

Általános paraméterű LC szűrőket tervező program

ETO: 621.372.54.001.2: 681.3.06

Napjainkban a hullámparaméteres szűrőtervezési módszer jelentősége egyre csökken. Azok közül azonban, akik üzemi paraméteres szűrőket terveznek, kevesen vállalkoznak a nagy mennyiségű és nagy pontosságú számítás elvégzésére. Ezért a tervezés főként katalógusok segítségével történik. Ez azt jelenti, hogy a sávszűrőket aluláteresztőből kell transzformálni, a zárórészre csak egy csillapításminimumot lehet előírni és végül a veszteségeket gyakorlatilag teljesen figyelmen kívül kell hagyni.

A megoldást természetesen csak számítógép alkalmazása adhatja. A Híradástechnika által dr. Géher Károly összeállítása alapján évente közölt programkatalógusok tanúsága szerint nálunk Uzsoky Miklós, Novák János és Radvány Jenő [1] készítettek nagyobb lélegzetű szűrőtervező programokat és sok speciális program is készült. Az említettek azonban részben csak a tervezés egyes fázisait végzik el, részben a felhasználó számára kényelmetlen megkötésekkel tartalmazzák.

Mindezeket tekintetbevéve indokoltnak látszott egy nagymértékben felhasználó-orientált program kidolgozása, amely a szűrőtervezési feladat minden fázisának elvégzésére képes. A fejlesztés a Műszeripari Kutató Intézetben történt, az anyagi lehetőségeket a KGM 9/1 „Számítógépek alkalmazása” c. célprogram keretében a KGM Ipargazdasági, Szervezési és Számítástechnikai Intézet biztosította.

1. A GEPARD programrendszer

A rendszer tervezésekor a fő célkitűzések a következők voltak:

- A program legyen alkalmas veszteségmentes és veszteséges aluláteresztők és sávszűrők tervezésére egyenletes közelítésű áteresztőrész és lépcsős toleranciasémával megadott zárórész(ek) esetén (általános paraméterű szűrők);
- legyen olyan mértékben felhasználó-orientált, hogy nem specialisták is könnyen alkalmazhassák;
- ugyanakkor gyakorlott tervező is használhassa különleges feladatainak megoldására, tehát tegye lehetővé a standard eljárásoktól való eltérést;
- felépítése könnyítse meg a tervezési lehetőségek kibővítését.

A GEPARD (GEneral PARAMeter filter Design) programrendszer ezeket a feltételeket kielégíti. A rendszer a GIER számítógépen három programból áll, melyek bármelyike önállóan, a többitől függetlenül is használható, de összekapcsolódó rendszert alkotnak.

A GESA program a zárórész közelítését végzi, az UNPA program a szűrő realizálásához szükséges polinomokat számítja, az ALIZ program pedig a kapcsolás és a kapcsolási elemek meghatározását végzi.

2. A számítási módszer

Darlington 1939-ben megjelent alapvető munkájában az üzemi paraméteres szűrők tervezési képleteit a p komplex frekvenciaváltozó függvényében adta meg. Ezzel a változóval azonban a számítás folyamán a pontosságvesztés olyan mérvű, hogy az asztali számológépek és a számítógépek szokásos 7...10 jegyű számaival dolgozva csak alacsony fokszámú szűrők tervezhetők. Szentirmai, Bingham, Temes és Skwirzynski munkái [2, 3, 4, 5, 6] nyomán egy frekvenciátranszformációs módszer alakult ki, amely ugyanannyi jegyre számolva pontosabb eredményt ad, mint a p változóval végzett számítás.

A GEPARD programrendszer mindhárom programja a

$$z^2 = \frac{p^2 + \omega_2^2}{p^2 + \omega_1^2}, \quad \omega_2 > \omega_1, \quad \operatorname{Re} z \geq 0$$

transzformációt alkalmazza, amelyben ω_1 és ω_2 az átteresztőrész határfrekvenciái. Ez a transzformáció széthúzza a határfrekvenciák környezetét — ahol a karakterisztikus és az átviteli függvény zérusai és közös pólusai sűrűsödnek —, ennek következménye az, hogy a számítások numerikus tulajdonságai kedvezőek.

