

Akusztikus felületi hullámszűrő- struktúrák vizsgálata

ETO: 634.28:621.372.643.2

Mint ismeretes az integrált áramköri technikában induktivitás előállítására — a technológiai sajátságok folytán — csak igen ritkán kerülhet sor. Következésképpen az egyes áramkörökhöz szükséges szűrő és késleltető elemeket vagy aktív áramkörökkel valószínű meg, vagy kívülről csatlakoztatják. Az akusztikus felületi hullámok (AFH) gerjesztési és terjedési tulajdonságainak felhasználása új lehetőségeket nyitott meg az integrálható szűrők, késleltető vonalak, és más funkcionális eszközök megvalósítása terén [1, 2].

A felületi hullámok ún. inhomogén síkhullámok. Amplitúdójuk a terjedési felület közelében maximális és exponenciálisan csökken a test belseje felé mutató irányban [3].

Az AFH eszközök alapanyagaként főleg piezoelektromos anyagok jöhetnek számításba, mert ezeken a legegyszerűbb a felületi hullámok gerjesztése az ún. interdigitális (ID) átalakítók segítségével.

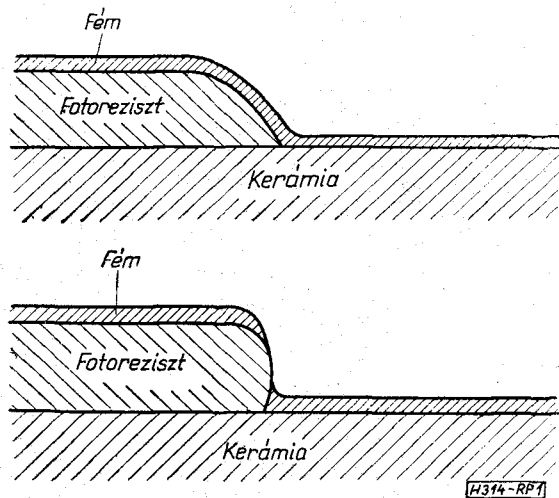
Jelen dolgozat piezokerámiákon kialakított AFH sávszűrő struktúrák impedancia-viszonyainak és átviteli tulajdonságainak kísérleti vizsgálatával foglalkozik. Nem térünk ki részletesen az AFH eszközök általános ismertetésére, mert az a kiterjedt nemzetközi irodalmon [4] kívül ezen folyóiratban is ismertetésre került [5]. Tekintettel a minta készítmény technológiai fontosságára a kísérleti eredmények ismertetése előtt összefoglaljuk annak főbb lépéseit.

1. Szűrőstruktúrák készítmény technológiája

Az eszközök alapanyaga a FIM Kőbányai Porcelángyár által előállított piezoelektromos ólomcirkónát-titanát (PZT) kerámia. Az ID fémelektrodákat polírozott kerámiafelületre kell felvinni. Ehhez a szokásos fotolitográfias technikát kívántuk alkalmazni.

A fémelektrodák marással történő kialakítása a porusos kerámia felületen nem lehetséges a félvezető technikában szokásos módon. Fotolakkos fedésnél és kémiai marásnál ugyanis, a marószerszám a kerámia kapillárisaiba felszívódva, a fedett részeket belülről megtámadja. Ezért a fordított módszert alkalmaztuk. A felületen megfelelő maszk segítségével fotoreziszt-lakkból kialakítottuk a kívánt ábra negatívját. Ezután fémeztünk, majd a lakkot oldószerével eltávolítva megkaptuk az elektródarendszert.

