

# Precíziós csillapításmérés az Országos Mérésügyi Hivatalban

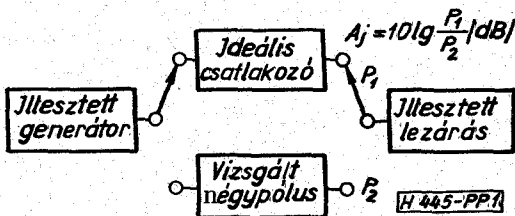
ETO 621.317.341.089.6

A híradástechnika rohamos fejlődése egyúttal az elektromos alaplémennyiségek egyre nagyobb pontosságú mérésének igényével. A nagyfrekvenciás és mikrohullámú mérés technikában alapvető szerepet játszik a négy-pólusok egyik jellemző mennyiségének, a csillapításnak a mérése.

## Csillapítás-fogalmak

A csillapítás általánosan véve teljesítménycsökkenést jelent az átviteli rendszer két pontja között, ami elnyelési (disszipatív) és ütközési (reflexiós) veszteségekre vezethető vissza. A csillapítás tehát teljesítményátvitellel kapcsolatos fogalom, amelyet két azonos jellegű mennyiség, két teljesítmény, két feszültség vagy két áram hányadosának logaritmusaként definiálunk.

A gyakorlatban többféle csillapításfogalom terjedt el a lezárási feltételektől, a mérési frekvenciától függően, megfelelően az egyes szakterületek speciális igényeinek. Tekintettel arra, hogy a négy-pólus egyértelmű, a mérőrendszerrel független jellemzésére csak a két, generátor és detektor-oldali illesztett rendszerben mért jellemző csillapítás alkalmas, az esetek többségében ennek meghatározására törekszünk. A jellemző csillapítás ( $A_j$ ), tehát egyenlő a vizsgált négy-pólus beiktatása előtt ( $P_1$ ) és beiktatása után ( $P_2$ ) a lezárásra jutó teljesítmények decibelben kifejezett arányával, ha kiindulási állapotként ideális csatlakozót — veszteségmentes és fázistolása  $0$  v.  $2\pi$  egész-számú többszöröse — tételezünk fel (1. ábra).



1. ábra. Jellemző csillapítás

A csillapításmérés a híradástechnikában fontos helyet foglal el. A mérések egy része a különböző lezárási feltételek között működő négy-pólusok csillapításával kapcsolatos (erősítők, szűrők, osztók átviteli karakterisztikájának mérése tápvonal elemek, izolátorok, cirkulátorok, kapcsolók, csatlakozók stb. vizsgálata), másrészt számos egyéb jellemző mérése (reflexiós tényező, állóhullámarány, jósági tényező, iránycsatlók irányhatása, csatlakozás stb.) a csillapításmérésre vezethető vissza.

Beérkezett: 1976. I. 24.

## Mérési módszer

A gyakorlatban igen sokféle csillapításmérési módszer ismert. Ezek a módszerek a mérés elvének, a mérési frekvenciának, a dinamikának, konstrukciós szempontoknak stb. tekintetében különböznek egymástól. A mérési módszerek egy lehetséges osztályozása az alábbi:

1. Teljesítménymérés elven alapuló csillapításmérés. A módszer a mérést a csillapítás definíciós összefüggésére vezeti vissza.
2. Helyettesítés elvén alapuló csillapításmérés. Ennél a mérendő csillapítót nagy pontosságú referencia csillapítóval hasonlítjuk össze. A referencia csillapító működési frekvenciájától függően a helyettesítés történhet:
  - egyenáramon (DC)
  - hangfrekvencián (AF),
  - 10 kHz-es szuperheterodin
  - közép frekvencián (KF),
  - mikrohullámon (közvetlen).
3. A négy-pólus reflexiós paramétereinek mérésére visszavezetett csillapításmérési módszer.
4. Önkalibráló csillapításmérési módszer.
5. Egyéb mérési módszerek.