A GESA program a csillapításokat a különböző szerzők által javasolt, de gépi számításokra kedvezőtlen sabloneljárás helyett az

$$a = \frac{1}{2} \ln \left[1 + \frac{k^2}{4} \left(\prod_{i=1}^n \sqrt{\frac{z_i + z}{z_i - z}} + \prod_{i=1}^n \sqrt{\frac{z_i - z}{z_i + z}} \right)^2 \right]$$

képlettel számítja, ahol $k = \sqrt{e^{2a_p} - 1}$, a_p az átteresztőrészben megengedett csillapításingadozás, n a szűrő fokszáma, a z_i -k pedig a csillapítás-pólusok frekvenciái a z változóban kifejezve.

Induláskor a program a bemenő adatokból megbecsli a véges, nemzérus frekvenciájú csillapítás-pó-

lusok szükséges számát és helyét, majd iterációs számításal addig finomítja a pólusok helyét (szükség esetén számukat is növelve), amíg mindkét zárótartományban a számított csillapításkarakterisztika és az előírt lépcsős toleranciaséma közötti különbség, a csillapítástartalék minimuma maximális és pozitív lesz. Ez csebisevi közelítést jelent. A számítási módszer részletes leírását [7] tartalmazza.

Az UNPA program először a csillapításpólusok segítségével előállítja a karakterisztikus és az átviteli függvény z -változós alakját. Ha veszteséges számítás van előírva, meghatározza az előtorzított átviteli függvényt, majd ebből az előtorzított karakterisztikus függvényt is. Ezekkel négy olyan polinomot állít elő, melyek nagyjából a tervezendő szűrő láncmátrixa számláló polinomjainak felelnek meg.

Ez a program tulajdonképpen egy sor eljárást tartalmaz, melyek adatszलगról hívhatók és egy egységes adatszerzéken végeznek műveleteket. Az általános paraméterű szűrők tervezéséhez szükséges eljárás-hívásokat azonban — minthogy ezek a leggyakrabban használtak — a program beépítve is tartalmazza, úgyhogy ez a programrész az adatszलग egyetlen szavának hatására hajtódik végre. Emellett az eljárások megfelelő paraméterekkel való hívása útján más jellegű, pl. max. lapos szűrőket is tervezhetünk [8] és újabb eljárások beépítése útján a tervezési lehetőségek tovább bővíthetők.

Az ALIZ program a csillapításpólusok és az említett négy polinom alapján a realizálást végzi. A tervező itt is két lehetőség közül választhat.

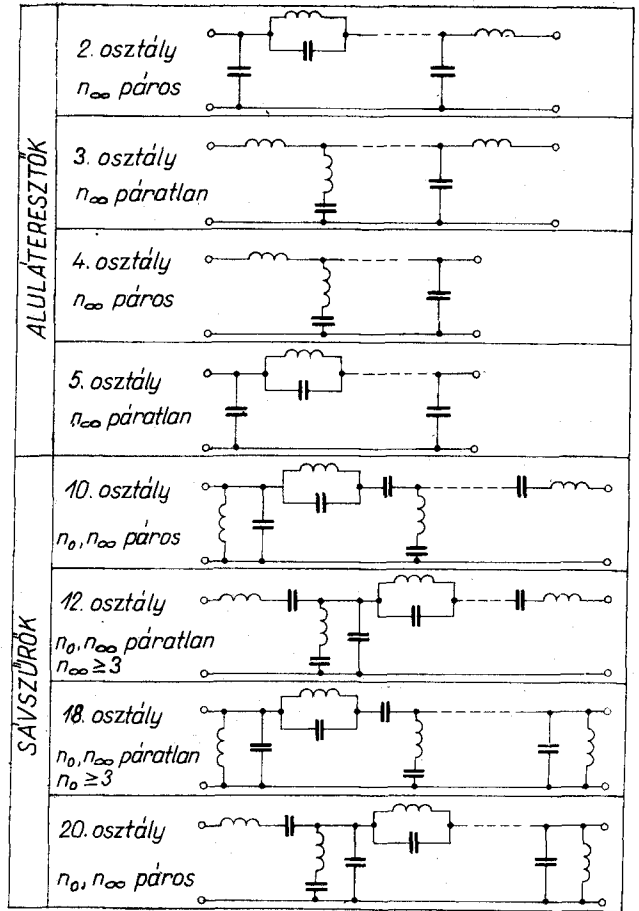
Egyik esetben csak a szűrőosztályt kell előírnia a Skwirzynski-féle beosztás szerint [6]. Ekkor a program meghatározza a szűrő kapcsolását úgy, hogy a primer és szekunder oldalról való realizálás azonos kapcsolásra vezessen, majd mindkét oldalról elvégzi a realizálást. Ezután kiszámítja a szekunder oldali lezáró ellenállást.