Ahhoz, hogy kis méreteknél (magasabb frekvenciákon működő eszközök) is megfelelő minőségű rajzolatot nyerjünk, az eljárás részleteit is megfelelően kellett módosítani. Így olyan fotoreziszt-lakkot alkalmaztunk, amelynek nedvesítési szöge nagy a kerámia felületén. Ekkor a kialakított „lépcső” mentén a kioldáskor felszakadó fémréteg egyenes, határozott vonalat képez — 1. ábra. Erre igen alkalmasak a Shipley-cég pozitív fotolakkjai: az 1350 és az 1350 H. Szükséges továbbá, hogy a fémréteg vastagsága lényegesen kisebb legyen, mint a fotolakké. A fotolakk maximális vastagságát — annak fényabszorpciója



1. ábra. A nedvesítési szög hatásának szemléltetése

miatt — a megvilágító fényforrás korlátozza. UV megvilágításnál a vastagság kb. 5 μm . Kedvező esetben a fémréteg nem vastagabb, mint ennek 10%-a. Ezért elektromosan jól vezető fémet kellett választani, hogy a réteg ohmos ellenállása (az átalakító soros ellenállása) ne legyen jelentékeny — alumíniumot alkalmaztunk. Az Al-réteg alá krómot párologtatunk a kerámia- és fémkötés javítására. Ez az alumíniumréteg mechanikai sajátosságát kedvezően befolyásolta. A réteg ridegebb lett, ami az alkalmazott technológia szempontjából előnyös. A kerámia-szemcsék közötti üregek áthidalása így vált lehetségessé.

Jelenleg a méretek csökkentésének a kerámia porozítása szab határt. Ettől eltekintve ez a módszer alkalmas a szokásos fotoreziszt technikával elérhető legkisebb méretek (2–3 μm) előállítására, tehát néhány 100 MHz-es átalakítók készítésére.

Beérkezett: 1974. VI. 4.

* Készült a 7211/3 sz. MFI—OMFB—FIM Kőbányai Porcelángyár szerződés keretében. A „Mikroelektronikai Alkatrész Ankét”-on 1973. október 23-án elhangzott előadás bővített anyaga.

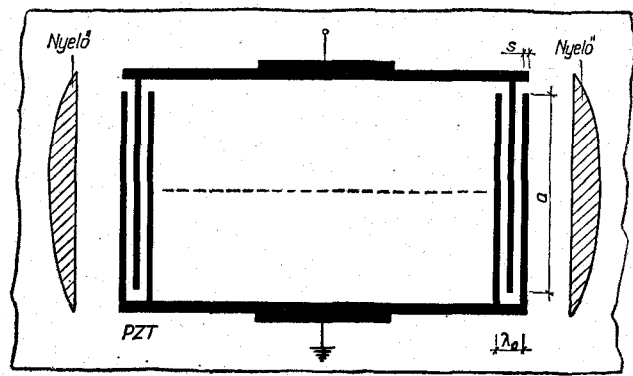
2. Interdigitális átalakító bemeneti admittanciájának vizsgálata

Az ID átalakítók elektromos bemeneti admittanciáját először Smith és munkatársai [6] határozták meg. Számításukban az ID átalakítót hatpólusnak tekintették, amelynek egy elektromos és két akusztikus kapuja van. Az admittanciát arra az esetre számították ki, amikor az akusztikus kapuk hullámellenállással vannak lezárva (pl. elnyelőközeg az akusztikus kapukon). Ennek a speciális esetnek a vizsgálata döntő fontosságú a szűrőrendszerek tulajdonságainak megismerésében.