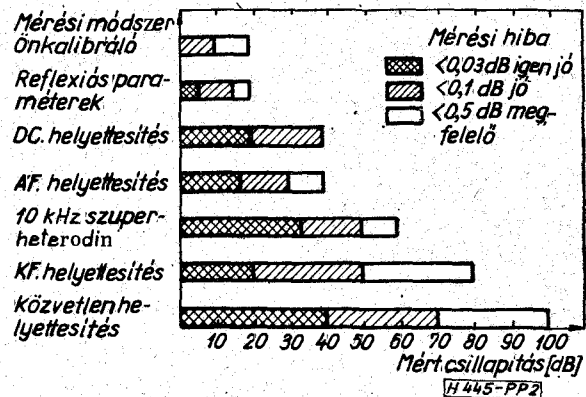
## Mérési pontosság

Érdekes az alapvető csillapításmérési módszerek pontosságát diagramban összefoglalni (2. ábra).

A diagram tájékoztató jellegű, a mérési pontosság adott módszernél természetesen a konkrét mérési körülményektől függ.

A mérési eredmények értékelésénél négy fő hibaforrással kell számolni:

- a mérőkészülék hibája (pl. referencia csillapító hibája),



2. ábra. Alapvető csillapításmérési módszerek pontosságának összehasonlítása

- a frekvencia-transzponálási hibák (keverési, demodulálási linearitás),
- az illesztetlenségi hiba,
- a véletlen hiba.

A fenti hibák közül csupán az első jellemző szigorú ar véve a mérőkészülékre, az illesztetlenségi és a véletlen hibák a vizsgált elem tulajdonságait is magukban foglalják. A linearitási hiba a mérési szint megválasztásán keresztül befolyásolható, sőt korrekcióba vehető. A rendszeres és véletlen eredetű hibakomponensek összegzése — a valószínűségszámítás törvényei szerint — alapvetően négyzetes módszerrel történik, kivéve az álladó előjelű linearitási hibát, amelyet algebrailag kell kezelni.

**Alkalmazások az Országos Mérésügyi Hivatalban**

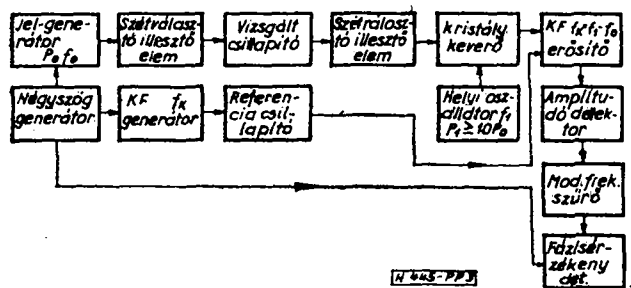
Az Országos Mérésügyi Hivatalban a csillapításmérés nem tekint vissza hosszú múltra. Kezdetben a csillapításmérés az egyenfeszültségű mérésekre korlátozódott. Ennél a méréshez csupán megfelelő stabilitású feszültségforrásra és elegendő pontosságú feszültségmérésre van szükség. Az ilyen módon végzett méréseknél a mérési pontosság a 0–60 dB csillapítástartományban a mért csillapításérték nagyságától függően jobb mint 0,1 dB.

1000 Hz-en a csillapításmérés híd módszerrel történik. Itt a vizsgált csillapítást közvetlenül precíziós aránytranszformátorral hasonlítjuk össze. A kis – 10 dB alatti — értékek mérésénél a pontosság jobb mint 0,03 dB. Nagyobb csillapításoknál a teljesen ki nem küszöbölhető csatolások megnövelik a mérési hibát, ez 40 dB-nél mintegy 0,1 dB.

A nagyfrekvenciás és mikrohullámú méréseknél a fent ismertetett szinte valamennyi módszert alkalmazzuk. Precíziós mérésekhez azonban a helyettesítés elvén alapuló csillapításmérési módszerek a legalkalmasabbak. Ehhez részben készen vásárolt, részben saját fejlesztésű készülékek állnak rendelkezésre.