Az automatikusan realizálható szűrőosztályok jellegzetes kapcsolásai az 1. ábrán láthatók. Sávszűrők realizálása minimális számú önindukcióval történik, ha a zérus és végtelen frekvenciákon előírt csillapításpólusok száma ezt megengedi. A csillapításpólusok megvalósításának sorrendje előírható. Ennek hiányában a program a sorrendet úgy állapítja meg, hogy a legnagyobb valószínűséggel realizálható kapcsolás adódjék.

A másik esetben a felhasználónak kell előírnia a szűrő lebontási módját és a csillapításpólusok megvalósítási sorrendjét. Ekkor reá hárul a szekunder oldali lezáró ellenállás meghatározása is. Ez a lehetőség a tervező kezében sokféle módon alkalmazható, de több előtanulmány szükséges hozzá.

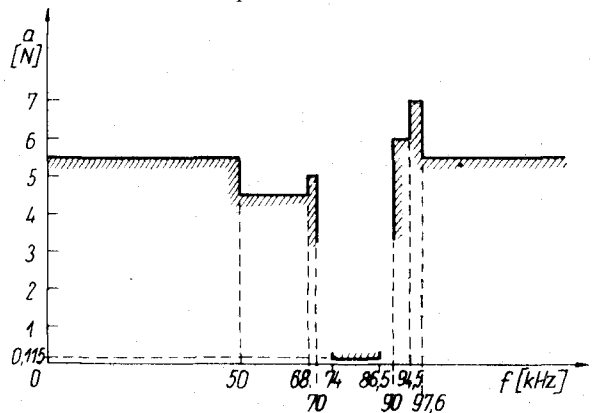
3. Az adatok megadása

A bemenő adatok redundanciája minimális és a szokásos általános paraméterű szűrők számára néhány sorban leírható. A 2. ábrán látható toleranciasémával előírt csillapításkarakterisztikájú szűrő 10. osztályú megvalósításához például a következő adat-



H155-HM1

1. ábra. Az automatikusan realizálható szűrőosztályok jellegzetes kapcsolásai. n_0 ill. n_∞ a 0, ill. ∞ frekvencián levő csillapításpólusok száma



H155-HM2

2. ábra. Egy sávszűrő csillapításkövetkezményeinek előírása lépcsős toleranciasémával

szलग szükséges:

```
GEPARD E35 ANTIMETRIC BANDPASS <
CUTOFF (74000, 86500) READAP(0.115)NZN1(2,2)
TOLLOW(70000, 5, 68000, 4.5, 50000, 5.5)
TOLUPP (90000, 6, 94500, 7, 97600, 5.5)
TANDEL(0.0033)
RUNPA POLYS
REALIZ CLASS(10) PRINT DENORM(2000)
PRINT STOP <<
STOP
```

A GEPARD szó az adatszalog azonosítására szolgál; mindegyik program ellenőrzi, hogy a számára készült adatszalogot olvasta-e. Utána a cím következik, amely minden eredménylapon megjelenik. A CUT-OFF szó után a határfrekvenciák, READAP után az áteresztőrészben előírt csillapításgadozás, NZNI után a zérus, ill. végtelen frekvencián levő csillapításpólusok száma áll. A TOLLOW, ill. TOLUPP szó után a toleranciaséma szakadási pontjainak frekvencia-csillapítás számpárjai sorakoznak, az alsó zárórészben csökkenő, a felsőben növekvő frekvenciák szerinti sorrendben. Az utolsó csillapításértékek zérus, ill. végtelen frekvenciáig érvényesek. A csillapításértékek mindenütt Neper-ben értendők. TANDEL után az előírt veszteségi tényező következik.

