

Procesiranje signala kolima sa površinskim akustičkim talasima

Mr Zdravko Živković, dipl.inž.¹⁾

Prikazani su principi upotrebe linearnih kola sa površinskim akustičkim talasima (PAT) u procesiranju signala, a zatim primena pojedinih vrsta ovih elemenata u obradi signala u različitim telekomunikacionim uređajima i sistemima. Pregledno su date procesne mogućnosti nekih važnijih vrsta ovih kola kao i složenijih PAT sklopova, i pokazano da se mogu primeniti za specifične namene kao što su komunikacija u proširenom spektru i obrada radarskih signala.

Cljučne reči: PAT kola, filtri sa površinskim akustičkim talasima, čirp filtri, frekventno filtriranje, Furijeov PAT procesor.

Uvod

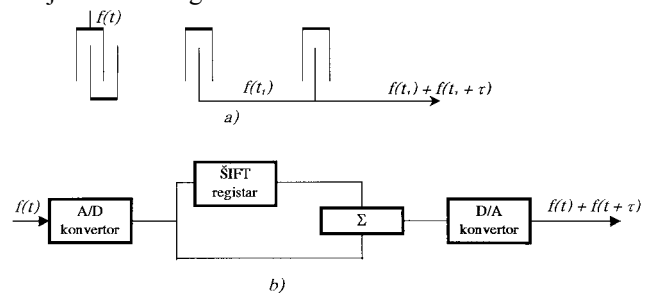
U oblasti procesiranja signala sve značajniju ulogu stiče nova klasa kola, čije je funkcionisanje zasnovano na primeni elastičnih površinskih talasa – filtri sa površinskim akustičkim talasima - PAT(SAW).

Elastični talasi su osnova za formiranje korisne klase filtara, s obzirom da se prostiru u čvrstom telu sa zanemarljivim gubitkom i brzinama, od 10^3 do 10^4 m/s, odnosno radnim frekvencijama od 10 MHz do blizu 5 GHz za praktične SAW (Surface Acoustic Wave Devices) filtre. Kada je medijum piezoelektrični materijal, elastični talasi (putujući po njegovoj površini) generišu električne talase čije električno polje vrši interakciju sa odgovarajućim metalnim elektrodama na njemu. Struktura elektroda, nanetih na površinu monokristalne piezoelektrične podloge litografskim postupkom, može da bude komplikovana, što omogućava razvoj PAT filtara za širok asortiman funkcija u oblasti procesiranja i obrade signala.

PAT filtri se implementiraju sukcesivnim kašnjenjem i semplovanjem ulaznog signala te se stoga klasifikuju kao transverzalni filtri [1,2] pri čemu se interdigitalni pretvarač (IDP) smatra idealnim transverzalnim filtrom s elektrodama kao težinskim odvodima.

Frekventno filtriranje je jedna od najvažnijih primena u oblasti obrade signala, ali su specifična svojstva akustičkih talasa omogućila razvoj i drugih korisnih funkcija u procesiranju signala. Osnovno svojstvo, koje PAT element čini pogodnim za primenu u ovoj oblasti, leži u činjenici da spora brzina akustičkog prostiranja omogućava prikazivanje vremenski promenljivog signala u prostoru. Jednostavan primer primene ovih svojstava PAT elemenata je ilustrovan na sl.1. Za signal $f(t)$ na ulazu, obradom u PAT procesoru, dobija se signal $f(t)+f(t+\tau)$. Vremenski interval odgovara prostornom pomeraju $v\tau$. Istu operaciju izvodi i klasični digitalni elektronski sklop, sl.1b, ali je njegova struktura mnogo složenija. Šta više, relativno prostim PAT kolima moguće je vršiti takve operacije sa signalima za koje su potrebni vrlo složeni klasični elektronski sklopovi ili je pak

sa njima to nemoguće izvesti.



Slika 1. Obrada signala PAT elementima: a) PAT procesor, b) ekvivalentni elektronski procesor

Osnovne procesne moći PAT elemenata potiču od sposobnosti sumiranja analognih signala, a znatnije se uvećavaju korišćenjem nelinearnih svojstava akustičkog medijuma, koja omogućavaju implementaciju operacije množenja a time i proširenje opsega operacija u oblasti obrade signala.