A D1–1, D1–2, D1–9 típusú szovjet gyártmányú csillapításmérők működése az ún. paralel helyettesítés elvén alapszik (3. ábra).

Ennél a módszernél az ismeretlen csillapítót középfrekvenciás (5–60 MHz) referencia csillapítóval hasonlítjuk össze. A mérőfrekvencia transzponálása a középfrekvenciára keverés útján történik. Referencia csillapítóként, nagy pontossága és számítható csillapítása miatt, szinte kizárólag határfrekvencia alatti csillapító használatos.

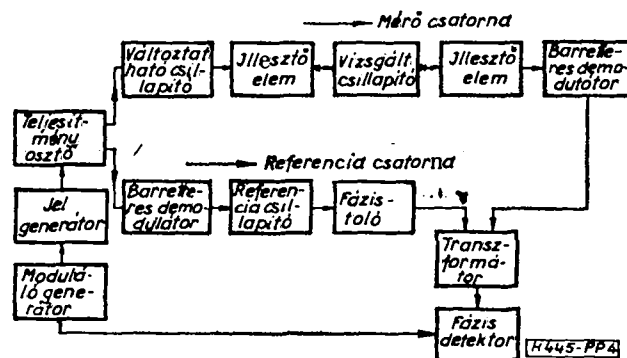


3. ábra. KF helyettesítéses csillapításmérési módszer

A berendezések dinamikája eléri a 70–80 dB-t, a pontosság mintegy 0,02–0,03 dB/10 dB, a felbontás nagyobb mint 0,01 dB. A módszer hátránya, hogy érzékeny a generátorok amplitúdó és frekvencia ingadozására. Ezen hatások kiküszöbölése csak viszonylag összetett segédkészülékek alkalmazásával oldható meg.

A jelenleg ismert csillapításmérési módszerek közül a KF helyettesítés módszere széles frekvencia és csillapítás mérés határával a leguniverzálisabb, ezért talán a legelterjedtebb módszer. Egyes kitértetett frekvenciákon, vagy szűkebb csillapítástartományban más módszerekkel azonban nagyobb pontosság biztosítható.

OMH fejlesztés keretében készült el a hangfrekvenciás helyettesítés elvén alapuló csillapításmérő berendezés. A mérés tömbvázlatát a 4. ábra mutatja.



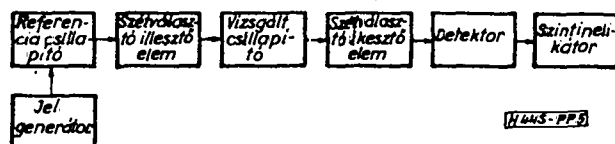
4. ábra. Kétszatornás AF helyettesítéses csillapításmérési módszer

Ennél a módszernél a mérőfrekvencián végzett mérés a nagyfrekvenciás jel demodulálása útján hangfrekvenciás mérésre van visszavezetve, így a mérendő csillapítót hangfrekvenciás etalon csillapítóként használt induktív aránytranszformátorral lehet összehasonlítani. Azon szintek tartományában, ahol a demodulátor lineáris üzemi, és igen nagy mérési pontosság megvalósítása lehetséges.

A kétszatornás megoldás enyhébb követelményeket támaszt a generátor kimeneti szintstabilitással szemben, fázisérzékeny detektor alkalmazása 0,0001 dB-es felbontást biztosít. A berendezés dinamikája 20–30 db, a mérési hiba 10 dB méréséig 0,001 dB nagyságrendben tartható.

A közvetlen helyettesítés elvén alapuló csillapításmérési módszernél a referencia és a vizsgált csillapító azonos frekvencián működik (5. ábra). A módszer legnagyobb előnye az, hogy nincs szükség frekvencia átalakító elem alkalmazására, ami a mérési dinamika jelentős kiterjesztését teszi lehetővé.