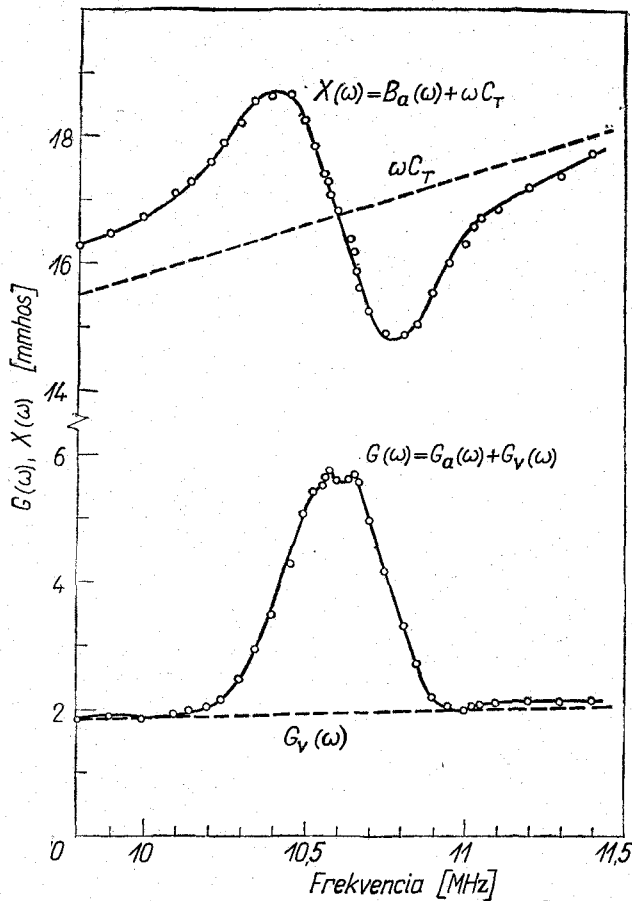
Az ID rendszer működésének általános matematikai tárgyalása túlságosan bonyolult. A gyakorlati esetek többségében lehetőség van két közelítő modell alkalmazására. Az ún. keresztirányú tér (crossed field) modell esetén az akusztikus hullám energiája jó közelítéssel a felületre merőleges elektromos térkomponenshez kapcsolódik. A vonalirány (in-line) modellnél viszont az energia a felülettel párhuzamos térhez csatolódik [6].

A terjedési felületre merőlegesen polarizált PZT kerámiákra a keresztirányú térmodell érvényes. Erről kísérletileg is meggyőződünk. A rezonanciafrekvencián mért sugárzási admittancia valós részét, a (6) összefüggésnek megfelelően, arányosnak találtuk az ID periódusok számának (N) négyzetével.

Feladatul tűztük ki, a PZT anyagon létrehozott ID átalakító admittanciájának kísérleti meghatározását és az elmélettel történő egybevetését. A PZT kerámiákon kialakítható AFH eszközök közepes frekvenciája, az anyag fizikai sajátosságai következtében, a néhány MHz és néhányszor 10 MHz intervallumra korlátozódik. Az FM rádióvevő-készülékek közep-frekvenciás szűrőinek modellezése céljából a vizsgált szűrőstruktúrák közepes frekvenciáját a 10,7 MHz környékén választottuk meg. Az elektródarendszert és annak geometriai méreteit a 2. ábra ismerteti. A bemeneti admittancia frekvenciafüggését nagyfrekvenciás hiddal mértük. A komplex admittanciát valós és képzetes részre bontva a 3. ábra szemlélteti. Az elmélet [6] és a kísérlet összevetése céljából a valós és képzetes részeket az ekvivalens áramköri modellnek — 4. ábra — megfelelően tovább részletezzük.



2. ábra. Homogén interdigitális átalakító. $\lambda_0 = 190 \mu\text{m}$, $s = 30 \mu\text{m}$, $a = 2,6 \text{ mm}$, $N = 28$



3. ábra. A bemeneti admittancia frekvenciafüggése

A bemeneti admittancia két részből tevődik össze:
1. akusztikus sugárzási admittancia;

$$Y_1 = G_a(\omega) + jB_a(\omega) \quad (1)$$

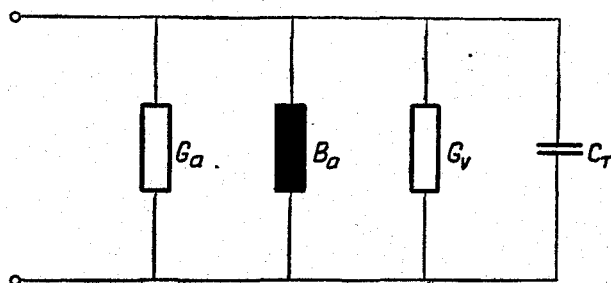
2. az átalakító veszteséges kapacitásának admittanciája;

$$Y_2 = G_v(\omega) + j\omega C_T \quad (2)$$

Alkalmazott jelölések;

$$G_a = \hat{G}_a \left(\frac{\sin x}{x} \right)^2 \quad (3)$$

$$B_a = \hat{G}_a \frac{\sin 2x - 2x}{2x^2} \quad (4)$$



4. ábra. Az ID átalakító elektromos helyettesítő képe

$$x = N\pi \frac{\omega - \omega_0}{\omega_0} \quad (5)$$

$$\hat{G}_a = G_a(\omega = \omega_0) = \frac{4}{\pi} K^2 \omega_0 C_s N^2 \quad (6)$$

