

AKUSTOELEKTRONICKÉ SÚČASTKY S POVRCHOVÝMI AKUSTICKÝMI VLNAMI

ACOUSTOELECTRONIC DEVICES WITH SURFACE ACOUSTIC WAVES

Miloslav Neveselý

Katedra teoretickej a aplikovanej elektrotechniky, Elektrotechnická fakulta, Žilinská univerzita v Žiline, Veľký diel, 010 26 Žilina, nevesely@fel.utc.sk

Abstrakt V úvodnej časti je popísaný princíp činnosti akustoelektronických súčiastok s povrchovými akustickými vlnami (PAV). Ďalej sú popísané zhotovené súčiastky a ich technické parametre.

Summary The principle of acoustoelectronic devices using surface acoustic waves (SAV) is as well as fabricated devices and their technical parameters described.

1. ÚVOD

Jedným z perspektívnych smerov rozvoja funkčnej mikroelektroniky je popri optoelektronike aj **akustoelektronika**. Táto oblasť techniky využíva pre spracovanie elektrických signálov objemové alebo povrchové akustické vlny (PAV). To umožňuje zhotovovať celý rad elektronických súčiastok s vynikajúcimi vlastnosťami, ktoré by sa ťažko dosiahli klasickými spôsobmi.

Objemové akustické vlny (OAV) sa používajú na spracovanie elektrických signálov už relatívne dlho a tvoria základ činnosti piezoelektrických rezonátorov, oneskorovacích vedení a filtrov. Menej známe sú vlastnosti a oblasti použitia povrchových akustických vln.

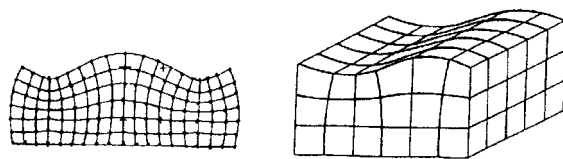
Pojem „akustika“ sa tu využíva v zmysle náuky o vlnení. Frekvencie používaných objemových akustických vln sú v oblasti do 10 MHz, povrchových akustických vln v oblasti 10 MHz - 1 GHz, neide teda o frekvencie v počuteľnej oblasti. Základnými fyzikálnymi javy, ktoré sa využívajú v týchto súčiastkach sú piezoelektrický jav (priamy a obrátený) a šírenie akustických vln v izotropnom a anizotropnom prostredí.

V oblasti frekvencií, používaných v akustoelektronických súčiastkach, môžeme k šíreniu akustických vln pristupovať fenomenologicky, t. j. nebrať do úvahy diskretnú atómovú štruktúru a skúmať látku tuhej fázy ako spojité prostredie. Tento makroskopický, fenomenologický prístup je možný, pretože vlnové dĺžky akustických vln sú aj pri frekvenciách rádovo GHz najmenej stokrát väčšie ako medziatómové vzdialenosti.

Pri bežných hodnotách amplitúd akustických vln môžeme použiť lineárnu teóriu šírenia akustických vln, pri ktorej je posunutie častíc lineárnou funkciou polohového vektora daného bodu v nedeformovanom stave.

2. VLASTNOSTI POVRCHOVÝCH AKUSTICKÝCH VLN

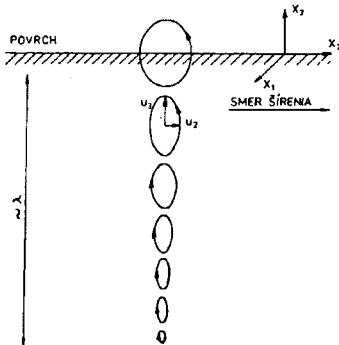
V priestorovo ohraničenej látke môžu okrem objemových akustických vln existovať aj iné druhy vln. Základný význam majú Rayleighove vlny (povrchové vlny), ktoré sa môžu šíriť na mechanicky nezaťaženom povrchu látky tuhej fázy. Pohyb častíc v povrchovej akustickej vlne (PAV) nie je lineárny ako v objemovej akustickej vlne, ale častice sa pohybujú po eliptických dráhach, ako znázorňuje obr. 1. Amplitúda posunutia pri prechode týchto vln nadobúda na povrchu maximálnu hodnotu a so vzrastajúcou vzdialenosťou od povrchu sa exponenciálne znižuje. Mechanická energia, prenášaná PAV, je teda skoncentrovaná v povrchovej vrstve s hrúbkou približne rovnajúcou sa vlnovej dĺžke.