Osnove SAW procesiranja signala

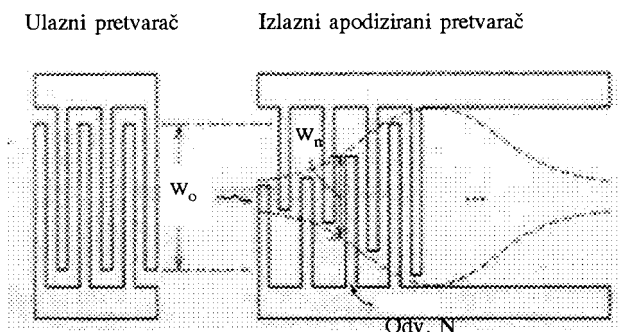
Prve primene PAT kola za obradu signala ostvarene su u radarskoj tehnici u obliku filtara kodiranih u vremenskom domenu. Koncept kodiranja strukture IDP-a kod PAT filtara je vrlo efikasno sredstvo za kompresiju/širenje signala. Njegov značaj i uloga su se proširili izvan radarskih sistema, u različite komunikacione sisteme kod kojih generisanje i prepoznavanje kompleksnih kodiranih signala može da poboljša performanse.

Frekventno filtriranje je jedna od najvažnijih primena površinskih akustičkih talasa u procesiranju signala, a u okviru njega posebno mesto pripada linearno frekventno modulisanim (FM) čirp filtrima. Ova vrsta filtara spada u disperzivne filtre projektovane za frekventno modulisanu impulse i može da posluži kao generišući izvor za formiranje šire klase uređaja u oblasti obrade signala.

Strukturu čirp filtra obrazuje par pretvarača prikazanih

¹⁾ Tehnički opitni centar, poligon Nikinci, 11000 Beograd, Vojvode Stepe 445

na sl.2, od kojih ulazni pretvarač ima uniformno raspoređene elektrode sa konstantnim preklapanjem (širokopojasni), a izlazni neuniformno i sa promenljivim preklapanjem.



Slika 2. Konfiguracija pretvarača čirp filtra

Za linearni čirp filtar, čije je kašnjenje linearna funkcija trenutne frekvencije ulaznog signala, impulsni odziv, prema [1], ima oblik:

$$h(t) = \begin{cases} \exp[j2\pi(f_0 t + \frac{B}{2T} t^2)], & |t| \leq \frac{T}{2} \\ 0, & |t| > \frac{T}{2} \end{cases} \quad (1)$$

gde su: B - propusni opseg a T - disperzija.

Jednostavnim manipulacijama impulsni odziv linearnog čirp filtra dobija oblik:

$$h(t) = e^{j2\pi f_0 t} \cdot e^{j\alpha t^2} \quad (2)$$

gde su: $\alpha = \pi B/T$, a B/T - strmina promene trenutne frekvencije.

U vremenskom domenu izlazni signal filtra je konvolucija ulaznog signala i impulsnog odziva, što u razmatranom slučaju daje:

$$S_i(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} S_u(t) e^{j\alpha(t-\tau)^2} dt \quad (3)$$

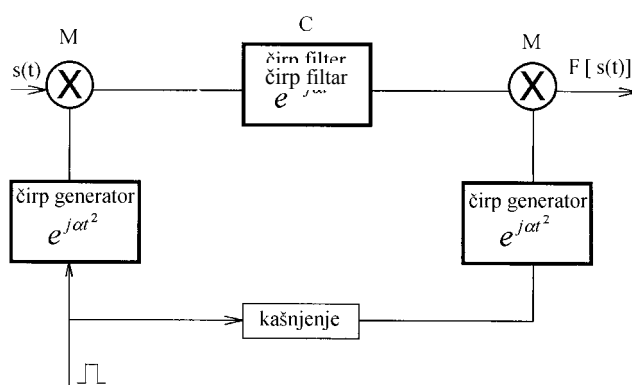
pri čemu se član $\exp(j2\pi f_0 t)$ može zanemariti. Konačno, razvijanjem kvadratnog člana u eksponentu dobija se :

$$S_i(\tau) = e^{j\alpha\tau^2} \int_{-\infty}^{+\infty} [S_u(t) e^{j\alpha t^2}] e^{-2j\alpha t\tau} dt \quad (4)$$

Izraz (4) predstavlja oblik Furijeove transformacije za veličinu u zagradi gde je transformaciona promenljiva $\omega \equiv 2\alpha\tau$.