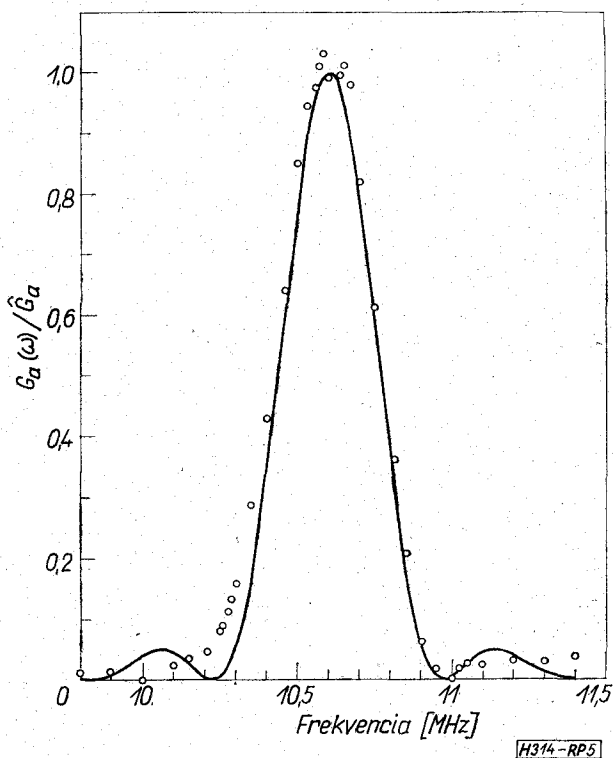
$$C_T = NC \quad (7)$$

$$\omega_0 = 2\pi \frac{v}{\lambda_0} \quad (8)$$

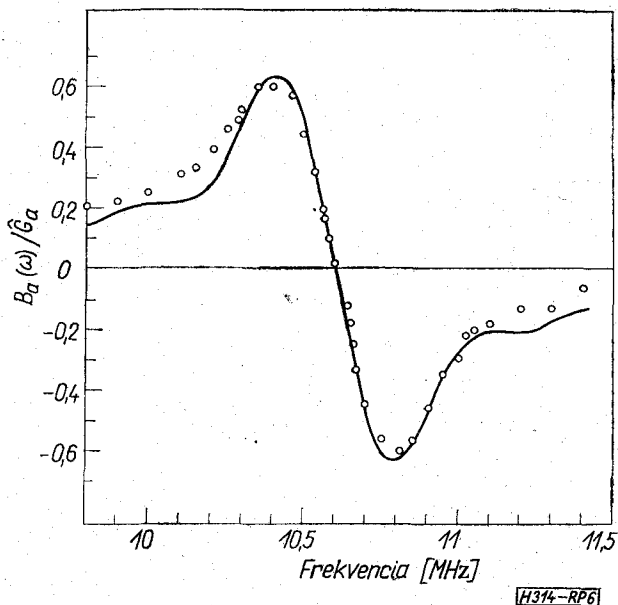
ahol G_v a dielektrikum veszteségét reprezentáló ekvivalens vezetőképesség, C_s egy ID periódus kapacitása, C_T az átalakító teljes kapacitása, K^2 a felületi hullám elektromechanikai csatolási állandója, v a felületi hullám terjedési sebessége.

A [6]-ban megadott ekvivalens képet szükséges volt G_v -vel kiegészítenünk, mert az általunk vizsgált anyagokban G_v értéke G_a mellett nem volt elhanyagolható. G_v frekvenciafüggését — tekintettel a keskeny frekvenciasávra — lineárisnak vettük. Két pontját a $G_a(\omega)$ függvény első zérushelyeinek ismeretében határoztuk meg. Eljárásunk konzekvens voltát a kerámia depolarizációját (ekkor $G_a = B_a = 0$) követő G_v frekvenciafüggésének mérésével igazoltuk.