Obr. 1. Povrchové akustické vlny
Fig. 1. Surface acoustic waves

Fázová rýchlosť PAV, rovnako ako OAV, nezávisí od frekvencie. Ak nanesieme na povrch vrstvu látky s rozdielnymi elastickými vlastnosťami, stane sa fázová rýchlosť disperzná pre vlny s vlnovou dĺžkou porovnateľnou s hrúbkou vrstvy. Tento jav, vznikajúci vo vrstvenej látke, dovoľuje zhotovovať vlnovody a vytvárať disperzné oneskorovacie vedenia. PAV majú zovšetkých akustických vln najmenšiu rýchlosť šírenia. Ak je látka, po ktorej sa šíri PAV, piezoelektrická, tak deformácie, ktoré spôsobujú vznik elastickej vlny, vytvoria nad povrchom lokálne EM pole, ktoré sa pohybuje súčasne s mechanickou vlnou, pričom môže interagovať s kovovými elektródami na

povrchu s von kajším elektrickým obvodom. podložky, prepojenými



Obr. 2. Pohyb častíc v sagitálnej rovine
Fig. 2. Movement prticles of sagital level

Povrchové akustické vlny sa môžu v izotropnej alebo anizotropnej látke šíriť všeobecne v ľubovoľnom smere. To však neznamená, že kryštalografická orientácia anizotropného kryštálu vzhľadom na smer šírenia nie je dôležitá. Obyčajne sa vyberajú špeciálne orientácie anizotropnej látky, v ktorých je smer toku energie totožný so smerom šírenia vlny, resp. pri ktorých je elektromagnetické pole, vznikajúce šírením vlny, najsilnejšie.

Základné vlastnosti povrchových akustických vln teoreticky opísal už v roku 1885 Lord Rayleigh (Rej-lí). Nazývajú sa preto aj Reyleigho vlny. Dlhो tieto vlny zaujímali iba geológov a seizmológov v súvislosti so skúmaním šírenia mechanických vln pri zemetrasení. Tlmenie týchto vln je v porovnaní s objemovými akustickými vlnami nepriamo úmerné nie druhej, ale iba prvej mocnine vzdialenosti od zdroja.

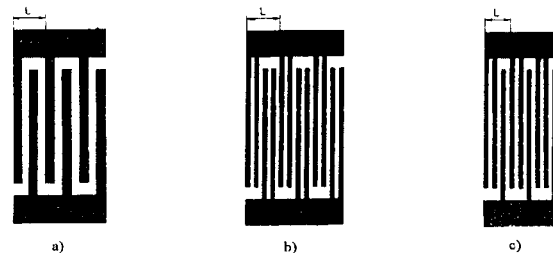
Pohyb častíc látky, spôsobený PAV, nie je priamkový, ale eliptický. Z tohto hľadiska sa podobajú vlnám na povrchu kvapaliny, aj keď vratné sily sú iné. V prvom prípade sú to sily pružnosti v látke tuhej fázy, v druhom prípade gravitačné a povrchové sily v kvapaline.

Pohyb častíc v PAV môžeme rozložiť do dvoch ortogonálnych zložiek. Jedna má smer rovnobežný so smerom šírenia, druhá je kolmá na povrch. Častice sa teda pohybujú po eliptických dráhach, ktoré ležia v sagitálnej rovine, t. j. rovine kolmej na povrch a rovnobežnej so smerom šírenia. Tvar elipsy sa mení s hĺbkou, pretože s hĺbkou sa menia relatívne hodnoty posunutia u_2 a u_3 (obr. 2).

