiájukat képesek legyenek leadni a rezonátornak. A közepes sebességű elektronok első áthaladása után $3/4$ periódussal az erőter, a katód felől jövő elektronokra maximális gyorsítóhatást, a visszatérő elektronokra nézve pedig maximális fékítő hatást gyakorol, tehát a közepes sebességű elektronok köré kötegelődött elektronkötegeknek ekkor kell a résbe visszatérnie. Ugyanez tapasztalható

$$1^3/4, 2^3/4, 3^3/4, \dots, n + 3/4$$

periódus eltelte után. Megállapíthatjuk ezek alapján, hogy a közepes sebességű elektronoknak $n + 3/4$ periódus tartamig kell a visszatérítő erőterben tartózkodniuk.

A következőkben a kötegelés lefolyását matematikailag fogjuk követni az alábbi feltételek szemelített tartásával:

- a tértöltés hatása elhanyagolható,
 - a résfeszültség sokkal kisebb, mint a gyorsítófeszültség,
 - az elektronoknak a résen való áthaladása közben a résfeszültség változik, ezért az elektronok mozgási energiája $e U_1$ helyett csak $\beta e U_1$ -gyel változik meg,
 - a visszatérítő erőter homogén,
 - a β modulációs koeficiens az egész sugárkeresztmetszetben állandó,
 - az elektronsugárban a töltéelosztás folytonos,
 - a kilépő és visszatérő elektronsugár kölcsönhatását figyelmen kívül hagyjuk,
 - a termikus sebességeloszlást nem vesszük számításba.
- A résen való áthaladás után az elektronok egy statikus visszatérítő erőterbe kerülnek, ahol a térerősség

$$E_0 = \frac{U_R + U_0}{l}$$

melynek hatására az elektronok lelassulnak, visszafordulnak, majd visszatérnek a résbe.

Ha a résfeszültség

$$U = U_1 \sin \omega t$$

akkor a résből t_1 időpontban kilépő elektronok sebessége

$$v = \sqrt{\frac{2e}{m} (U_0 + \beta U_1 \sin \omega t_1)}$$

A visszafordulás akkor következik be, ha x_1 távolságra a potenciális energia megegyezik az elektron kezdeti mozgási energiájával

$$e E_0 x_1 = \frac{m v^2}{2}$$

ebből az elektronok által a visszatérítő erőterben megtett út

$$x_1 = \frac{v^2}{\frac{2e}{m} E_0}$$

ezt az utat az elektronok a homogén erőter hatására egyenletesen lassuló mozgással teszik meg, ezért a futási idő

$$\tau_1 = \frac{x_1}{2v} = \frac{v}{\frac{e}{m} E_0}$$

A visszatérített elektronok ezután

$$v_1 = \sqrt{\frac{2e}{m} (-E_0) (-x)}$$

sebességgel haladnak a rezonátor felé. A visszafutás időtartama

$$\tau_2 = - \int_{x_1}^0 \frac{dx}{v_1} = \frac{v}{\frac{e}{m} E_0}$$

tehát a visszatérítő erőterben az elektronok

$$\tau_a = \tau_1 + \tau_2 = \frac{2v}{\frac{e}{m} E_0} \quad (3-1)$$

ideig tartózkodnak. A visszatérés időpontja

$$t_2 = t_1 + \tau_a \quad (3-2)$$

A töltés megmaradásának elve alapján a résbe dt_1 időtartam alatt belépő töltésnek egyenlőnek kell lennie a dt_1 -hez tartozó dt_2 időtartam alatt visszatérő töltéssel

$$I_0 dt_1 = i dt_2 \quad (3-3)$$

Ezek alapján i_2 meghatározható. Tételezzük fel, hogy

$$i = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n e^{j n (\omega t_2 + \varphi)} \quad (3-4)$$

ahol a Fourier-együtthatók

$$A_0 = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} i d\omega t_2 \quad (3-5)$$

$$A_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} i e^{j n (\omega t_2 + \varphi)} d\omega t_2 \quad (3-6)$$

Áttérve t_1 -re az (3-1), (3-2) és (3-3) egyenletek felhasználásával

$$A_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} I_0 \exp[j n \omega (t_1 + \tau_a + \varphi)] d\omega t_2$$

Vezessük be a következő jelöléseket:
A belépő fázis

$$\Theta_1 = \omega t_1$$

A közepes sebességű elektronok futási szöge a repeller erőterében

$$\Theta = \omega \tau_0 = \frac{2\omega}{E_0} \sqrt{\frac{m}{2e}} U_0$$

A kötegelési paraméter

$$x = \Theta \frac{\beta U_1}{2 U_0}$$

Így

$$\tau_a = \tau_0 \sqrt{1 + \frac{2X}{\Theta} \sin \Theta_1}$$

A számítás elején kikötöttük, hogy

$$U_1 \ll U_0$$

Ezért

$$\frac{2X}{\Theta} \ll 1$$

Ez az egyenlőtlenség lehetővé teszi τ_a kifejezésében a négyzetgyökök végtelen Taylor-sorba való fejtelését $\sin \Theta_1$ szerint

$$\sqrt{1 + \frac{2X}{\Theta} \sin \Theta_1} = 1 + \frac{X}{\Theta} \sin \Theta_1 - \frac{1}{2} \frac{X^2}{\Theta^2} \sin^2 \Theta_1 + \dots$$