A RUNPA szót az UNPA program adatai követik; itt csak a POLYS szó áll. Hatására a program a realizáláshoz szükséges polinomokat állítja elő.

A REALIZ szó után következnek a realizáláshoz szükséges adatok. CLASS(I0) a szűrőosztályt írja elő, az első PRINT a normalizált, a második a denormalizált kapcsolási elemek nyomtatását írja elő. Közöttük a 2000 Ω-os primer oldali lezáró ellenállásra való denormalizálás utasítása áll.

A rendszer programjai az adatszalogot erős ellenőrzésnek vetik alá, hiba esetén olyan jelzést adnak, amelyből a hiba oka könnyen kideríthető.

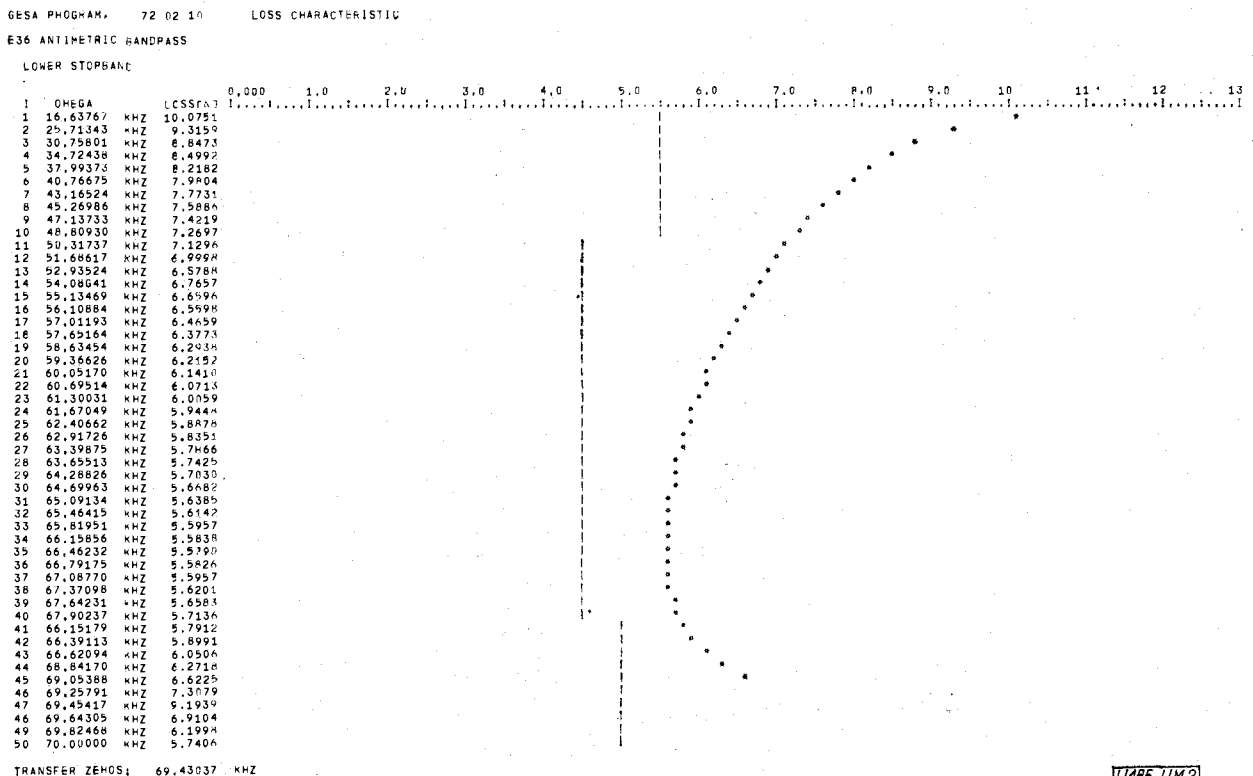
Az UNPA program sokoldalúságát kihasználva, más szűrőtípusok tervezése is lehetséges. Így tervezünk max. lapos aluláteresztőt, sávszűrőt [8], parametrikus [3] és más különleges szűrőket.