3. PRINCÍP ČINNOSTI INTERDIGITÁLNEHO MENIČA

V súčasnosti sa pre budenie a detekciu PAV v akustoelektronických súčiastkach najčastejšie používajú interdigitálne meniče (IDM). Interdigitálny menič predstavuje sústavu kovových elektród, umiestnených na povrchu piezoelektrickej monokryštalickej podložky tak, aby privádzaný elektrický signál vytvoril na podložke pomocou obráteného piezoelektrického javu sústavu meniacich sa pružných síl, ktoré generujú PAV. Pre detekciu sa využíva priamy piezoelektrický jav, pomocou ktorého sa PAV mení na elektrický signál.

Účinnosť premeny je maximálna, ak sústava elektród má tvar periodickej štruktúry s N dvojicami elektród umiestnených tak, aby akustická vlna vybudená jednou dvojicou elektród bola vo fáze s vlnami vybudennými inými dvojicami. Takáto situácia vznikne vtedy, ak priestorová perióda L kovových elektród, sa bude rovnať vlnovej dĺžke PAV. Menič vtedy pracuje v režime akustickej synchronizácie a príslušnú frekvenciu nazývame synchronnou frekvenciou f_0 . Pri nedodržaní tejto podmienky sa znižuje účinnosť premeny a zväčšuje sa vložené tlmenie.



Obr. 3. Interdigitálny menič a jeho modifikácie
Fig. 3. Interdigital transducer and its modification

Modulová charakteristika jedného ekvidistantného (s rovnakou vzdialenosťou elektród) IDM s konštantnou dĺžkou elektród (neapodizovaného) má v blízkosti synchronnej frekvencie tvar funkcie $(\sin x)/x = \text{sinc}x$, kde (obr. 3a)

$$x = \frac{\pi N(f - f_0)}{f_0},$$

a N je počet sekcií meniča (elektródových dvojíc), n počet elektród ($n = 2N + 1$).

Prvú nulovú hodnotu má funkcia $\text{sinc}x$ pri $x = \pi$, čo zodpovedá

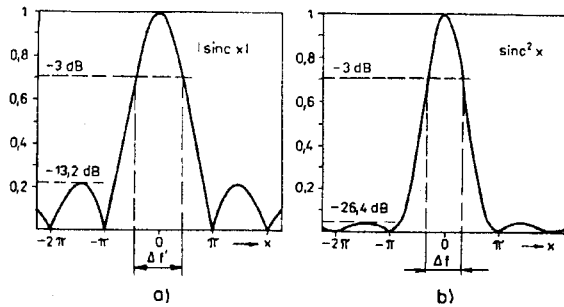
$$(f - f_0) = \frac{\Delta f'}{2} = \frac{f_0}{2N}.$$

Prvý bočný lalok má maximálnu hodnotu pri

$$\frac{f - f_0}{2} = \frac{\Delta f'}{2} = \frac{2}{3} \frac{f_0}{N},$$

a odstup prvého bočného laloka od hlavného je 13,2 dB. Modulová charakteristika jedného IDM má teda tvar pásmového priepustu so šírkou priepustného

pásma $\Delta f_{3dB} = f_0/N$ na úrovni 3 dB a $\Delta f' = 2f_0/N$ na nulovej úrovni.



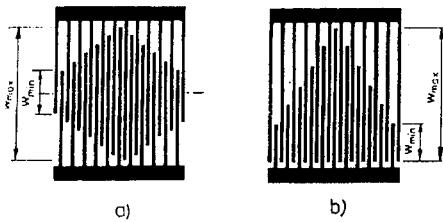
Obr. 4. Modulové charakteristiky ekvidistantného neapodizovaného meniča

a) jedného IDM, b) dvoch IDM

Fig. 4. Frequency of response SAW filter

a) one IDM, b) two IDM

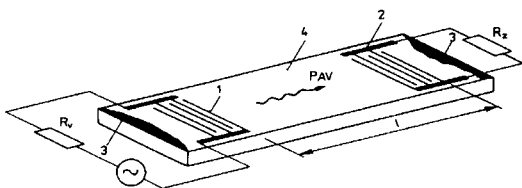
Pretože akustoelektronické súčiastky sa obyčajne skladajú z dvoch IDM, výslednú modulovú charakteristiku tvarujú obidva meniče. Ak majú rovnakú synchronnú frekvenciu f_0 a rovnaký počet elektródových dvojíc N , je modulová charakteristika súčinom charakteristík oboch meničov, t. j. funkciou tvaru $\text{sinc} 2x$ (obr. 3b). Odstup bočných lalokov sa zväčší na 26,4 dB a šírka priepustného pásma je približne 70 % šírky priepustného pásma jedného meniča $\Delta f_{3dB} = f_0/\sqrt{2} N$. To znamená, že šírka priepustného pásma je nepriamo úmerná počtu sekcií meniča N .