Kis jelek esetére végezve a számítást, elegendő csak az elsőfokú tagot figyelembevenni, ebben az esetben

$$A_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} I_0 \exp j n \left[\Theta_1 + \varphi + \Theta \left(1 + \frac{X}{\Theta} \sin^2 \Theta_1 - \dots \right) \right] d \Theta_1$$

legyen

$$\varphi = -\Theta$$

ekkor

$$A_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} I_0 \exp j n [\Theta_1 + X \sin \Theta_1] d \Theta_1 \quad (3-7)$$

Az (3-7) egyenletet az Euler-reláció segítségével felírva látható, hogy a szinuszos tagok $-\pi$ -től π -ig integrálva zérust adnak, mert a szinusz páratlan függvény (az origótól jobbra és balra lévő területek egyenlők, de ellentétes előjelűek, tehát az összegük zérus) tehát csak a cosinuszos integrál marad meg

$$A_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} I_0 \cos n (\Theta_1 + X \sin \Theta_1) d \Theta_1$$

Az integrál Bessel-függvények segítségével zárt alakban megadható

$$A_0 = I_0 \quad (3-8)$$

$$A_n = 2 (-1)^n I_0 J_n(nX) \quad (3-9)$$

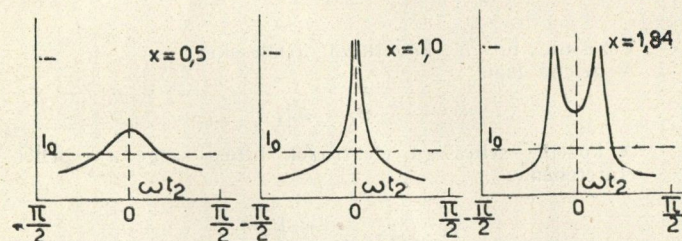
Mindezek alapján a résbe visszatérő sugáraram

$$i = I_0 \left[1 + 2 \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n J_n(nX) \cos n \omega (t_2 - \tau_a) \right] \quad (3-10)$$

és ennek a résfeszültséggel megegyező frekvenciájú komponense

$$(i)_1 = -2 J_1(X) e^{j \omega (t_2 - \tau_a)} \quad (3-11)$$

A sugáraram időbeli lefolyása a 6. ábrán látható a kötegelési paraméter különböző értékei esetén.



6. ábra. A sugáraram időbeli lefolyása.

4. Oszcilláció a reflex klystronban

A rezonátorba visszatérő kötegelt elektronsugár a résben a sugáraram β -szorosát indukálja

$$i_1 = \beta 2 I_0 J_1 \left(\frac{\beta U_1 \Theta}{2 U_0} \right) e^{j(\omega t - \Theta)}$$

A visszatérés időpontjában a résfeszültség értéke

$$U_{10} = U_1 e^{j(\omega t - \frac{\pi}{2})}$$

ezek hatására a résben

$$Y_e = \frac{2 I_0 \beta}{U_1} J_1 \left(\frac{\beta U_1 \Theta}{2 U_0} \right) e^{j(\frac{\pi}{2} - \Theta)} \quad (4-1)$$

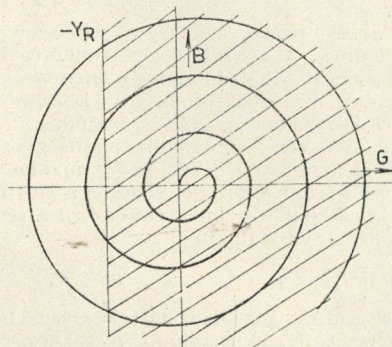
nagyságú elektronikus admittancia fog fellépni. Ha az elsőrendű Bessel-függvény argumentuma az egységnél sokkal kisebb, akkor

$$J_1(x) \cong \frac{x}{2}$$

ezt az összefüggést felhasználva

$$Y_{e0} = \frac{\beta^2 I_0}{2 U_0} \Theta e^{j(\frac{\pi}{2} - \Theta)} = Y_e e^{j(\frac{\pi}{2} - \Theta)}$$

A 7. ábrán látható az elektronikus admittancia a komplex admittanciasíkon ábrázolva: igen kis oszcillációs amplitúdó esetén az admittanciavektor végpontja Θ változtatásával egy archimedesi spirálison mozdul el.



7. ábra. Az elektronikus admittancia.

A rezonátor terhelése és vesztesége következtében jelentkező köradmittancia értéke rezonancia környezetében

$$Y_R = G_R + 2 j B_0 \frac{\Lambda \omega}{\omega} \quad (4-2)$$

Ez az összefüggés a komplex admittanciasíkon egy függőleges egyenessel ábrázolható.