A kísérletileg meghatározott akusztikus sugárzási admittancia valós és képzetes részét az elméleti eredményekkel együtt [(3) és (4) összefüggések] az 5. és 6. ábrán szemléltetjük. Figyelembe véve az elméleti és kísérleti eredmények jó egyezését, módunk volt az alkalmazott piezoelektromos anyag csatolási állandóját is meghatározni. A (6) összefüggés alapján meghatározott K^2 érték $6 \cdot 10^{-3}$ -nak adódott.



5. ábra. Az akusztikus admittancia valós részének frekvenciafüggése (O kísérlet, — elmélet)



6. ábra. Az akusztikus admittancia képzetes részének frekvenciafüggése (O kísérlet, — elmélet)

3. Sáváteresztő szűrőstruktúrák átviteli függvényének vizsgálata

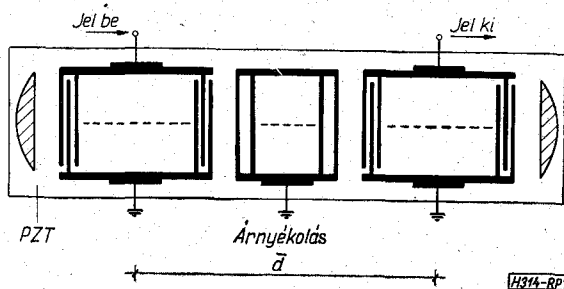
A szűrők működési elve az ID rendszerek szelektív akusztó-elektromos átalakításán alapul. Az átalakító elektro-akusztikus válasza akkor maximális, ha az elektromos jel frekvenciájára teljesül a (8) egyenlet. Ebben az esetben egy kiszemelt elektródáról a jel okozta deformáció fázishelyesen érzékel a következő elektródához. Az általunk vizsgált sáváteresztő szűrők elrendezési vázlatát a 7. ábra szemlélteti.

A rendszer rezonancia-frekvenciájára vonatkozott átviteli függvény:

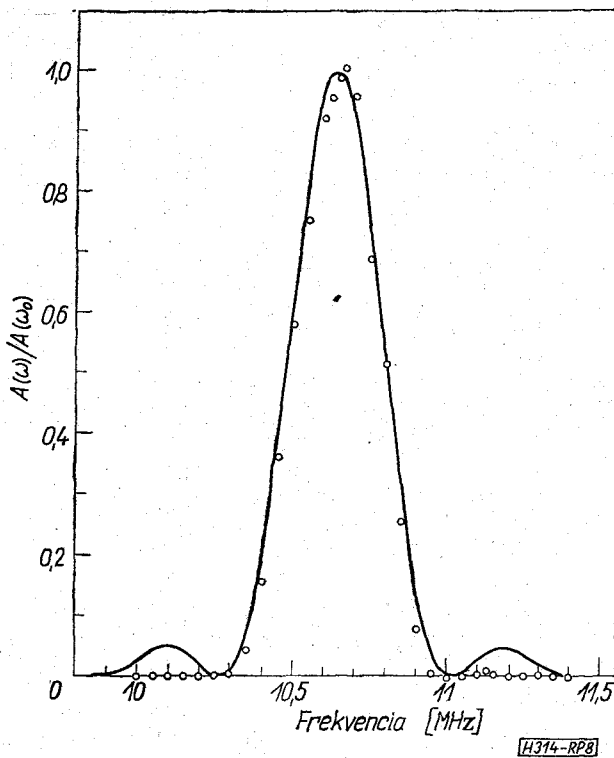
$$\frac{U_2(\omega)}{U_1(\omega)} \frac{U_2(\omega_0)}{U_1(\omega_0)} = \frac{A(\omega)}{A(\omega_0)} e^{-j\Delta\varphi(\omega)} \quad (9)$$