Obr. 5. Apodizované interdigitálne meniče

Fig. 5. Apodizing interdigital transducers

Na potlačenie bočných lalokov a získanie strmšieho prechodu medzi priepustným a nepriepustným pásmom sa používajú vážené interdigitálne meniče. Potlačenie bočných lalokov môže byť väčšie ako $b_b = (45 \div 55)$ dB.

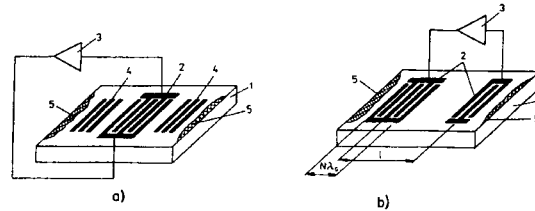


Obr. 6. Principiálna schéma pásmového filtra

Fig. 6. Fundamental scheme band-pass filter

4. PRINCÍP ČINNOSTI REZONÁTORA

Problematikou využitia povrchových akustických vln pri spracovaní elektrických signálov sa zaoberáme od roku 1974. Prvou akustoelektronickou súčiastkou s PAV bol jednomeničový rezonátor pre frekvenciu $f_0 = 43,6$ MHz (obr. 7).



Obr. 7. Jednomeničový oscilátor s PAV a IDM

Fig. 7. One-port SAW oscillator and IDT

5. PRINCÍP ČINNOSTI PÁSMOVÉHO FILTRA

Filtre s PAV tvoria najrozšírenejšie lineárne pasívne akustoelektronické súčiastky. Používajú sa dva druhy filtrov: pásmové a prispôbené filtre.

Pásmové filtre

Filtračnými vlastnosťami sa vplyvom konečnej šírky priepustného pásma vyznačujú prakticky všetky oneskorovacie vedenia (OV). Aby sa splnili vysoké požiadavky na pásmové filtre, OV treba konštrukčne upraviť. Pri konštrukcii pásmových filtrov s PAV (planárnych filtrov) sa snažíme zmenšiť hodnotu vloženého tlmenia v priepustnom pásme. To znamená, že znižujeme dráhu šírenia a tým aj oneskorenia, na najmenšiu možnú mieru.

Pásmové filtre s PAV môžeme použiť vo frekvenčnom pásme 3 MHz až 3 GHz. Môžu pracovať s relatívnou šírkou priepustného pásma v rozsahu 0,01 až 100 %. Vložené tlmenie planárnych filtrov s jednosmernými IDM môžeme zmenšiť na hodnotu 1 až 2 dB, stredná hodnota vloženého tlmenia je 10 až 20 dB. Dobré potlačenie nežiadúcich signálov, ktorých úroveň neprevyšuje v porovnaní so základným signálom hodnotu 50 dB, umožňuje minimalizovať skreslenie elektrických charakteristík filtrov.

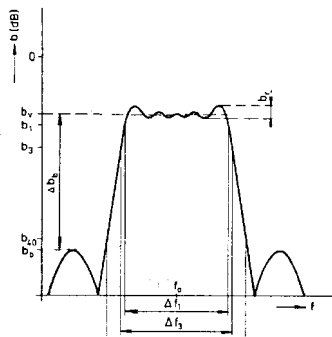
Podľa relatívnej šírky priepustného pásma môžeme planárne filtre rozdeliť na:

- veľmi úzkopásmové ($0,01 \% < \Delta f/f_0 < 0,1 \%$),
- úzkopásmové ($0,1 \% < \Delta f/f_0 < 1 \%$),
- strednopásmové ($1 \% < \Delta f/f_0 < 10 \%$),
- širokopásmové ($10 \% < \Delta f/f_0 < 50 \%$),
- veľmi širokopásmové ($50 \% < \Delta f/f_0 < 100 \%$).