Széles frekvenciatartományra precíziós csillapítót készíteni igen nehéz, ezért az adott módszert csupán



5. ábra. Csillapításmérés a közvetlen helyettesítés elvén

diszkrét, a referencia csillapító megszabta frekvenciákon lehet alkalmazni. A mérési dinamika a referencia csillapító átfogásától és a detektor érzékenységtől függően elérheti a 100 dB-t. A pontosságot elsősorban a referencia csillapító hibája szabja meg. Referencia csillapítóként határfrekvencia alatti csillapítót, forgólemezes csillapítót, vagy resistív csillapítót alkalmazunk.

### Mérési eredmények

Az ipari megrendelők számára végzett rendszeres mérésügyi szolgáltatásokon túl a laboratórium tevékenységének lényeges részét képezi a nemzetközi csillapítás-összehasonlító mérésekben való részvétel, amelynek eredményei, az elméleti számítások mellett, szilárd támpontot adnak a kiindulási mértékek pontosságának meghatározásánál. Ilyen összehasonlításokat a közelmúltban egyrészt a KGST-országok, az LNK, NDK, Szovjetunió és a BNK mérésügyi intézeteivel végeztünk a kétoldalú együttműködés keretében [1], másrészt részt vettünk s részt veszünk több, a Nemzetközi Súly és Mértékügyi Hivatal

(BIPM) által szervezett nemzetközi csillapítás-összehasonlító mérésben [2], [3].

A szocialista országokkal végzett összehasonlító mérések eredményei minden esetben jó, a mérési bizonytalanságon belüli egyezést mutattak. Az eredmények értékét csökkenteni azonban az a tény, hogy a mérések valamennyi résztvevője azonos típusú készüléket használt, ami rendszeres hiba lehetőségét rejti magában. Ezenkívül az illesztési feltételek sem voltak egyértelműen tisztázottak, ami nagyobb mérési bizonytalanság megadását tette szükségessé.

1971–72-ben az OMH részt vett a BIPM által szervezett 10 GHz-es és 30 MHz-es nemzetközi csillapítás körösszehasonlító mérésekben. A 20 dB alatti csillapítások mérését AF helyettesítéses, a 20 dB felett pedig KF helyettesítéses módszerrel végeztük. Megállapíthatjuk, hogy a mérési eredmények jó egyezést mutatnak az ismert mérésügyi intézetek által képviselt nemzetközi átlaggal (1. táblázat). Az eltérés, amely 0,001 dB nagyságrendű 3 dB mérésénél és mintegy 0,01 dB 20 dB mérésénél, elsősorban az illesztetlenségi hibára vezethető vissza. Emellett az eredményeket maguk a transzfer etalonok tulajdonságai is befolyásolják a hosszú idejű stabilitáson

1. táblázat

A 10 GHz-es nemzetközi csillapítás körösszehasonlítás eredményeinek összefoglalása