Mane dobijenog izraza su postojanje kvadratnog člana izvan integrala koji definiše transformaciju i potreba razdvajanja ulaznog signala od faktora $\exp(j\alpha t^2)$.

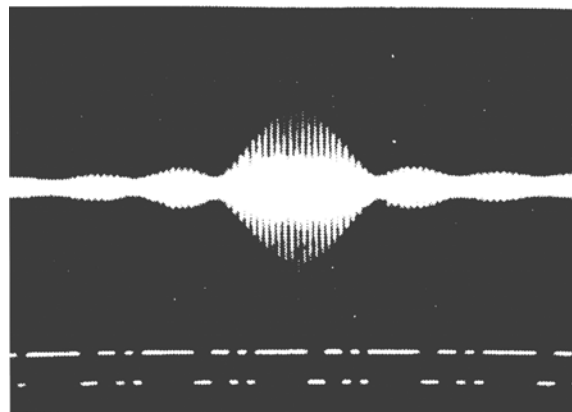
Ovaj problem se rešava prethodnim množenjem $S_u(t)$ eksponencijalnim faktorom suprotnog nagiba, $\exp(-j\alpha t^2)$, upotrebom konvencionalnih mešačkih kola. Izgled kompletnog sklopa za analognu Furijeovu transformaciju signala je prikazan na sl.3.



Slika 3. Furijeov PAT procesor

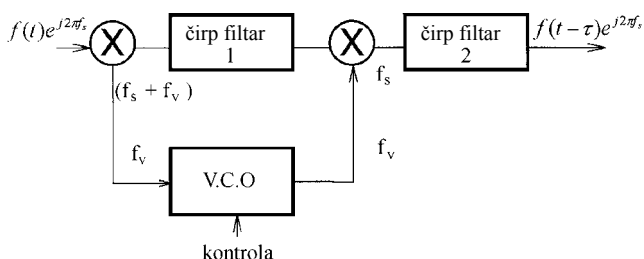
Za potrebe generisanja čirp signala u ovom sklopu upotrebljen je SAW kompresor, a prema redosledu i strukturi operacija, sklop predstavlja M-C-M (Multiply-Convolve-Multiply) konfiguraciju.

Analogni Furijeovi procesori signala mogu korisno da se upotrebe za spektralnu analizu signala u realnom vremenu, kao sastavni delovi mrežnih analizera itd. Primer neposredne primene Furijeovog procesora je kompresivni (mikrosken) prijemnik, koji pomoću Furijeove transformacije razdvaja frekventne komponente ulaznog signala u vremenu i omogućava njihovo dalje procesiranje. Primer Furijeovog spektra za periodičnu trinaestobitnu Barkerovu sekvencu, dobijenu sistemom sa $TB=400$ [2], prikazan je na sl.4.



Slika 4. Furijeova transformacija trinaestobitne Barkerove sekvence

U oblasti radarskih sistema javlja se potreba za korišćenjem linija za kašnjenje sa kontinualno promenljivim kašnjenjem za potrebe izrade simulatora pokretnih ciljeva kod Dopler radara. Konfiguracija sklopa za kontinualnu promenu vremena kašnjenja može da se dobije primenom dva linearna čirp filtra, komplementarnih nagiba čirpa, sl.5.



Slika 5. Procesor sa kontinualno promenljivim kašnjenjem

Pomoću mešača i oscilatora promenljive frekvencije

obežbeđuje se promena frekvencije signala na ulazu filtra, a time i linearno zavisna promena kašnjenja filtra u opsegu disperzije T . Za totalno promenljivo kašnjenje τ , dobija se [1]:

$$\tau = 2(f - f_0) \frac{T}{B} \quad (5)$$

sa maksimalnim diferencijalnim kašnjenjem $2T$.