Základné parametre planárnych filtrov (obr. 8 sú:

- synchronná frekvencia f_0 ,
- vložené tlmenie $b_{,,}$,
- šírka priepustného pásma Δf (rozlišujeme šírku pásma na úrovni 1 dB, 3 dB a 40 dB),
- šírka prechodného pásma $\Delta f_p = (\Delta f_{40} - \Delta f_1)/2$,

- potlačenie bočných lalokov b_b - je to rozdiel medzi hodnotami vloženého tlmenia najväčšieho z parazitných signálov v nepriepustnom pásme b_b a vloženého tlmenia pri synchronnej frekvencii,
- koeficient tvaru (pravouhlosti) $S = \Delta f_{40} / \Delta f_3$



Obr. 8. Základné parametre pásmových filtrov
Fig. 8. Fundamental parameters of band-pass filter

Najjednoduchší planárny filter je oneskorovacie vedenie s dvoma ekvidištanými neapodizovanými IDM. Jeho modulová charakteristika má tvar funkcie sinc $2x$ a argumentová charakteristika je lineárna. V praxi však častejšie požadujeme filtre s charakteristikami iného tvaru. Použitie PAV umožňuje zhotovovať pásmové filtre prakticky s akoukoľvek modulovou a argumentovou charakteristikou, ktoré sú vplyvom toho, že planárny filter je neminimálne fázový, nezávislé. Na základe toho sa zhotovujú pásmové filtre:

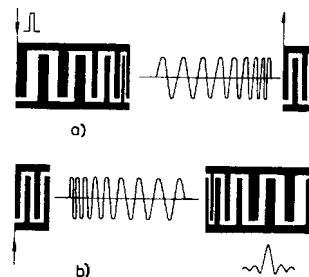
- so súmernou modulovou charakteristikou (napr. pravouhlou, Butterwortovou, Besselovou ap.)
- s nesúmernou modulovou charakteristikou (napr. v tvare MF charakteristiky televízneho filtra ap.),
- s lineárnou a nelineárnou argumentovou charakteristikou.

Jedna z možných metód syntézy planárneho filtra so súmernou modulovou a lineárnou argumentovou charakteristikou je metóda Fourierovej transformácie a váhových funkcií. Pri tejto metóde vychádzame z poznatku, že funkcia, podľa ktorej sa navrhuje tvar prekrytia elektród (apodizačná funkcia), zodpovedá priestorovému obrazu impulzovej charakteristiky meniča. Impulzová charakteristika meniča sa určuje pomocou spätnej Fourierovej transformácie požadovanej modulovej charakteristiky podľa vzťahu.

Prispôbené filtre

Filtre pre frekvenčne modulované signály (chirp filtre) majú skupinové oneskorenie, ktoré je nekonztantnou funkciou frekvencie vstupného signálu. Napr. v lineárne frekvenčne modulovaných filtroch je závislosť skupinového oneskorenia od frekvencie lineárna. Lineárne aj nelineárne filtre MF sa používajú v systémoch na expanziu a kompresiu signálov na zväčšenie dosahu a citlivosti rádiodlokačných

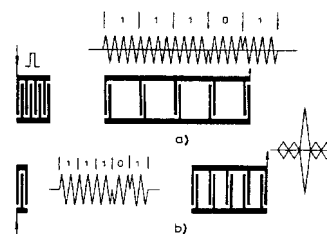
zariadení a sú základnými prvkami týchto zariadení. Pri prechode signálu cez expanzný filter (kódovanie) je na jeho výstupe signál s dĺžkou trvania T a šírkou pásma B , kódovaný tak, že jeho okamžitá frekvencia je zadanou funkciou času. Signál sa zosilňuje a vyžaruje do priestoru. Odrazený signál prechádza cez kompresný filter (dekódovanie), ktorého impulzová charakteristika je opačná ako impulzová charakteristika expanzného filtra. To znamená, že expanzný a kompresný filter sú navzájom viazané. Charakteristika kompresného filtra má taký tvar, že frekvenčné zložky signálu FM, ktoré prichádzajú na rádiodlokačné zariadenie, sa objavia na výstupe filtra súčasne a vytvárajú korelačný impulz. Amplitúda tohto impulzu závisí od koeficientu stlačenia (kompresie) pri spracovaní signálu a rovná sa súčinu TB. Ak $TB = 100$, zlepšenie je 20 dB, t. j. dosah rádiodlokačného zariadenia s kompresiou impulzov sa rovná dosahu rádiodlokačného zariadenia bez kompresie so 100-krát väčším výkonom.