| Név-<br>ért.<br>dB | Tulajdonos<br>Megjelölés | Mérő intézet      |                     |                   |                   |        |                     |                     |                    |                    |
|--------------------|--------------------------|-------------------|---------------------|-------------------|-------------------|--------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
|                    |                          | BIND              | PTB                 | OMH               | IEN               | LCIB   | RRE                 | NRC                 | NSL                | ETL                |
| 3                  | PTB<br>PTB-1             | 3,410<br>± 0,018  | 3,3981<br>± 0,0014  | 3,397<br>± 0,0083 | 3,395<br>± 0,023  | 3,403  | 3,405<br>± 0,0053   | 3,4038<br>± 0,0023  | 3,4031<br>± 0,0044 | 3,404<br>± 0,0059  |
|                    | OMH<br>X 130             | 3,030<br>± 0,062  | 3,0129<br>± 0,0015  | 2,999<br>± 0,010  | 3,013<br>± 0,0061 | 3,0159 | 3,018<br>± 0,0036   | 3,0121<br>± 0,0021  | 3,009<br>± 0,0024  | 3,014<br>± 0,0033  |
|                    | IEN<br>X 752 A           | 2,568<br>± 0,026  | 2,5988<br>± 0,0017  | 2,605<br>± 0,0077 | 2,604<br>± 0,027  | 2,598  | 2,603<br>± 0,0022   | 2,5995<br>± 0,0016  | 2,5900<br>± 0,0020 | 2,599<br>± 0,0069  |
|                    | RRE<br>UK 70/1           | 3,593<br>± 0,079  | 3,5864<br>± 0,0028  | 3,589<br>± 0,0056 | 3,575<br>± 0,023  | 3,589  | 3,5847<br>± 0,0023  | 3,5871<br>± 0,00057 | 3,5853<br>± 0,0032 | 3,587<br>± 0,0036  |
| 20                 | PTB<br>PTB-2             | 20,32<br>± 0,092  | 20,3285<br>± 0,0027 | 20,316<br>± 0,042 | 20,316<br>± 0,099 | 20,314 | 20,334<br>± 0,0079  | 20,3320<br>± 0,0029 | 20,336<br>± 0,0055 | 20,333<br>± 0,0088 |
|                    | OMH<br>X 130             | 20,01<br>± 0,094  | 20,014<br>± 0,0038  | 20,00<br>± 0,058  | 20,025<br>± 0,014 | 20,021 | 20,038<br>± 0,0065  | 20,0160<br>± 0,0039 | 20,009<br>± 0,0044 | 20,025<br>± 0,0083 |
|                    | RRE<br>UK 70/2           | 20,50<br>± 0,11   | 20,4831<br>± 0,0024 | 20,492<br>± 0,012 | 20,477<br>± 0,053 | 20,465 | 20,4895<br>± 0,0043 | 20,4812<br>± 0,0022 | 20,483<br>± 0,0049 | 20,480<br>± 0,0086 |
|                    | NRC<br>X 372 D<br>NRC-3  | 20,571<br>± 0,077 | 20,567<br>± 0,0041  | 20,572<br>± 0,013 | 20,548<br>± 0,053 | 20,59  | 20,572<br>± 0,0064  | 20,5649<br>± 0,0029 | 20,567<br>± 0,0060 | 20,568<br>± 0,010  |
| 40                 | RIND<br>FOA 3 M39790     | 41,01<br>± 0,14   | 40,966<br>± 0,012   | 40,873<br>± 0,083 | 40,925<br>± 0,10  | 40,99  | 40,956<br>± 0,013   | —                   | —                  | —                  |
|                    | RIND<br>FOA 3 M39789     | 40,89<br>± 0,14   | 40,865<br>± 0,012   | 40,807<br>± 0,083 | 40,835<br>± 0,099 | 40,855 | 40,866<br>± 0,012   | 40,8596<br>± 0,0052 | 40,856<br>± 0,0078 | 40,853<br>± 0,012  |
|                    | OMH<br>X 130             | 40,05<br>± 0,12   | 40,010<br>± 0,016   | 39,99<br>± 0,11   | 40,039<br>± 0,091 | 40,054 | 40,094<br>± 0,010   | 40,036<br>± 0,006   | 40,018<br>± 0,009  | 40,070<br>± 0,025  |
| 80                 | ETL<br>ETL 10-1A         | 75,56<br>± 0,65   | 75,28<br>± 0,53     | 75,16<br>± 0,33   | 75,68<br>± 0,22   | 75,24  | 75,643<br>± 0,017   | —                   | —                  | 75,545<br>± 0,035  |
|                    | ETL<br>ETL 10-2A         | 78,89<br>± 0,65   | 78,67<br>± 0,53     | 78,55<br>± 0,31   | 78,62<br>± 0,23   | 78,60  | 78,645<br>± 0,017   | 78,6192<br>± 0,012  | 78,625<br>± 0,013  | 78,616<br>± 0,042  |

Megjegyzés: Több módszer esetén csak a pontosabb mérési eredményt adtuk meg. A megadott mérési bizonytalanság:  $\pm 3\sigma \pm a$ , ahol  $a$  rendszeres hiba a középérték szórás.