Stabil oszcilláció feltétele az, hogy az elektronikus admittancia és a köradmittancia összege zérust adjon, vagyis a rendszerből elvett teljesítményt és a veszteségeket az elektronsugár mozgási energiája fedezze.

$$Y_e + Y_R = 0 \quad (4-3)$$

A köradmittancia negatívját ábrázoljuk a 7. ábrán. A (4-3) egyenlet, mint oszcillációs feltétel alapján oszcilláció a köradmittancia egyenesétől balra fekvő ívszakaszokon léphet fel, és ezeknek az ívszakaszoknak mindegyike egy-egy ún. móduszt jelent.

Θ értékét a repellerfeszültség segítségével változtathatjuk, mivel

$$\Theta = 2 \omega \sqrt{\frac{m}{2e}} l \frac{\sqrt{U_0}}{U_R + U_0} \quad (4-4)$$

Látható, hogy Θ változtatása hatására az admittanciavektor forog. Forgása közben a köradmittancia egyenesét mindig más helyen metszi. A metszéspont és a valós (konduktanciategely) között mért távolság a köradmittancia képzetes része, mely rezonancia környezetében a (4-2) egyenlet alapján a frekvenciával arányos. Ebből az következik, hogy a repellerfeszültség segítségével az oszcilláció frekvenciája változtatható (elektronikus hangolás).

Az elektronikus hangolás lehetősége a magasabb módusok felé növekszik. Ez a megállapítás a 7. ábra alapján könnyen belátható, mert az elektronikus admittanciát ábrázoló spirális és a köradmittancia egyenesének metszéspontjai Θ növekedésével egyre távolabb kerülnek a konduktanciategelytől. A terhelés növelése csökkenti az elektronikus hangolás frekvenciaátfogását, mert a köradmittancia egyenes a terhelésnövelés következtében balra tolódik el. Nagy terhelés esetén esetleg egyes módusok nem is alakulnak ki, mert a módusokhoz tartozó spirális ív teljes egészében a köradmittancia egyenesétől jobbra helyezkedik el, és így a (4-3) oszcillációs feltétel nem teljesül.

A (4-1) egyenletből látható, hogy az elektronikus admittancia valós és negatív, ha

$$\Theta = 2 \pi \left(n + \frac{3}{4} \right)$$

ekkor

$$Y_e = G_e = -\frac{2 I_0 \beta}{U_1} J_1 \left(\frac{\beta U_1 \Theta}{2 U_0} \right)$$

A teljesítmény

$$P = \frac{1}{2} U_1^2 G_e = P_0 \frac{\beta U_1}{U_0} J_1 \left(\frac{\beta U_1 \Theta}{2 U_0} \right)$$

a kötegelési paraméter bevezetésével

$$P = P_0 \frac{2X}{\Theta} J_1(X) \quad (4-5)$$

Az előzőekben a teljesítményt azzal a feltétellel határoztuk meg, hogy az üregnek csak egyetlen rezonanciafrekvenciája van. Ismeretes azonban, hogy egy üregrezonátornak a határhullámhossz alatt végtelen sok önhullámhossza van. A kötegelt elektronsugár áthaladva a

$$\omega_1, \omega_2, \omega_3 \dots \omega_k \dots$$

rezonanciafrekvenciákkal bíró üreg részén, a résben

$$U_e = \sum_{k=1}^{\infty} U_k \beta_k \sin(\omega_k t + \varphi_k)$$

rádiófrekvenciás feszültséget gerjeszt a kölcsönhatás következtében.

A résből t_1 időpontban kilépő elektron

$$\tau(t_1) = \tau_0 \sqrt{1 + \frac{U_e(t_1)}{U_0}}$$

idő eltelte után tér vissza a résbe, és ott

$$U_e = (t_1 + \tau)$$

nagyságú lassító rádiófrekvenciás feszültség hatása alá kerül, és a dt_1 időtartam alatt belépő $I_0 dt_1$ töltés a rezonátornak

$$dW = U_e(t_1 + \tau) I_0 dt_1$$

nagyságú energiát ad le.

A teljesítmény ennek az energiának az időbeli átlaga

$$P = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T I_0 U_e(t_1 + \tau) dt_1 =$$

$$= I_0 \overline{U_e(t_1 + \tau)} = I_0 \sum_{k=1}^{\infty} \beta_k U_k \sin(\omega_k t_1 + \omega_k \tau + \varphi_k)$$

$\tau(t)$ -t a binomiális tétel segítségével sorbafejtjük, és csak az elsőfokú tagot vesszük figyelembe, mert feltételezzük, hogy a résfeszültség sokkal kisebb, mint a gyorsító egyenfeszültség

$$\tau(t) = \tau_0 \left[1 + \frac{1}{2} \frac{U_e(t)}{U_0} + \dots \right]$$

Ezt a teljesítmény kifejezésébe beírva a gerjesztett teljesítmény ω_1 frekvencián

$$P_1 + jQ_1 =$$

$$= -j I_0 \beta_1 U_1 e^{j\omega_1 \tau_0} e^{j\omega_1 t_1} \sum_k \frac{\Theta_1 \beta_k U_k}{2 U_0} \sin(\omega_k t_1 + \varphi_k)$$

mivel

$$\omega_1 \tau_0 = 2\pi N_1$$

ebből

$$\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

a kötegelési paraméter felhasználásával

$$P_1 + jQ_1 =$$

$$-j I_0 \beta_1 U_1 e^{j\omega_1 \tau_0} e^{j\omega_1 t_1} \prod_{k=-\infty}^{\infty} \exp \left[\frac{N_1}{N_2} X_k \sin \left(\frac{N_1}{N_k} \omega_1 t + \varphi_k \right) \right]$$