Obr. 9. Operácie s LFM signálom
Fig. 9. Operations with LFM signal

Okrem fázovo modulovaných signálov môžeme v kompresných filtroch použiť aj iné spôsoby modulácie. Dôležité sú binárne fázovo manipulované signály. Tieto signály môžeme jednoducho vytvárať pomocou IDM (obr. 9). PAV sa skladá z harmonických častí, ktoré zodpovedajú číslam binárneho kódu a generujú ich zodpovedajúce oblasti meniča.

Zmenou fázy o π sa rozlišuje binárna 1 od binárnej 0 a uskutočňuje sa jednoduchou zmenou postupnosti pripojenia elektród v IDM.



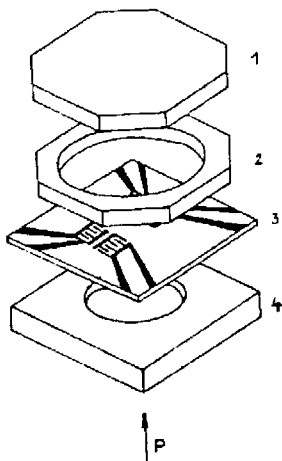
Obr. 10. Operácie s fázovo manipulovaným signálom
Fig. 10. Operation with phase manipulated signal

6. SENZORY S PAV

Vonkajšie faktory, ako sú tlak, teplota ap., ktoré pôsobia na oscilátor, spôsobujú vo väčšine prípadov zhoršenie stability oscilátorov a sú príčinou zložitejších konštrukcií. Uvedené závislosti však

môžeme úspešne využiť na meranie týchto destabilizujúcich faktorov.

Vzájomné pôsobenie vonkajších veličín s PAV mení obyčajne amplitúdu vlny alebo jej rýchlosť šírenia, resp. oboje. Často sa priamo meria zmena rýchlosti šírenia PAV, pretože túto zmenu môžeme veľmi presne merať. Niekedy sa volí pre priame meranie zmena fázy. Najčastejšie sa však využíva zmena frekvencie oscilátora s oneskorovacím vedením s PAV, alebo s rezonátorom s PAV pri pôsobení vonkajších faktorov. Zmena frekvencie oscilátora je priamo úmerná zmene rýchlosti šírenia PAV. Tento najrozšírenejší spôsob je relatívne jednoduchý, umožňuje digitálny výstup a extrémne vysokú presnosť merania prostredníctvom použitia číslicovej techniky.



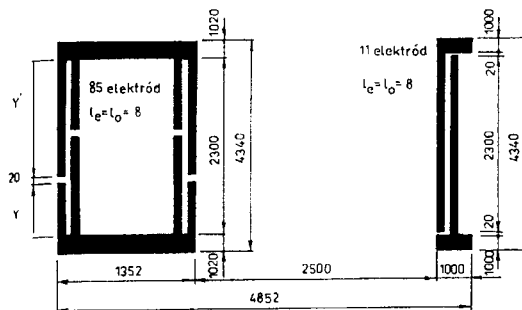
Obr. 11. Konštrukčný výkres
Fig. 11. Constructural drawing

7. ZHOTOVENÉ SÚČIASTKY A ICH TECHNICKÉ PARAMETRE

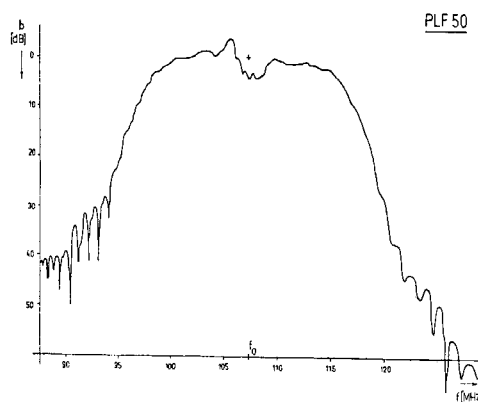
V rámci VHČ sme navrhli a zhotovili 3 typy medzifrekvenčných filtrov (MFF) pre farebné televízne prijímače. Jednak to bol klasický (MFF), dvojnoromový a pre kváziparalelný odber zvuku.