A 30 MHz-es nemzetközi csillapítás-körösszehasonlítás eredményeinek összefoglalása

| Osillipító          |            | Mérő intézet      |                   |                   |                     |                    |                    |                  |
|---------------------|------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------------|--------------------|--------------------|------------------|
| Névleges érték (dB) | Típus      | NSL Ausztrália    | ETL Japán         | NBS USA           | NRO Kanada          | NPL Anglia         | OMH Magyarország   |                  |
| 3                   | Wehschel   | No. 010019        | 3,062<br>± 0,002  | 3,064<br>± 0,001  | 3,064<br>± 0,002    | 3,0656<br>± 0,0005 | 3,0648<br>± 0,0005 | 3,067<br>± 0,003 |
| 10                  |            | No. 010002        | 9,905<br>± 0,003  | 9,910<br>± 0,003  | 9,905<br>± 0,004    | 9,9113<br>± 0,0005 | 9,9104<br>± 0,001  | 9,912<br>± 0,005 |
| 10                  |            | No. 010003        | 9,700<br>± 0,003  | 9,702<br>± 0,003  | 9,702<br>± 0,004    | 9,7055<br>± 0,0005 | 9,7002<br>± 0,001  | 9,711<br>± 0,005 |
| 10                  | ETL—030—3π | 10,056<br>± 0,003 | 10,059<br>± 0,003 | 10,058<br>± 0,004 | 10,0612<br>± 0,0005 | 10,0634<br>± 0,001 | 10,063<br>± 0,005  |                  |
| 10                  | ETL—030—4π | 10,049<br>± 0,003 | 10,052<br>± 0,003 | 10,051<br>± 0,004 | 10,0514<br>± 0,0005 | 10,0474<br>± 0,001 | 10,052<br>± 0,005  |                  |

A mérési eredmények és a becült rendszeres hiba dB-ben van megadva.

és a csatlakoztatási reprodukálódáson keresztül. Ebből a szempontból a 10 GHz-es méréseknél a kapcsolók között működő angol (UK) iránycsatlók bizonyultak a legmegfelelőbbnek (6. ábra).

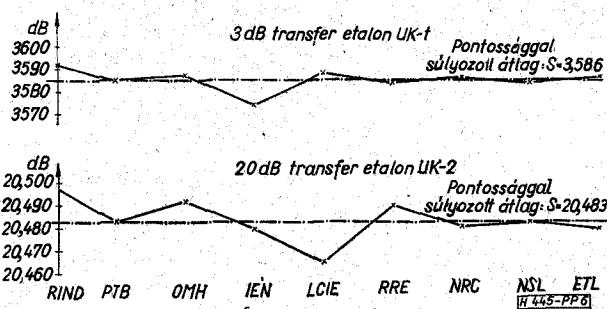
A 30 MHz-es összehasonlításnál a transzfer etalonok fix resistív csillapítók voltak. A vizsgált csillapító mindig azonos elválasztó csillapítók közt nyert elhelyezést az illesztetlenségi hiba kiküszöbölése végett. Sajnálatos módon a mérési ciklus közben az egyik elválasztó csillapító értéke enyhén megváltozott, ami valamennyi további mérésre kihatott (2. táblázat). Ezen túl az N-típusú csatlakozók reprodukálódása nem volt kielégítő. Ezeket a tapasztalatokat figyelembe véve jelenleg új körösszehasonlítás indult 30 MHz-en.

Szintén jelenleg zajlik a kis csillapítások körösszehasonlítása 10 GHz-en. Forgólemezes csillapító 1 dB alatti értékeinek mérésnél  $10^{-4}$  dB-nél jobb felbontást és néhányszor  $10^{-4}$  dB-es reprodukálódást értünk el, beleértve a szerelvények össze- és szétszerelését is. Ilyen módon a mérési hibát  $10^{-3}$  dB-nél kisebbre becsüljük, azt azonban a további eredményeknek kell megerősíteni.