Mivel a Bessel-függvények elmélete alapján

$$e^{jz \sin \Theta} = \sum_{l=-\infty}^{\infty} J_l(z) e^{j\Theta l}$$

írható, hogy

$$P_1 + jQ_1 = -j \frac{P_0}{\pi N_1} e^{j2\pi N_1 X_1} e^{j\Theta} \prod_{k=-\infty}^{\infty} \sum_{l=-\infty}^{\infty} J_l \left(\frac{N_1}{N_k} X_k \right) e^{j\left(\frac{N_1}{N_k} \Theta \pm \varphi_k \right)} \quad (4-6)$$

Ha az üreg csak egyetlen frekvencián képes rezegni, akkor a leadott teljesítmény, tekintve, hogy móduszközépen

$$N_1 = n + \frac{3}{4}$$

ezért (4-6)-nek csak valós része van

$$P = P_0 \frac{2X_1}{\Theta} J_1(X_1)$$

Két számbajöhető rezonanciafrekvencia esetén

$$P_1 + jQ_1 = -j \frac{I_0 U_0}{\pi N_1} e^{j2\pi N_1} e^{j\Theta} \sum_{k=-\infty}^{\infty} J_k(X_1) e^{jk\Theta} \sum_{l=-\infty}^{\infty} J_l \left(\frac{N_1}{N_2} X_2 \right) e^{jl \frac{N_2}{N_1} \Theta}$$

Mivel csak a Θ -tól független tagok adnak teljesítményt, az oszcilláció feltétele

$$\Theta + k\Theta + l \frac{N_2}{N_1} \Theta = 0$$

vagyis

$$1 + k + l \frac{N_2}{N_1} = 0$$

Ez az egyenlet kielégíthető a

$$k = -1 \\ l = 0$$

értékpárral tetszőszerinti N_1 és N_2 esetén, Mivel

$$J_{-l}(x) = (-1)^l J_l(x)$$

tehát ebben az esetben

$$P_1 + jQ_1 = -j P_0 \frac{2X_1}{\Theta} e^{j2\pi N_1} J_1(X_1) J_0 \left(\frac{N_1}{N_2} X_2 \right)$$

$$P_2 + jQ_2 = -j P_0 \frac{2X_2}{\Theta} e^{j2\pi N_2} J_1(X_2) J_0 \left(\frac{N_2}{N_1} X_1 \right)$$

Láttuk az előzőekben, hogy ω_1 frekvencián egyetlen oszcilláció esetén a teljesítmény

$$P_1 + jQ_1 = -j P_0 \frac{2X_1}{\Theta} e^{j2\pi N_1} J_1(X_1)$$

és ez a második oszcilláció hatására $J_0 \left(\frac{N_1}{N_2} X_2 \right)$ -al való beszorzás arányában csökken. Ha a Bessel-függvény argumentuma eléri a 2,40 értéket, akkor a kisebb frekvenciájú oszcilláció megszűnik.

Erőteljes kisebb frekvenciájú oszcilláció esetén második oszcilláció akkor léphet fel, ha

$$\frac{N_2}{N_1} X_1 > 2,408$$

és ez akkor lesz maximális, ha

$$N_2 \cong n + \frac{1}{4}$$

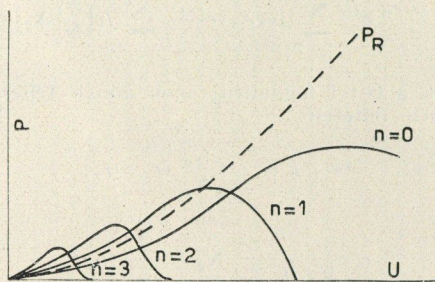
Látható, hogy a második, parazitikus oszcilláció teljesítménye akkor maximális, ha a repellerfeszültség félúton van két, csak egyedül jelentkező ω_1 frekvenciájú módusz között.

A két különböző frekvenciájú módusz közötti kölcsönhatás eredményezhet egy dinamikus instabil állapotot, melynél az alacsonyabb frekvenciájú módusz megjelenését megelőzi a nagyobb frekvenciájú módusz amplitúdójának növekedése (ha erre a móduszra az elektronikus admittancia nagy negatív értékű). A növekedés hatására viszont az alacsonyabb frekvenciájú módusz nem tud kialakulni. Ezzel a folyamattal magyarázható a reflex klystronnál megfigyelt »fighting action«-nak nevezett zajjelenség.