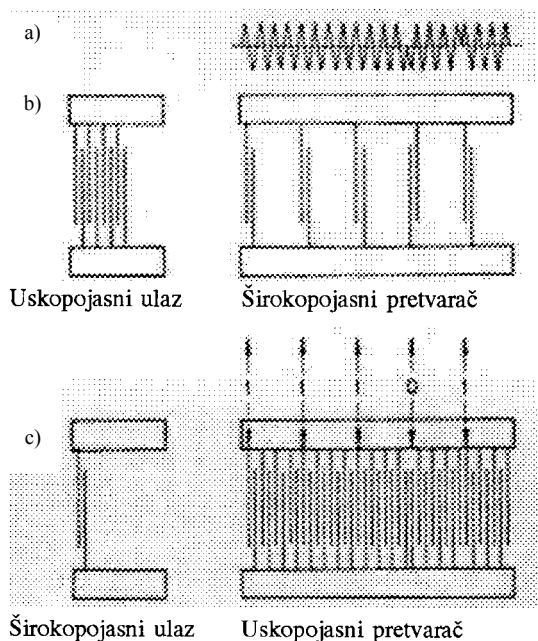
Obrada signala fazno kodiranim PAT filtrima

Iako frekventni filtri, koji se mogu smatrati transverzalnim filtrima, omogućavaju neograničen broj različitih transformacija signala, nisu pogodni za obradu signala u komunikacionim sistemima. Za te namene mnogo je pogodnija upotreba filtera sa fazno kodiranim interdigitalnim pretvaračima. Fazno kodirani PAT filtri služe za generisanje i obradu kodiranih vremenskih oblika.

Za slučaj često korišćenih PSK (binary phase shift keyed) kodova, signal ima oblik [1]:

$$\Psi(t) = \sum_{n=1}^N p_n(t) \exp[j(\omega_0 t + \theta_n)] \quad (6)$$

gde je p_n impuls jedinične visine i fiksnog trajanja δ . Većina kodova su bifazni sa θ_n jednako 0 ili π , ali zahvaljujući fleksibilnosti PAT izvora može da se ostvari kodiranje sa proizvoljnim vrednostima faze. Primer PSK modulisanog signala i odgovarajućeg PAT kola za generisanje ove petočipne bifazne sekvence je prikazan na sl.6. Svaka sekcija (čip) signala sastoji se od sinusnog impulsa koji predstavlja binarni digit, i generiše se odgovarajućom sekcijom pretvarača. Fazna promena od π , koja pravi selekciju između binarne nule i jedinice, ostvaruje se jednostavno, izmenom redosleda veza elektroda pretvarača.



Slika 6. PAT implementacija faznog kodiranja: a) binarno kodovani PSK signal, b) fazno kodirani filter, c) komplementarna struktura

Za slučaj klasičnog transverznog filtra, izlazni signal je konvolucija ulaznog sa impulsnim odzivom filtra:

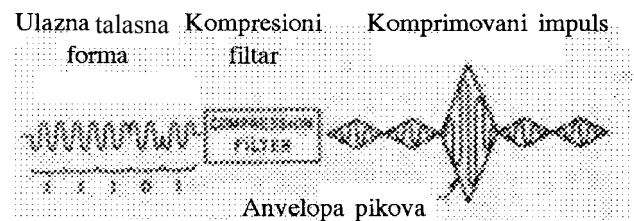
$$y(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} h(\tau)x(t-\tau)d\tau \quad (7)$$

gde je $h(\tau)$ impulsni odziv filtra.

Za realizaciju korelatora, odnosno funkcije autokorelacije, potrebne za prilagođene filtre, neophodno je izvršiti korelacioni integral:

$$f(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)x(t-\tau)d\tau \quad (8)$$

To znači, da je za realizaciju korelatora potreban filter sa osobinom da mu je impulsni odziv vremenska inverzija signala $x(t)$ koji treba da bude korelisan/prilagođen. Postupak korelacije petočipne kodirane sekvence je ilustrovan na sl.7 i rezultira kompresijom impulsa sa širinama poredljivim sa jednim čipom.