4. Kimenő adatok

A GESA program a tervezendő szűrő mindegyik zárórészére egy-egy csillapításgörbét nyomtat a sornymotatón. Ezek a lapok a toleranciasémát és a szükséges csillapításpólusok frekvenciáit is tartalmazzák. Az UNPA program eredménylapján a realizáláshoz szükséges polinomok jelennek meg. Részeredmények kinyomtatása is előírható. Az ALIZ program dokumentáció jellegű eredménylapokat nyomtat: megtalálhatók rajtuk a főbb bemenő adatok és a szűrő kapcsolási rajza a kapcsolási elemek relatív, illetve denormalizált, dimenziós értékeivel. A feladatnak a felhasználó által adott címe és a számítás napjának kelte minden eredménylapon szerepel.

A 3. pontban bemutatott adatokkal specifikált szűrő zárórészei közelítésének eredményei a 3. és 4. ábrán láthatók. A frekvenciaskálák a z változóban lineárisak, ezért az f változóban a határfrekvenciák környezete erősen szét van húzva.

A tervezés végső eredménylapját az 5. ábra mutatja. Az itt kiírt Q érték ebben az esetben eltér attól, amelyet az adatszalagon a veszteségi tényezővel előírtunk. Ennek az az oka, hogy az UNPA program alapállapotban csak akkora előtorzítást enged meg, amellyel az átviteli tényező képzetes tengelyhez legközelebbi zéruspárjának valós része legfeljebb a felére csökken. Ez a feltétel — amely adatszalagról könnyen megváltoztatható — itt nem teljesült. A korlát beépítése biztonsági intézkedés a túlságosan nagy előtorzítás hátrányos következményei megelőzésére.