Vizsgáljuk meg az üregrezonátor veszteségeinek hatását a reflex klystron kimenőteljesítményére. A rés által a sugártól átvett rádiófrekvenciás teljesítmény a 8. ábrán látható a résfeszültség függvényében a (4-5) egyenlet alapján. Az ábrán fel van tüntetve a rezonátor által disszipált teljesítmény is, amely a résfeszültség négyzetével arányos

$$P_R = \frac{1}{2} U_1^2 G_R$$

A résben jelenlévő rádiófrekvenciás teljesítmény görbéiből kitűnik, hogy a teljesítmény értéke a módusz rendszámának növelésével csökken. Ennek az a magyarázata, hogy magasabb móduszoknál kisebb résfeszültségnél jön



8. ábra. Reflex klystron kimenőteljesítménye a résfeszültség függvényében.

létre az optimális kötegelés, a sugáráram értéke pedig alig függ a módusz rendszámától: a teljesítmény tehát, mely a résfeszültség és sugáráram szorzatával arányos, a magasabb móduszok felé csökkenni fog.

A kimenőteljesítményt úgy kapjuk meg, hogy a gerjesztett rádiófrekvenciás teljesítményből kivonjuk az üreg által disszipált teljesítményt:

$$P_1 = P_0 \frac{2X}{\Theta} J_1(X) - \frac{1}{2} U_1^2 G_R$$

A reflex klystron hatásfoka pedig a kimenőteljesítmény és az egyenáramú teljesítmény (a sugáráram és a gyorsító feszültség szorzata) hányadosa

$$\eta = \frac{P_1}{P_0} = \frac{2}{\Theta} \left[X J_1(X) - \frac{G_R}{y_e} \frac{X^2}{2} \right] \quad (4-6)$$

Móduszközépen

$$N = n + \frac{3}{4}$$

tehát itt a hatásfok

$$\eta = \frac{1}{\pi} \frac{X J_1(X) - \frac{G_R}{y_e} \frac{X^2}{2}}{N}$$

Maximális a hatásfok, ha

$$\frac{\partial \eta}{\partial X} = 0.$$

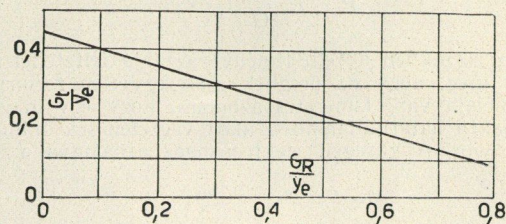
ebből a

$$\frac{G_R}{y_e} = J_0(X) \quad (4-7)$$

feltétel adódik.

A következőkben a külső terhelés hatását fogjuk megvizsgálni:

Laza csatolás esetén az oszcillációs feszültség nagy, azonban a laza csatolás miatt a teljesítmény nem vezethető el, a gerjesztett teljesítmény jelentős részét az üregrezonátor veszteségei emészti fel. Szoros csatolásnál a résfeszültség kicsiny, és nem tud hatásos sebességmodulációt létrehozni, tehát már eleve kis teljesítmény keletkezik. Nyilvánvaló, hogy a kettő között kell lenni egy optimális csatolásnak,



9. ábra. Reflex klystron optimális terhelése.

(fix csatolás esetén terhelésnek), amely esetén maximális kimenőteljesítmény lép fel.

Az oszcillációs feltétel alapján a terhelő admittancia (G_I) és az üregrezonátor veszteségei admittanciájának (G_R) összege megegyezik az elektronikus admittancia negatívjával

$$G_I + G_R = -Y_e$$

ezt az egyenletet végigcsztva a kis jelekre vonatkozó elektronikus admittancia értékével

$$\frac{G_I}{y_e} + \frac{G_R}{y_e} = -\frac{|Y_e|}{y_e}$$

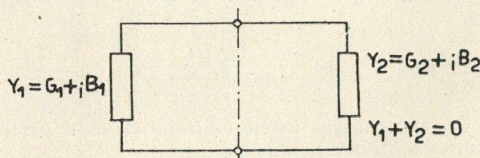
azonban móduszközépen

$$-Y_e = y_e \frac{2J_1(X)}{X}$$

a rezonátor veszteségei admittanciájának optimális értékét (4-7 egyenlet) helyettesítve megkapjuk az optimális terhelő admittanciát, mely nem egyezik meg a híradástechnikában megszokott illesztési szabály alapján számított admittancia értékével

$$\frac{G_I}{y_e} = \frac{2J_1(X)}{X} - J_0(X)$$

A 9. ábrán látható az optimális terhelő konduktancia értéke az üregrezonátor veszteségei konduktanciájának függvényében.



10. ábra.

5. Elektronikus hangolás

Egy oszcillátor oszcillációs állapota akkor stabil, ha a kör bármely pontján az admittanciák összege zérus (10. ábra).