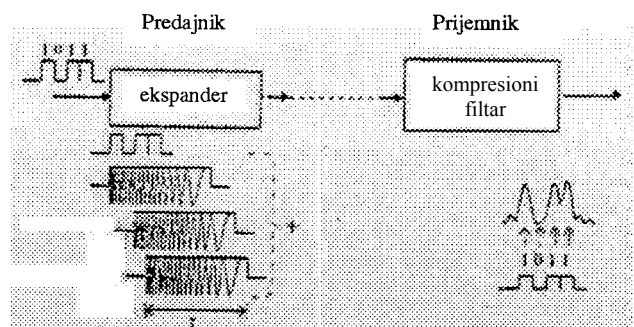
Slika 7. Korelacija petočipnim Barkerovim kompresionim filtrom.

Jedna od neposrednih primena PAT binarno PSK kodiranih elemenata je u sistemima sa proširenim spektrom.

Primena PAT elemenata u procesiranju radarskih signala

Poznat je zahtev u radarskim sistemima da TB proizvod bude što veći (T -trajanje signala, B -širina spektra), što znači da signal treba da traje što duže kako bi se za datu vršnu snagu postigla što veća energija, a pri tom da ima što širi spektar, radi bolje rezolucije. Jedan od načina da se ovo postigne je unutarimpulsna frekvencijska modulacija, tj. širenje spektra.

Postupak širenja spektra u radarima primenom modulacije signalom linearnog čirpa i uz upotrebu PAT kola, prikazan je na sl.8, gde ekspander ima kašnjenje „nagore”, a kompresor „nadole”.



Slika 8. Tehnika čirp proširenog spektra

Kao generator čirpa koristi se PAT disperzivna linija za kašnjenje koja se pobuđuje nizom impulsa iz izvora binarne informacije. Na izlazu PAT ekspandora, dobija se suma vremenski zakasnelih čirp signala. Prijemni signal se detektuje PAT kompresionim filtrom. Spektralne

komponente se sumiraju i na izlazu kompresionog filtra dobija impuls trajanja $1/B$ i amplitude koja je $(TB)^{1/2}$ puta veća od amplitude čirp signala.

Primeri praktične primene u procesiranju

Brojni su primeri primene PAT kola u različitim uređajima i sistemima gde imaju različite funkcije u procesiranju signala. Zahvaljući svojim svojstvima, kako je to izloženo, oni su neophodan deo svakog savremenog televizijskog prijemnika, različitih telekomunikacionih sistema, posebno satelitskih, koji koriste npr. ekstremno visoke performanse PAT filtara, u radarskim sistemima kao filtri za kompresiju impulsa itd. Primenom nelinearnih svojstava materijala za proizvodnju PAT elemenata i uvođenjem operacije množenja signala, mogućnosti za proširenje opsega njihove primene u obradi signala se višestruko uvećavaju.

Načini upotrebe PAT elemenata su raznoliki: kao pojedinačnih kola u obliku PAT filtara propusnika opsega, linija za kašnjenje, prilagođenih PAT filtara, kompresora signala itd., ili u kombinaciji više njih kada se prave složena kola poput demodulatora, transformera itd.

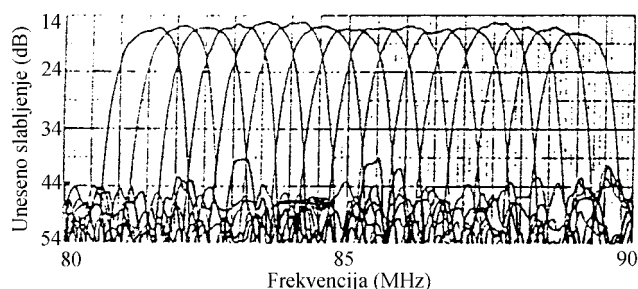
U nastavku će biti navedeni neki specifični primeri primene ovih elemenata.

Za potrebe vasijskih telekomunikacija, u sistemu za regeneraciju noseće učestanosti, koristi se selektivni filter dobijen ponderisanjem elektroda pretvarača. Parametri filtra su prikazani u tabeli 1[3]. Isti filter je sintetizovan kao minimalni fazni filter, pošto je smešten u PLL petlji sa redukovanim grupnim kašnjenjem.