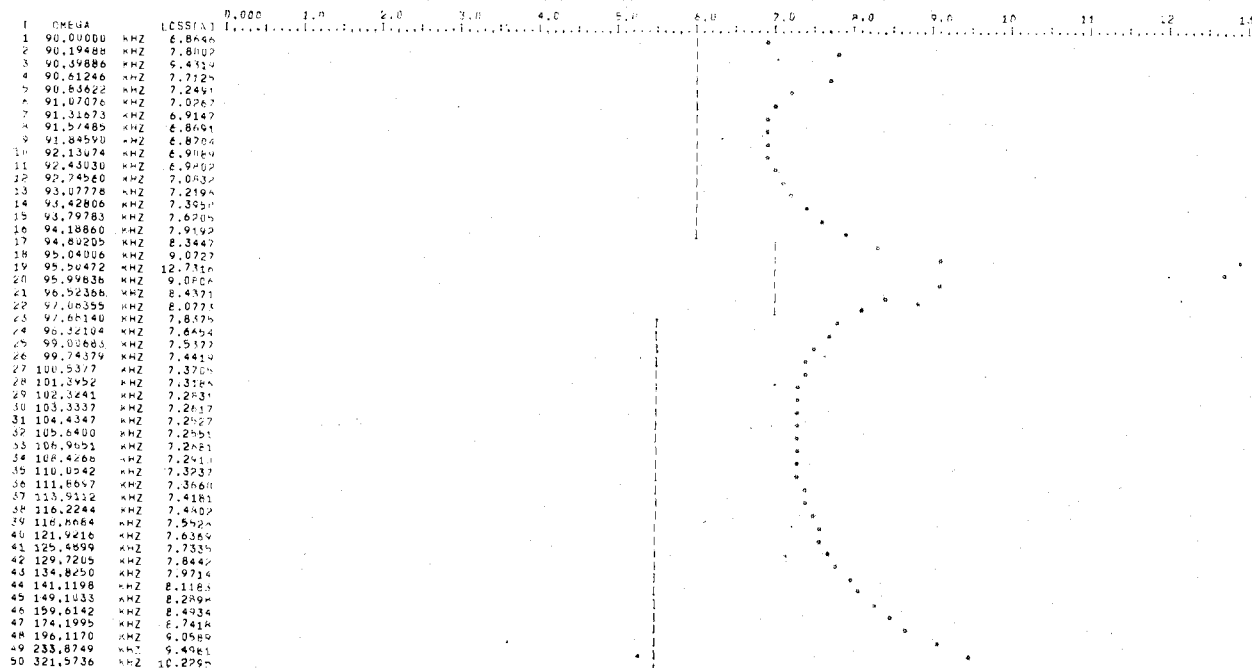


3. ábra. A közelítés eredménye, alsó zárórész

EE54 PROGRAM, 72 02 17 LCSS CHARACTERISTIC

E35 ANTIHETRIC BANDPASS

UPPER STOPBAND



TRANSFER ZEROES: 90.36971 KHZ 95.49238 KHZ

H455-HM4

4. ábra. A közelítés eredménye, felső zárórész

ALF PROGRAM, 72 02 10

E35 ANTIHETRIC BANDPASS

LOWBR CUTOFF FREQUENCY 74.00000 KHZ
 UPPER CUTOFF FREQUENCY 86.90000 KHZ
 PASS BAND RIPPLE 0.115 000 000 N
 NUMBER OF POLES
 AT ZERO FREQUENCY 2
 IN THE LOWER STOPBAND 1
 IN THE UPPER STOPBAND 2
 AT INFINITE FREQUENCY 2
 AVERAGE Q 584.739

RESULT OF THE SYNTHESIS, CLASS 10

C---R---O	2.000000	KH	
---L---	43.22331	LH	
---C---	86.03947	NF	

L C	115.2172	LH	26.92551 NF

C	6.203488	NF	
---L-C---	475.7174	LH	11.04568 NF

---C---	35.35158	NF	

L C	260.0120	LH	10.68340 NF

C	4.490135	NF	

---C---	103.3034	NF	

L	36.94317	LH	
O---R---O	2.051528	O	

THE EXTREME RELATIVE DEVIATIONS OF THE SECONDARY TERMINATION: 0.000 011 434 AND -0.000 008 306

H455-HM5

A szekunder oldali lezáró ellenállás a primer oldalnak kb. ezred részére adódott, de Norton-transzformációk segítségével szinte tetszés szerinti értékre is beállítható egy, esetleg két további kondenzátor felhasználásával.

A 6. és 7. ábra az ALF programmal [9] való ellenőrzés eredménye. A 6. ábra az áteresztőrész csillapítását mutatja arra az esetre, amikor a szűrő minden kapcsolási elemének 385 a jósági tényezője. A 7. ábra három eredménylappól van összeállítva. A frekvenciák ugyanazok, mint a 6. ábrán, az egyes görbék pedig az áteresztőrész csillapítását mutatják veszteségmentes kondenzátorok, valamint 154, 192 és 231 tekeréscsillapítások mellett.

5. Számítási idők

A zárórész közelítéséhez szükséges idő általában 2 perccel belül van még 16-od fokú szűrőnél is. Mind a polinomok, mind a kapcsolás meghatározása 8. . . 10. fokú szűrőknél 1. . . 2 perc nagyságrendű.