A reflex klystron elektronikus admittanciája az oszcillációs amplitudó növekedésével csökken és fázisát változtatja. Az elektronikus admittancia fázisa erőteljesen változtatható a repellerfeszültség segítségével. A repeller erőterében a közepes sebességű elektronok futási szöge

$$\Theta = \omega \tau_0$$

(3-1) alapján a futási idő

$$\tau_0 = 2 \sqrt{\frac{m}{2e}} l \frac{\sqrt{U_0}}{U_R + U_0}$$

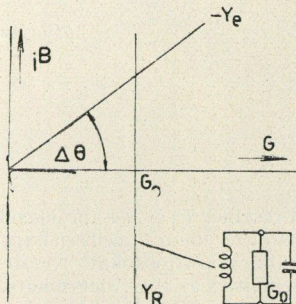
tehát

$$\frac{\partial \Theta}{\partial U_R} = -\frac{\Theta}{U_R + U_0}$$

ebből

$$\Delta \Theta = \frac{\partial \Theta}{\partial U_R} \Delta U_R = -\frac{\Theta}{U_R + U_0} \Delta U_R \quad (5-1)$$

Ebben a számításban figyelmen kívül hagytuk azt, hogy a futási szög megváltozása esetleg frekvenciaváltozást is hoz létre, ez pedig a futási szög további változását vonja maga után. A következőkben a frekvenciaváltozást mindig olyan kismértékűnek tételezzük fel, hogy a frekvenciaváltozás által létrehozott futási szög változás elhanyagolható. Elhanyagoljuk továbbá azt, hogy az elektronikus admittancia abszolút értéke és fázisa is függ az oszcillációs



11. ábra. A köradmittancia és az elektronikus admittancia negatívja.

frekvenciától. Ez az elhanyagolás azért jogos, mert rezonancia közelében ez a változás sokkal kisebb, mint a köradmittancia változása.

Feltételezzük továbbá azt, hogy az elektronikus admittancia abszolútértékét csak az oszcillációs amplitúdó, fázisát pedig csak a repellerfeszültség határozza meg.

Ha a gerjesztett frekvencia a kör rezonanciafrekvenciájától (ω_0) $\Delta \omega$ -val eltér, akkor a veszteséges rezonátor admittanciája a (4-2) egyenlet alapján

$$Y_R = G_R + 2j B_0 \frac{\Delta \omega}{\omega_0}$$

Ez az admittancia a komplex admittanciasíkon egy függőleges egyenessel ábrázolható. Az elektronikus admittancia értéke a (4-1) egyenlet alapján

$$Y_e = -y_e \frac{2J_1(X)}{X} e^{-j\Delta \Theta}$$

A 11. ábrán látható a köradmittancia és az elektronikus admittancia negatívja. A metszéspontban

$$Y_R + Y_e = 0$$

vagyis a (4-3) egyenlet által kifejezett oszcillációs feltétel ki van elégítve.

Meg akarjuk határozni a gerjesztett frekvenciát $\Delta \Theta$ függvényében. A 11. ábra alapján

$$2 B_0 \frac{\Delta \omega}{\omega_0} = -G_R \operatorname{tg} \Delta \Theta$$

ebből

$$\frac{\Delta \omega}{\omega_0} = -\frac{G_R}{2 B_0} \operatorname{tg} \Delta \Theta = -\frac{1}{2 Q_t} \operatorname{tg} \Delta \Theta \quad (5-2)$$

Oscilláció addig állhat fenn, míg az elektronikus admittancia vektorának valós része nagyobb, mint a kör konduktanciája, vagyis ameddig a 11. ábrán metszéspont egyáltalán létrejöhét, tehát amíg

$$y_e \cos \Delta \Theta > G_R$$

és így az oszcilláció határhelyzete

$$y_e \cos \Delta \Theta = G_R$$

vagyis

$$\cos \Delta \Theta_{\max} = \frac{G_R}{y_e} = \frac{B_0}{Q_t y_e}$$

tehát

$$\operatorname{tg} \Delta \Theta_{\max} = \pm \sqrt{Q_t^2 \left(\frac{y_e}{B_0} \right)^2 - 1}$$

ebből a maximális elhangolás

$$\left(\frac{\Delta \omega}{\omega_0} \right)_{\max} = -\frac{1}{2 Q_t} \operatorname{tg} \Delta \Theta_{\max} = \pm \frac{1}{2} \frac{y_e}{B_0} \sqrt{1 - \left(\frac{G_R}{y_e} \right)^2} \quad (5-3)$$

A 12. ábrán látható az (5-3) egyenlet alapján $\Delta \omega/\omega_0$ a ΔU_R repellerfeszültségváltozás függvényében az (5-1) egyenlet felhasználásával.

Ha Θ mellett $\Delta \Theta$ elhanyagolható, akkor az

$$X = \frac{\beta \Theta}{2 U_0} U_1$$

kötegelési paraméter a rádiófrekvenciás feszültség mérőszámának tekinthető. Határozzuk meg a kötegelési paramétert a 11. ábra alapján az elhangolás függvényében. A Pythagoras-tétel alkalmazásával

$$G_R^2 + \left(2 B_0 \frac{\Delta \omega}{\omega_0} \right)^2 = y_e^2 \left[\frac{2 J_1(X)}{X} \right]^2$$

ha

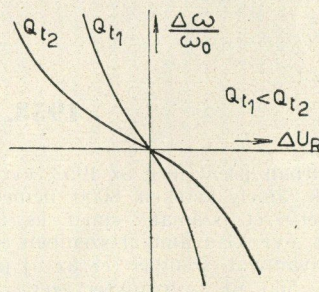
$$\Delta \omega = 0$$

akkor,

$$X = X_0$$

és ezzel

$$\frac{\Delta \omega}{\omega_0} = \frac{y_e}{B_0} \sqrt{\left[\frac{J_1(X)}{X} \right]^2 - \left[\frac{J_1(X_0)}{X_0} \right]^2}$$



12. ábra. Az oszcillációs frekvencia a repellerfeszültség függvényében.