Ha $\left| \frac{\omega - \omega_0}{\omega_0} \right| \ll 1$ és a kimenet közel terheletlen, akkor [7, 8]:

$$\frac{A(\omega)}{A(\omega_0)} \approx \left[\frac{\sin \left(N\pi \frac{\omega - \omega_0}{\omega_0} \right)}{N\pi \frac{\omega - \omega_0}{\omega_0}} \right]^2 \quad (10)$$



7. ábra. Sáváteresztő szűrő elrendezés. $\lambda_0 = 190 \mu\text{m}$, $s = 30 \mu\text{m}$, $a = 2,6 \text{ mm}$, $d = 13,5 \text{ mm}$, $N = 28$



8. ábra. A rezonancia-frekvenciára vonatkoztatott amplitúdó-karakterisztika (O kísérlet — elmélet)

és

$$\Delta\varphi = \varphi(\omega) - \varphi(\omega_0)$$

$$\varphi(\omega) = \omega\tau + \arctg \left(\frac{B_a(\omega) + \omega C_T}{G_a(\omega) + G_v(\omega)} \right) \quad (11)$$

ahol $\tau = \bar{d}/v$ futási idő.

A (10) egyenletnek megfelelő és a kísérletileg meghatározott amplitúdó-karakteristikát a 8. ábrán hasonlítjuk össze. Az átvitel első mellék maximumainál a relatív csillapítás (rezonanciafrekvenciára vonatkoztatva) nagyobb, mint az elméletből várható 26 dB. A mérést szélesebb frekvenciaintervallumra (4–24 MHz) végeztük el. Az első zérushelyeken ($f_0 \pm \pm 0,4$ MHz) kívüleső tartományban ismeretlen eredetű hullámzást tapasztaltunk az átvitelben. A relatív csillapítás minimális értéke — a lokális maximumok helyein is — meghaladta a 25 dB-t.

Az eddigiek során a relatív csillapítással foglalkoztunk. Külön ki kell térnünk a rendszer abszolút csillapítására, mely a rezonanciafrekvencián is különbözik a zérustól. Az abszolút csillapítás két részből tevődik össze: az elektro-akusztikus átalakítási és a hullámterjedési veszteségekből. A rezonanciafrekvencián mért abszolút csillapítás 20 dB.

A (11) egyenletnek megfelelő és a kísérletileg meghatározott fáziskarakteristikát a 9. ábrán hasonlítjuk össze. Tekintettel a mérés pontosságára (a mérést oszcilloszkóppal végeztük), valamint, hogy esetünkben a (11) függvény a lineáristól csak kevéssé eltérő fáziskarakteristikát ad, a függvényt a függvényértékeket határoló egyenesekkel helyettesítettük.

Az előbbieken kívül vizsgáltuk az elektródapárok száma és a sáv szélesség közötti kapcsolatot is. A kísérleti adatok a (10) egyenletnek megfeleltek, azaz a sáv szélességet N -nel arányosnak találtuk.

Összefoglalás

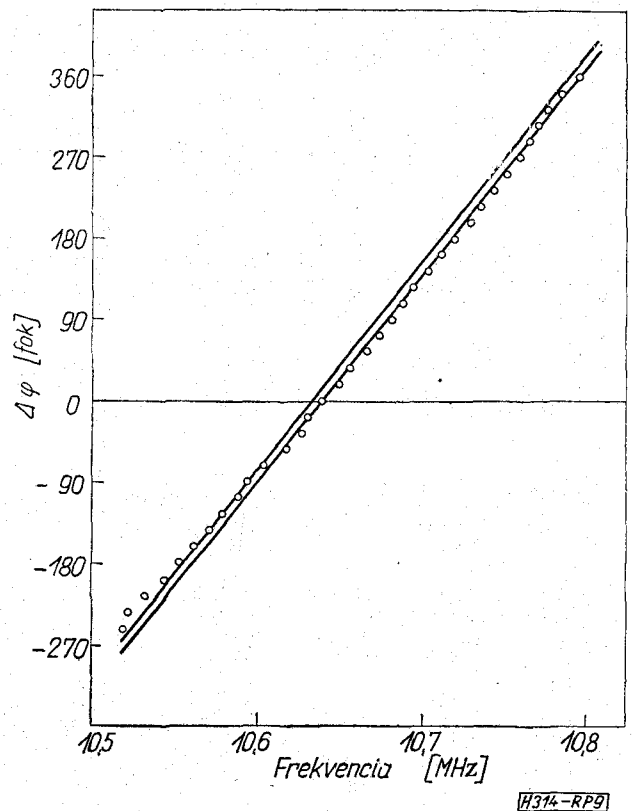
Ezen munka az MTA Műszaki Fizikai Kutató Intézetében folytatott AFH kísérletek egyik fázisát ismertette.