6. Szolgáltatás

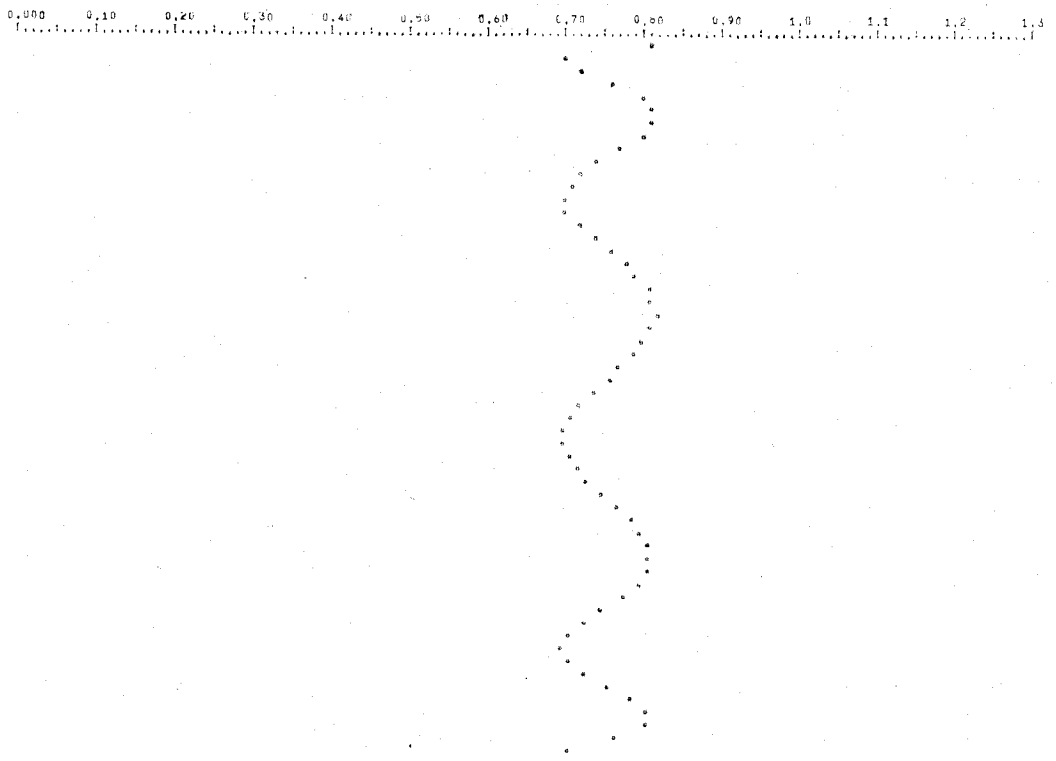
A programokat a Műszeripari Kutató Intézet gondozza és lehetővé teszi külső felhasználók feladatainak futtatását is.

5. ábra. Eredménylap dimenziós kapcsolási elemekkel

ALF PROGRAM, 72 02 11

ESB ANTIMETRIC BANDPASS LOSS CHARACTERISTIC

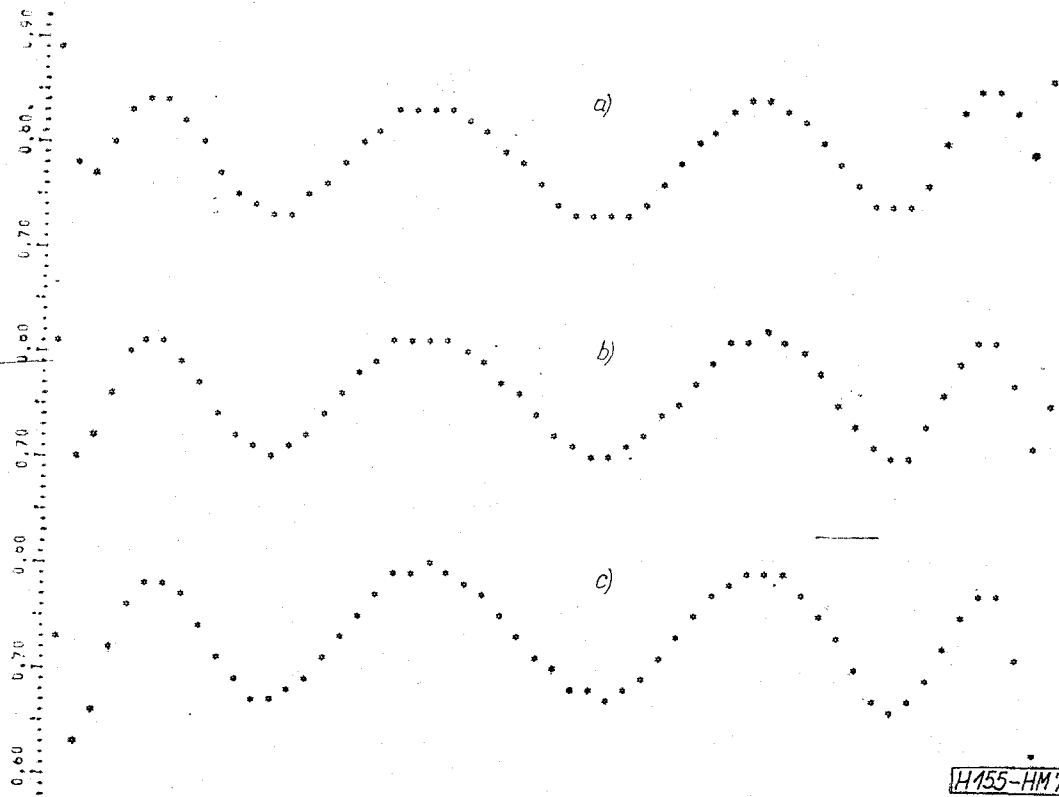
f	x	
1	1.0000	0,8146
2	1.0030	0,7945
3	1.0060	0,7196
4	1.0090	0,7612
5	1.0120	0,7975
6	1.0150	0,8138
7	1.0180	0,8114
8	1.0210	0,7950
9	1.0240	0,7707
10	1.0270	0,7442
11	1.0300	0,7211
12	1.0330	0,7056
13	1.0360	0,7001
14	1.0390	0,7045
15	1.0420	0,7173
16	1.0450	0,7354
17	1.0480	0,7552
18	1.0510	0,7755
19	1.0540	0,7926
20	1.0570	0,8054
21	1.0600	0,8130
22	1.0630	0,8151
23	1.0660	0,8117
24	1.0690	0,8031
25	1.0720	0,7902
26	1.0750	0,7740
27	1.0780	0,7560
28	1.0810	0,7372
29	1.0840	0,7214
30	1.0870	0,7087
31	1.0900	0,7014
32	1.0930	0,7002
33	1.0960	0,7065
34	1.0990	0,7162
35	1.1020	0,7347
36	1.1050	0,7537
37	1.1080	0,7731
38	1.1110	0,7906
39	1.1140	0,8044
40	1.1170	0,8129
41	1.1200	0,8142
42	1.1230	0,8092
43	1.1260	0,7971
44	1.1290	0,7782
45	1.1320	0,7542
46	1.1350	0,7304
47	1.1380	0,7102
48	1.1410	0,7001
49	1.1440	0,7050
50	1.1470	0,7258
51	1.1500	0,7578
52	1.1530	0,7911
53	1.1560	0,8124
54	1.1590	0,8086
55	1.1620	0,7877
56	1.1650	0,7672
57	1.1680	0,7472
58	1.1710	1,0682