Fél teljesítményt akkor kapunk, ha

$$U_1 = \frac{U_{10}}{\sqrt{2}}$$

ahol U_{10} az oszcillációs feszültség móduszközépen. A kötegelési paraméterrel kifejezve

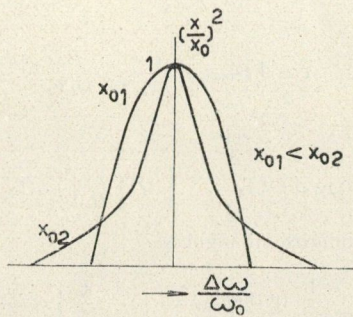
$$X_1 = \frac{X_0}{\sqrt{2}}$$

ezt az (5-4) egyenletbe helyettesítve

$$\left(\frac{\Delta \omega}{\omega_0} \right)_{1/2} = \frac{y_e}{B_0} \sqrt{\left[\frac{J_1(X_0/\sqrt{2})}{X_0/\sqrt{2}} \right]^2 - \left[\frac{J_1(X_0)}{X_0} \right]^2} \quad (5-5)$$

Az (5-4) egyenlet alapján ábrázolhatjuk az

$$\left(\frac{X}{X_0} \right)^2$$



13. ábra. A normalizált teljesítmény a relatív frekvencia függvényében.

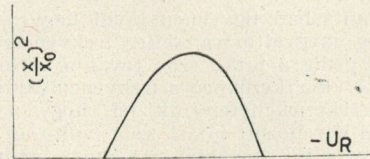
normalizált teljesítményt a frekvencia függvényében (13. ábra)

Az (5-1), (5-2), (5-4) egyenletek alapján meghatároz-

hatjuk a normalizált teljesítményt a repellerfeszültség függvényében

$$\operatorname{tg} \Delta \Theta = \pm \frac{y_e}{Q_R} \sqrt{\left[\frac{J_1(X)}{X} \right]^2 - \frac{J_1(X_0)}{X_0}}^2$$

Ez az összefüggés a 14. ábrán látható.



14. ábra. Normalizált teljesítmény a repellerfeszültség függvényében.

(Folytatása következik)

Könyvszemle

Dr. Radványi László: »Elektromos szűrők és kiegyenlítők elmélete és méretezése«

(M. T. K. I. jegyzet, 278 oldal, 188 ábra).

A jegyzet igen alapos és gondos munkára vall.

Egy rövid alkalmazási bevezetés után áttekintést ad az általános négyfázisokról, paramétereikről és üzemi viszonyokról. Ezután részletesen és könnyen érthetően tárgyalja a reaktáns kétfázisok elméletét és tervezését, ismeretve mind a négy kanonikus kapcsolást.

Az általános szűrőelméleti részben ismerteti a legáltalánosabb lehetőségeket és ezeknek X-tag alakjában való megvalósítását. Ezután a γ -transzformáció alkalmazásával a csillapítás-tervezésről beszél.

A gyakorlati részben T- és π -kapcsolásokra szorítkozva ismerteti — Guillemin nyomán — az ilyen kapcsolásokkal elérhető legáltalánosabb szűrőtípusokat. Részletesen tárgyalja az illesztés problémáit és az egy- illetve kétszeresen derivált féltagokkal való illesztést. Külön tárgyalja a veszteségek figyelembevételét és kompenzálását.

A következő részben a négy alap szűrőtípus (aluláteresztő, felüláteresztő, sávszűrő és sávzáró) tervezésére ad utasítást, melyet több példával illusztrál. Végül az utolsó részben a használatos kiegyenlítő típusokkal foglalkozik.

Érdeme a jegyzetnek, hogy az apró fogásokra és részletekre, melyek a gyakorlatban igen fontosak, lehetőség szerint mindenütt rámutat. A közölt irodalom elég bőveges és a magyar nyelvű szakirodalom nagy hiányaira mutat rá.

Szentirmai György

1953. évi DIN szabványjegyzék

A közelmúltban jelent meg az 1953. évi német (DIN) szabványjegyzék, amely kerekben 8000 német szabvány és 750 szabványtervezet számát, címét és adatát tartalmazza. A múlt évi kiadvánnyal szemben ez az új jegyzék 375 új szabvánnyal szemben ez az új jegyzék 375 új szabvánnyal és 560 új szabványtervezettel bővült. Felüti a 300-nál több átdolgozott, vagy újjal helyettesített szabványt, továbbá az utóbbi években hatálytalanított szabványokat is, megfelelő megjegyzés kíséretében. Elsőizben sorolja fel azokat a DIN-szabványokat, amelyek angol, francia, spanyol és portugál fordításban is beszerez-

hetők. Az anyagot az egyetemes tizes osztályozó rendszer szerint csoportosítja. Lényegesen bővített szám- és tárgyjegyzék könnyíti meg a szakcsoportok és szabványok ki-keresését.