Pre označenie akustoelektronických súčiastok bol navrhnutý kód, ktorý pozostáva z troch písmen a čísla. Prvé písmeno je pre všetky akustoelektronické súčiastky s PAV rovnaké (P) a označuje povrchové akustické vlny. Druhé písmeno označuje materiál podložky (B – $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$, L – LiNbO_3), tretie písmeno charakterizuje druh súčiastky (F – filter). Číselné označenie predstavuje poradové číslo súčiastky.

1. PLF 46, $f_0 = 110$ MHz, $\Delta f_3 = 20$ MHz, apodizovaný - homogénny
2. PLF 50, $f_0 = 110$ MHz, $\Delta f_3 = 20$ MHz, apodizovaný - homogénny



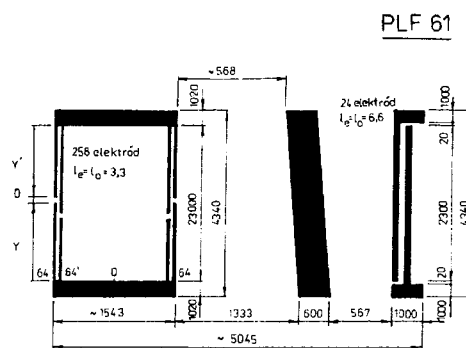
Obr. 12. Konštrukčný výkres PLF50
Fig. 12. Constructural drawing of PLF50



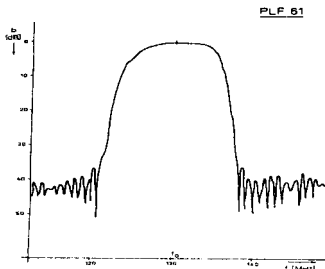
Obr. 13. Modulová charakteristika filtra PLF 50
Fig. 13. Modulated parameter of PLF 50 filter

3. PLF 51, $f_0 = 130$ MHz, $\Delta f_3 = 10$ MHz, apodizovaný – homogénny, tieniaca elektróda

4. PLF 61, $f_0 = 130$ MHz, $\Delta f_3 = 10$ MHz, apodizovaný – homogénny, tieniaca elektróda

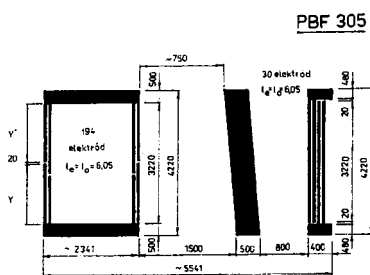


Obr. 14. Konštrukčný výkres filtra PLF61
Fig. 14. Constructural drawing of PLF61 filter