H455-HM6

Számjártéchnikai és Ugyvitelszervező Vállalat - III.

6. ábra. Az áteresztőrész csillapításkarakterisztikája egyenletes veszteségeloszlás esetén



H455-HM7

7. ábra. Az áteresztőrész csillapításkarakterisztikája veszteségmentes kondenzátorok, valamint a) 154-es, b) 192-es és c) 231-es tekercsjsóságok mellett

I R O D A L O M

- [1] *Radvány Jenő*: Számítógép-program aluláteresztő és sáv-szűrő üzemi paraméteres méretezésére. *Híradástechnika*, XXI. évf., 3. sz. 93—95. old.
- [2] *G. Szentirmai*: Theoretical basis of a digital computer program package for filter synthesis. First Allerton Conf. on Circuit and System Theory, Nov. 15—17, 1963.
- [3] *G. Szentirmai*: A filter synthesis program. F. F. Kuo, J. F. Kaiser: System analysis by digital computer. Wiley, New York, 1966. 5. fejezete.
- [4] *J. A. C. Bingham*: A new method of solving the accuracy problem in filter design. *IEEE Trans., CT—11*, Sept. 1964, pp. 327—341.
- [5] *G. C. Temes*: Filter design in transformed frequency variable. F. F. Kuo, W. G. Magnuson: Computer oriented circuit design. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1969. 6. fejezete.
- [6] *J. K. Skwirzynski*: On synthesis of filters. *IEEE Trans., CT—18*, Jan. 1971, pp. 152—163.
- [7] *Dr. Herendi Miklós*: Általános paraméterű szűrők zárórészének közelítése. Tanulmány, Műszeripari Kutató Intézet, 1971. december.
- [8] *Dr. Herendi Miklós*: Létrakapcsolású veszteséges LC szűrők tervezése. Tanulmány, Műszeripari Kutató Intézet, 1971, december.
- [9] *Dr. Herendi Miklós*: Létrakapcsolású szűrők analízise. Tanulmány, Műszeripari Kutató Intézet, 1970. szeptember.
-