Tabela 1. Filter za regeneraciju noseće učestanosti u vasijskim telekomunikacijama, upotrebom PSK modulacije

Parametar	Vrednost
Centralna učestanost	70 MHz
Propusni opseg na 3 dB	700 kHz
Relativni propusni opseg	1 %
Uneseno slabljenje	25 dB
Potiskivanje neželjenog signala	35 dB
Materijal podloge	ST-X kvarc
Tip IDP-a	"češalj" sa duplim elektrodama
Oblik amplitudnog odziva	pravougaoni

Tehnika PAT multipleksiranja se efikasno ostvaruje kombinovanjem širokopojsnog ulaznog IDP-a i frekventno selektivnog izlaznog IDP-a. Primenom ove tehnike, kod merenja učestanosti RF impulsa, eliminiše se potreba za upotrebom kontinualne banke filtara visokih performansi. Tako, četrnaestokanalni PAT multiplekser s ukupnim propusnim opsegom od 120 MHz (1 oktava) centriran na 180 MHz, ostvaruje potiskivanje neželjenih signala izvan korisnog opsega od 40 dB sa unesenim slabljenjem 19 dB. Sasvim drugi tip tehnike PAT multipleksiranja se dobija primenom višeelektrodnih spreznika (MSC). PAT multiplekser za 16 kanala urađen u ovoj tehnici, implementiran je u FMCW radaru (frekventno-modulisan sa kontinualnim zračenjem) za rezoluciju (razdvajanje) po daljini, ima frekventni odziv prikazan na sl.9 [5].



Slika 9. Frekventni odziv šesnaestokanalnog multipleksera za FMCW radar

Centriranjem u okolini MF učestanosti od 85 MHz, razdvajanje kanala je 0,5 MHz, sa 3 dB propusnim opsegom od 1 MHz, za svaki.

Među filtrima specijalne namene posebno su zanimljivi PAT filtri nepropusnog opsega (notch), široko primenljivi za obradu signala u RF uređajima, npr. u RF predajnicima za uklanjanje interno generisanih parazitnih signala, u satelitskim prijemnicima za otklanjanje smetnji od zemaljskih mikrotalasnih signala.

PAT filtri se primenjuju u MF stepenima RF prijemnika za eliminisanje diskretnih frekventnih područja u kojima se javljaju neželjeni nosioci zbog uticaja signala susednih kanala, a naročito u kablovskoj televiziji gde se koriste u velikim serijama za obezbeđenje selektivnog pristupa pretplatnika signalu. Navedene filtre proizvode firme *Hartmann Research Inc.* i *R.F. Monolithics*, USA, a prema [3] njihove karakteristike u poređenju sa klasičnim LC kolima imaju izgled dat u tabeli 2.

Tabela 2. PAT filtri nepropusnog opsega

Parametar	PAT T-most	LC
Širina propusnog opsega	>10:1	>10:1
Gubici u propusnom opsegu	<2 dB	<2 dB
Potiskivanje nepropusnog opsega	>40 dB	>40 dB
Faktor oblika (3-30 dB)	2:1	30:1
max. širina nepropusnog opsega	0.05 %	-
min f - max f	150 MHz - 1.5 GHz	<1 MHz - 150 MHz

Postoji nekoliko renomiranih svetskih proizvođača koji se bave proizvodnjom PAT elemenata za procesiranje signala. Jedan od njih je firma *Murata* (Japan) koja, prema [8], upravo uvodi sasvim novi originalan proizvod na tržište, izložen tokom oktobra 2000. godine na "Electronics Show" u "Japan Convention Center". Radi se o dvostrukom PAT filteru za portabl telefone dualnog tipa, primenljivom za oba, EGSM (prošireni globalni sistem za mobilne komunikacije) i DCS (digitalni celularni sistem) telekomunikaciona sistema. Da bi se primenio u oba sistema, ovakav terminalni uređaj zahteva brojne komponente, visok stepen njihove integracije i smanjenje ukupne veličine uređaja. Primenom PAT tehnologije, dva filtra za potpuno različite frekventne opsege, (EGSM (900 MHz) i DCS (1.8 GHz)), ugrađeni su u jedan čip, redukujući veličinu za 20% u odnosu na proizvod sa dva pojedinačna filtra. Ovi filtri, pored toga što smanjuju broj komponenata u portabl telefonima, budući da ne zahtevaju ni spoljna kola za prilagođenje sastavljena od induktivnih i kapacitivnih elemenata, obezbeđuju stabilnu frekventnu karakteristiku. Njihova komercijalna proizvodnja je već počela i to u količini od dva miliona komada mesečno, a neke njihove uporedne karakteristike su date u tabeli 3 [8].