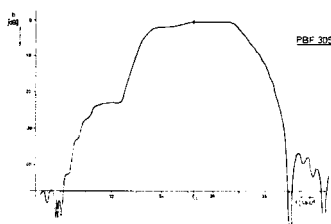


Obr. 15. Modulová charakteristika
Fig. 15. Modulated characteristic

- 5. PBF 101, $f_0 = 35,2$ MHz, $\Delta f_3 = 4,5$ MHz, apodizovaný – homogénny, tieniaca elektróda, TVP - klasický
- 6. PLF 140, $f_0 = 140$ MHz, $\Delta f_3 = 27$ MHz, apodizovaný – homogénny, tieniaca elektróda, družicový
- 7. PBF 230A, $f_0 = 35,5$ MHz, $\Delta f_3 = 4$ MHz, apodizovaný – homogénny, tieniaca elektróda, kváziparalelný odber zvuku
- 8. PBF 234, $f_0 = 35,5$ MHz, $\Delta f_3 = 4$ MHz, apodizovaný – homogénny, tieniaca elektróda, kváziparalelný odber zvuku
- 9. PBF 236, $f_0 = 35,5$ MHz, $\Delta f_3 = 4$ MHz, apodizovaný – homogénny, tieniaca elektróda,
- 10. PBF 237, $f_0 = 35,5$ MHz, $\Delta f_3 = 4$ MHz, apodizovaný – homogénny, tieniaca elektróda,
- 11. PBF 240, $f_0 = 35,5$ MHz, $\Delta f_3 = 4$ MHz, apodizovaný – homogénny, tieniaca elektróda,
- 12. PBF 304, $f_0 = 35,2$ MHz, $\Delta f_3 = 4,5$ MHz, apodizovaný – homogénny, tieniaca elektróda, dvojnornový
- 13. PBF 305, $f_0 = 35,2$ MHz, $\Delta f_3 = 4,5$ MHz, apodizovaný – homogénny, tieniaca elektróda, dvojnornový



Obr. 16. Konštrukčný výkres filtra PBF305
Fig. 16. Constructural drawing of PBF305 filter



Obr. 17. Modulová charakteristika
Fig. 17. Modulated characteristics

14. PBF 305-A, $f_0 = 34,2$ MHz, $\Delta f_3 = 4,5$ MHz, apodizovaný – homogénny, tieniaca elektróda, dvojnornový

15. PBF 307-A, $f_0 = 35,2$ MHz, $\Delta f_3 = 4,5$ MHz, apodizovaný – homogénny, tieniaca elektróda, dvojnornový

Okrem uvedených filtrov bolo navrhnutých a realizovaných ďalších 20 akustoelektronických súčiastok (oneskorovacích vedení, rezonátorov, kompresno - expanzných filtrov a senzorov).

V roku 1986 bola vydaná kniha „Akustoelektronika“ Alfa, Bratislava a v súčasnosti sa ako povinne voliteľný predmet prednáša „Akustoelektronika“ pre rádiokomunikačné smery.

V roku 1988 bol udelený patent USA N^o 4 775 961 Tactile sensor.

LITERATÚRA

1. Neveselý, M.: Povrchové elastické vlny nadobúdajú stále väčší význam. Slaboproudý obzor, 37, 11, 1976, s.552.
2. Neveselý, M.: Televízne medzifrekvenčné filtre s povrchovými elastickými vlnami. Slaboproudý obzor, 38, 5, 1977, s.235-236.
3. Neveselý, M.: Jednomeničový planárny rezonátor. Elektrotechn. Čas., 30, 10, 1979, s.744-752.
4. Neveselý, M.: Syntéza planárneho filtra s pravouhlou amplitúdovou charakteristikou. Metóda Fourierovej transformácie a váhových funkcií. Elektrotechn. Čas., 33, 9, 1982, s.686-694.
5. Neveselý, M.: Akustoelektronické prvky s povrchovými akustickými vlnami. Slaboproudý obzor, 44, 12, 1983, s.569-575.
6. Neveselý, M.: Syntéza planárneho filtra s nesúmernou amplitúdovou charakteristikou metódou stavebných blokov. Elektrotechn. Čas., 34, 8, 1983, s.567-572.
7. Neveselý, M.: Syntéza planárneho filtra s nelineárnou fázovou charakteristiou. Elektrotechn. Čas., 38, 7, 1987, s.505-509.
8. Neveselý, M. - Špaldonová, D.: Špeciálne meniče povrchových akustických vln. Zborník vedeckej konferencie "Nové smery v spracovaní signálov IV", 27.-29.5.1998, s.237-239. (podiel 50%)
9. Neveselý, M. - Špaldonová, D.: Špeciálne filtre, rezonátory a oscilátory s PAV. Zborník konferencie „Nové smery v spracovaní signálov VI“. L. Mikuláš 24.-26.4.2002 s.207-210. (podiel 50%)
10. Špaldonová, D. - Neveselý, M.: Interdigital Transducer with Slanted Fingers. Elektrotechn. Čas., 53, 5-6, 2002, s.153-156. (podiel 50%)