A jegyzék a »Deutscher Normenausschuss, Beuth-Vertrieb GmbH, Berlin W 15 kiadásában megjelent DIN-közlmények (a német szabványügy központi orgánumának) 1953 februári számával zárult.

A DIN A5 alakú, 344 oldalas füzet kiadvány ára 9,60 DM.

Helyreigazítás

1953. 7-8. számunk 94. és 95. oldalain

Takács Jenő: »A Fourier-amplitudók meghatározása operatorszámítással« (3,6) egyenletében

$e^{\epsilon_1 p}$ helyesen e^{ap} és $e^{\epsilon_2 p}$ helyesen e^{-ap}

Az operátortáblázatban a hatodik hullámalaknál

$e^{\epsilon p}$ helyesen $e^{-\epsilon p}$

Az (5,1) előtti sorban

$\varphi(t)$ függvény Laplace integrálja helyesen

$\Phi(p)$ függvény Mallin integrálja.

Az (5,3) és (5,6) egyenletekben

$$\frac{d^{k-1} [M(p) e^{pt}]}{dp^{k-1}} \text{ helyesen } \frac{1}{(k-1)!} \frac{d^{k-1} [M(p) e^{pt}]}{dp^{k-1}}$$

MEGJELENT!

Gorskov:

Hőerőművek műszaki-gazdasági mutatói

A könyv az élenjáró üzemi tapasztalatok alapján bemutatja, hogyan lehet kidolgozni a berendezések, üzemszervek és erőművek mutatóinak haladó normáit. Ismerteti a normák végrehajtásának ellenőrzését és a végrehajtás kiértékelését.

446 oldal

Ára kve : 59.— Ft

Albert János:

A hőszigetelés kézikönyve

A házgáptól kézikönyv ismerteti a hőszigetelés alapelveit, a szigetelő anyagok tulajdonságait, gyártástechnológiáját, és a szigetelés gyakorlati kivitelezését a különféle iparágakban.

282 oldal

Ára fve : 21.— Ft

Somos István:

Szárazegyenirányító

A szerző összefoglalóan ismerteti a szárazegyenirányítók különböző típusait, megválasztásuk szempontjait és alkalmazásuk módjait. Leírja a szelénegyenirányítókat, az egyenirányítás villamos folyamatát, a kapcsolásokat és a terhelési módokat.

292 oldal

Ára fve : 42.— Ft

Popov:

Villamoshajtások tervezése

Az alapismereteken kívül foglalkozik a szerző a villamosmotorok teljesítményének meghatározásával, a villamosmeghajtás dinamikájának alapjaival, a villamosmotorok mechanikai jelleggörbéivel. Bemutatja a villamosmeghajtás átmeneti folyamatait és terhelési diagrammjaikat.

423 oldal

Ára kv. 52,50 Ft

★

BESZEREZHETŐK:

VALAMENNYI ÁLLAMI KÖNYVESBOLTBAN

SZAKKÖNYVESBOLT:

NEHÉZIPARI KÖNYVESBOLT, VII., Lenin-körút 7.

NEHÉZIPARI KÖNYV- ÉS FOLYÓIRATKIADÓ VÁLLALAT
BUDAPEST, V., NAGY SÁNDOR-UTCA 5.

MEGJELENT!

Szemenyenko:

Az ipar másodlagos energiaforrásai

A könyv az ipari hulladékhők energiaforrásként való hasznosításának módozatait vizsgálja. Külö-
nös figyelmet fordít az ipari kemencékből távozó gázok hőjének hasznosítására, tekintettel arra,
hogy ez a többnyire magas hőfokon lejátszódó folyamatok hőmérsékletében döntő értéket képvisel.
A mű a legfontosabb kemence hőhasznosító berendezések műszaki-gazdaságossági méretezésével
kapcsolatos adatgyűjteményt és példákat is közöl. Az iparvállalatok energetikusai, a tervező és
energiagazdálkodási szervek dolgozói, továbbá az energetikai és ipari főiskolák hallgatói részére
készült.

208 oldal. Ára fve 20,— Ft

Bunkin:

Gőzturbinaberendezések üzemvitele

A szerző ismerteti a turbinák üzembehelyezésének módját, a gőz jellemzőinek szerepét, a sólerakó-
dások kiöblítését, a kondenzátorok elszennyeződése elleni küzdelmet, továbbá a szivattyúkat és
segédberendezéseket.

382 oldal. Ára fve 36,— Ft

BESZEREZHETŐK:

VALAMENNYI ÁLLAMI KÖNYVESBOLTBAN

SZAKKÖNYVESBOLT:

NEHÉZIPARI KÖNYVESBOLT, VII., Lenin-körút 7.

NEHÉZIPARI KÖNYV- ÉS FOLYÓIRATKIADÓ VÁLLALAT
BUDAPEST, V., NAGY SÁNDOR-UTCA 6.