Tabela 3. Dualni PAT filtri

Parametar	Filtar bočnog opsega EGSM	Filtar bočnog opsega DCS
Uneseno slabljenje	≤ 3.7 dB	≤ 4.2 dB
Slabljenje transmissionnog opsega	≥ 7 dB	≥ 7 dB

Među najviše upotrebljavane PAT elemente za procesiranje signala spadaju čirp filtri, posebno u telekomunikacijama. Tako, dva linearna FM čirp filtra i mešač koji operiše sa spektralnom inverzijom, vezani u kaskadu, formiraju nedisperzivnu promenljivu liniju za kašnjenje. Ova tehnika se koristi u MF stepenu od 70 MHz satelitskih komunikacionih veza za adaptivno poništavanje višeputnih signala koji stižu u prijemnik. Primer jedne linije za kašnjenje sa promenljivim kašnjenjem, formirane upotrebom dva tzv. RAC čirp filtra "nadole" (filtri sa dva IDP-a i dva niza prepreka-reflektora) je prikazan u [5]. Ulazni RAC ima $TB=1200$ sa $T=60 \mu s$, a izlazni ima $TB=300$, sa $T=30 \mu s$.

PAT disperzivni filtri nalaze veliku primenu u čirp radarima za kompresiju impulsa. Projektuju se za linearni ili nelinearni FM odziv. Linearni FM čirpovi sa kvadratnom faznom karakteristikom koriste se za redukciju osetljivosti na Doplerov pomeraj, dok se nelinearni koriste za poboljšanje odnosa signal/šum ($0,5 \div 1 \text{ dB}$). Parametri tipičnog PAT filtra za kompresiju impulsa su prikazani u tabeli 4[5].

Tabela 4. Osobine PAT kompresionog filtra

Parametar	Vrednost
Centralna učestanost	10 MHz do 2 GHz
Propusni opseg B	do $\cong 1.1 \text{ GHz}$
Disperzija T	10 ns do 150 μs
TB proizvod	do 10 000
Fazna devijacija od kvadratne	≤ 0.5 °
Bočni „lobovi“	40 dB
Uneseno slabljenje	25 do 55 dB

Pored relativno jednostavnih operacija sa obrađivanim talasnim oblicima za koje se koriste pojedinačni PAT elementi sa jednim ulazom i jednim izlazom, u PAT tehnologiji se formiraju i složena kola pogodna za izvođenje kompleksnih operacija sa nekoliko ulaznih i izlaznih promenljivih, kao što je linearna transformacija matrica.

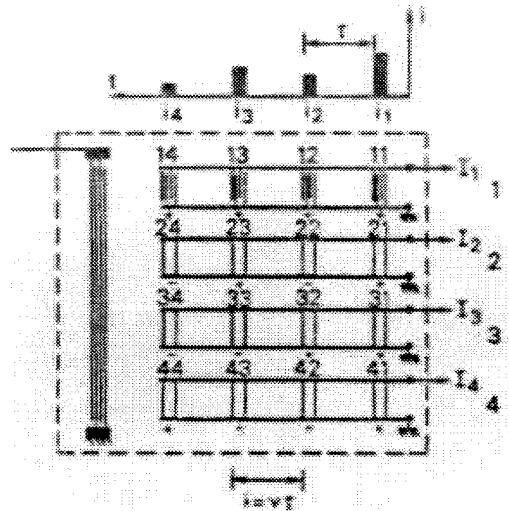
Primer implementacije takvog složenog PAT kola je u procesiranju slike, u tzv. Hadamardovom transformatoru. Razmatra se transformacija video signala $i(t)$ definisanog matričnom jednačinom:

$$I = [H]i \quad (9)$$

gde je i vektor $i(t)$, $i(t-\tau)$, ..., $i(t-n\tau)$; τ interval odabiranja a $[H]$ Hadamardova matrica reda n , čiji članovi imaju vrednost ± 1 . Za matricu reda 4:

$$[H_4] = \begin{bmatrix} +1 & +1 & +1 & +1 \\ -1 & +1 & -1 & +1 \\ -1 & -1 & +1 & +1 \\ +1 & -1 & -1 & +1 \end{bmatrix}$$

transformacija se izvodi kao na sl.10, nizom identičnih izvoda vezanih da budu u fazi ili ne, zavisno od znaka.