Célunk volt:

1. az URH sávszűrő modellezése;
2. a FIM Kőbányai Porcelángyár tömbhullámú célokra kifejlesztett PZT kerámia alapanyagának vizsgálata AFH eszközök szempontjából.

Az eredmények szerint a kívánt sáv szélesség — rezonanciafrekvencia viszony (1:50) homogén átalakítókkal is elérhető (2. ábra). Az amplitúdó karakterisztikával kapcsolatos további követelményeket (karakterisztika menete az átviteli sávban, csillapítás a zárósávban) csak inhomogén átalakítókkal lehet kielégíteni. Inhomogén átalakítóknál változhat az elektródapárok átfedése, periódusa vagy mindkettő [9]. A hossz méret (cm nagyságrend) miatt ez a rendszer integrálásra nem alkalmas, ugyanakkor az alapanyag ára, a technológia egyszerűsége lehetővé teszi ilyen típusú szűrők felhasználását.

A hazai kerámia alkalmasnak bizonyult felület-hullámú kísérletekre. Az eszköz szintű felhasználáshoz azonban szükséges az AFH csatolási állandó növelése és a kerámia porozitásának csökkentése.



9. ábra. A rezonancia-frekvenciára vonatkoztatott fáziskarakterisztika (O kísérlet — elmélet)

A PZT anyagon kívül kísérleteket végeztünk lítium-niobát (LiNbO_3) és kadmiumszulfid (CdS) egységkristályokon is. Utóbbiak — fizikai sajátásaik folytán — költséges előállítási áruk ellenére is egyre nagyobb szerepet kapnak a felülethullámú technikában.

Köszönetnyilvánítás

Köszönetünket fejezzük ki Pozsonyi János főmunkatársnak (Kőbányai Porcelángyár) a megfelelő minták rendelkezésre bocsátásáért. Szedlacek Zoltánnak a kísérleti vizsgálatok során kifejtett hasznos közreműködéséért, Lovicska Lászlónénak a fotolitográfias technikában nyújtott gondos munkájáért.

I R O D A L O M

[1] R. M. White: Surface Elastic Waves, Proc. IEEE Vol. 58. No. 8. 1970.

- [2] J. H. Collins, P. J. Hagon: Surface Wave Delay Lines Promise Filters for Radar, Flat Tubes for Television, and Faster Computers, Electronics Vol. 43. No. 2. 1970.
- [3] G. W. Farnell: Properties of Elastic Surface Waves. Physical Acoustics Vol. 6. Ed. by W. P. Mason and R. M. Thurston, Academic Press, New York, London 1970.
- [4] Special Issue on Microwave Acoustic Signal Processing. IEEE Transactions on Sonics and Ultrasonics, Vol. SU—20, No. 2.
- [5] Nagy János: Mikrohullámú Akusztika. Híradástechnika 26. köt. 12. sz. 1973.
- [6] W. R. Smith et al.: Analysis of Interdigital Surface Wave Transducer by Use of an Equivalent Circuit Model. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques Vol. MTT—17. No. 11. 1969.
- [7] J. DeVries et al.: Characteristics of Surface Wave Integrable Filters (SWIFS). IEEE Transactions Broadcast and Television Receivers, Vol. BTR—17. No. 1. 1971.
- [8] A [6]-ban ismertetett modell alapján számított nem közölt eredmény.
- [9] R. H. Tancrill, M. G. Holland: Acoustic Surface Wave Filters. Proc. IEEE Vol. 59. No. 3. 1971.