Következtetések

A 20 dB alatti csillapítók nagy pontosságú mérése az AF helyettesítés elvén alapuló csillapításmérő birtokában megoldott. A KF helyettesítéses készülékek nagyobb dinamikájúak, de kisebb pontosságúak. Szükséges tehát a nagyobb csillapítások precíziós mérésére alkalmas módszer kidolgozása. Olyan módszert célszerű választani, amely a csillapításmérést precíziós aránytranszformátorral való összehasonlításra vezeti vissza. Ezeket a szempontokat figyelembe véve az OMH-ban folyamatban van az ún. 10 kHz-es, szuperheterodin elven működő csillapításmérő berendezés fejlesztése (7. ábra).

Itt olyan középfrekvenciás keveréses módszerről van szó, amelynél a középfrekvencia (10 kHz) a hangfrekvenciás tartományba esik. A módszer tehát átmenetet képez a referenciaként aránytranszformátort alkalmazó hangfrekvenciás helyettesítéses

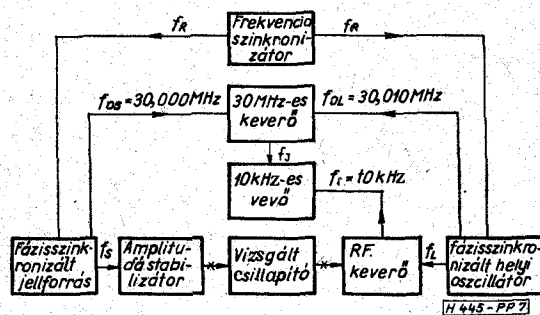


6. ábra. 10 GHz-es nemzetközi csillapítás összehasonlítás eredményei 3 és 20 dB mérésénél

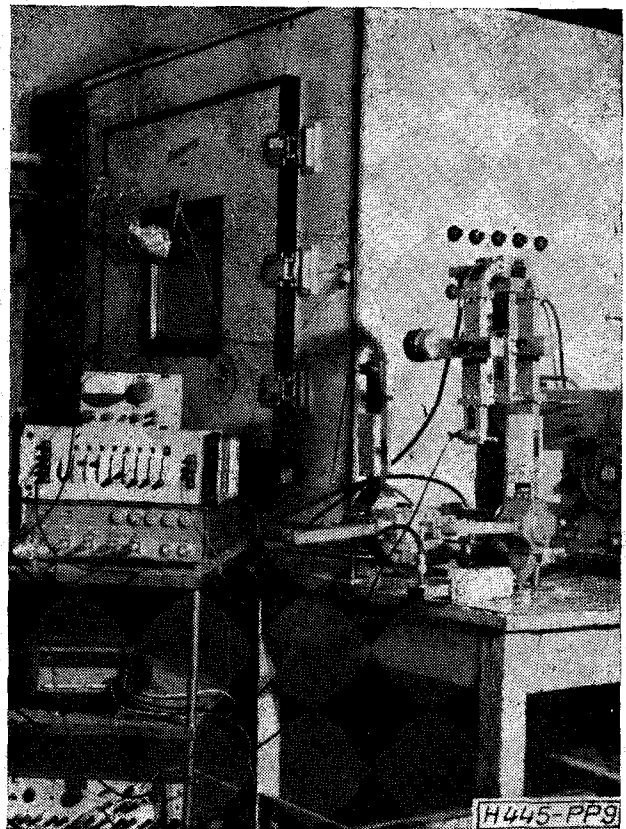
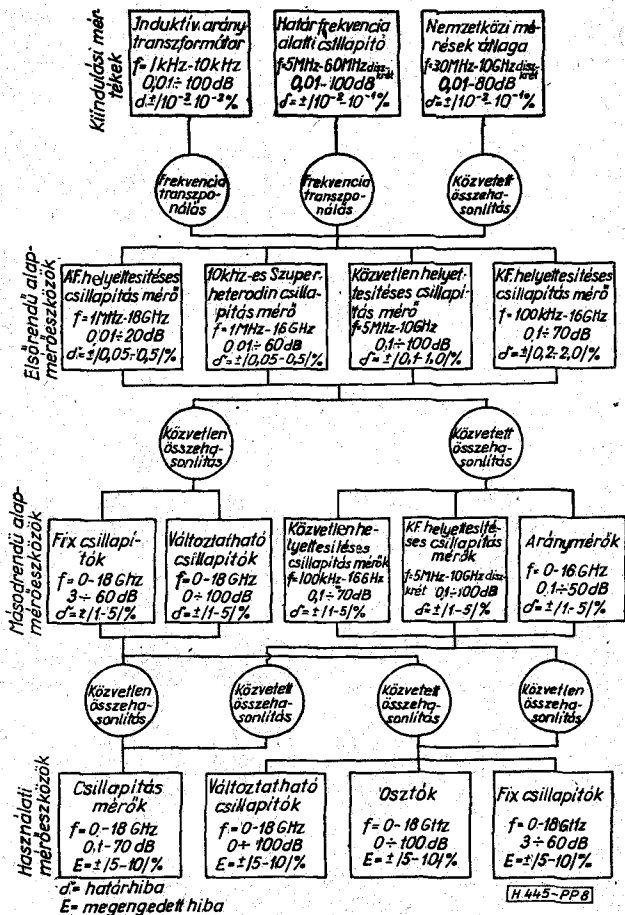
módszer és a frekvencia transzponáló elemként keverőt alkalmazó középfrekvenciás helyettesítéses módszerek között. A módszer egyesíti magában fenti két módszer előnyeit, azaz az előbbi nagy pontosságát és felbontását az utóbbi nagyobb dinamikájával.

A 10 kHz-es keverős csillapításmérő berendezés kidolgozása után a hazai csillapításmérés metrológiai egységességének biztosítására szolgáló leszarmaztatási rendet az alábbi módon képzeljük el (8. ábra).

Végül érdemes megemlíteni azt a további, jelenleg folyó munkát, amely a precíziós koaxiális csatlakozók beiktatási csillapítása reprodukálódásának vizsgálatával kapcsolatos. Ez igen fontos kérdés, hiszen a mérési pontosság növekedése a minden mérési összeállításban lényeges szerepet játszó csatlakozókkal



7. ábra. 10 kHz középfrekvenciájú csillapításmérési módszer



9. ábra. Mikrohullámú ferrites elemek klímavizsgálata AF helyettesítéses csillapításmérési módszerrel

8. ábra. Nagyfrekvenciás és mikrohullámú csillapításmérő eszközök leszármaztatási rendje

szemben is növekvő követelményeket támaszt és a csatlakozók paramétereire vonatkozó irodalmi adatok rendkívül korlátozott mértékben állnak rendelkezésre. A szükséges nagy mérési pontosság — 10<sup>-3</sup> dB-nél kisebb változások kimutatása — és a statisztikai kiértékeléshez szükséges nagyszámú mérés azonban hosszadalmas vizsgálatokat kíván.

I R O D A L O M

[1] Dr. P. Pákay, A. M. Fjodorov: Szovmesztñnje rabotü VNPR SzSzsZR v. oblasztyi elektrocseszkih izmerenyij ná vüszokih csasztoth. Izmerityelnaja Tehnika 1974. No. 6. szt. 36—37

[2] Gergely A., dr. Pákay P., Török A.: Nemzetközi csillapítás-körösszehasonlítás 10 GHz-en. Mérés és Automatika. 1974. 2. sz. 47—52 old.

[3] Dr. P. Pákay: High Precision Measurement of Low Attenuation. INSYMET '74 International Symposium on Metrology. Pozsony 1974. pp 285—297