Slika 10. PAT transformator signala

Najnoviji trend razvoja u oblasti PAT tehnologije procesiranja signala karakteriše primena nelinearnih PAT elemenata (kao što su PAT konvolveri), specijalnih PAT kola i hibridnih PAT elemenata.

Tako PAT konvolveri, pored upotrebe u komunikacijama sa proširenim spektrom i širokopojasnim radarima, nalaze značajnu primenu u sistemima paketnog radija. Novi, poboljšani koncept procesiranja signala, u ovom tipu radija visokih performansi, je ostvaren upotrebom širokopojasnih PAT konvolvera kao prilagođenih filtara visokog procesnog pojačanja. PAT konvolver obezbeđuje programabilno prilagođeno filtriranje sa 33 dB procesnog pojačanja (TB proizvod 2000) [6] i u sprezi sa digitalnim postprocesorom formira hibridni korelator sa visokim procesnim pojačanjem za detekciju, demodulaciju i merenje daljine.

Poslednjih godina je naročito intenzivan razvoj PAT procesiranja signala na galijum arsenidu. Radi se o PAT kolima sa akustičkim transferom naelektrisanja (ACT) na epitaksijalnom GaAs, veoma pogodnim za primene kao programabilne linije za kašnjenje sa više izvoda, za veoma brzo semplovanje i paralelno-serijsko memorisanje. Tako, ACT linija za kašnjenje u opsegu od 96 ns do 813 ns ima mogućnost postavljanja do 128 vrednosti sa korakom od 5,6 ns, za propusni opseg $B=150 \text{ MHz}$.

Intenzivan istraživački rad u oblasti procesiranja optičkih informacija doneo je nova rešenja u obliku hibridnih kola zasnovanih na interakciji vođenih optičkih talasa i površinskih akustičkih talasa. Ova hibridna akustooptička kola (AO), tj. talasovodni AO modulatori, izrađuju se na podlozi od LiNbO_3 ili InGaAsP , dimenzija maksimalno $1,0 \times 3,7 \text{ cm}^2$. Perspektive primene ovih kola su u procesiranju RF signala i optičkim komunikacijama, (kao rezonantni optički filtri, RF analizatori spektra i analogni algebarski procesori, frekventni modulatori i programabilni korelatori). Primer jednog takvog AO procesora signala je RF spektralni analizator visoke rezolucije i velikog kapaciteta kanala. Za dužinu AO interakcije od 4,0 cm na Y-sečenom LiNbO_3 supstratu postiže se frekventna rezolucija 0,1MHz i kapacitet 2000 kanala [7]. Jedna od potencijalnih primena ovakvih kola je u satelitskim komunikacionim sistemima.

Zaključak

Za razliku od opšteprihvaćenog trenda u oblasti

procesiranja signala zasnovanog na primeni digitalne tehnike, u ovom radu se razmatra sasvim drugačiji pristup rešavanju ove klase problema. Naime, sagledane su mogućnosti primene kola sa površinskim akustičkim talasima u procesiranju signala. Ustanovljeno je da PAT kola imaju određena svojstva, koja veoma pogoduju primeni u ovoj oblasti i svode se na sledeće:

- Ekstremno niska brzina akustičkih talasa obezbeđuje značajnu redukciju u veličini i težini ovih elemenata (reda 10^{-5}) te robusnost i pouzdanost;
- Tehnologija izrade ovih kola, kompatibilna sa tehnologijom izrade integrisanih kola, omogućava proizvodnju ovih elemenata sa velikom preciznošću i reproduktivnošću karakteristika;
- Opseg primene PAT elemenata je u oblasti od 10 MHz do 5 GHz (donja granična učestanost ograničena veličinom supstrata, a gornja mogućnošću izrade IDP-a), nedostupnom za većinu drugih komponenata;
- Fleksibilnost upotrebe PAT elemenata sa BT proizvodom (frekventni propusni opseg \times vremena procesiranja) koji karakteriše kompleksnost procesiranja signala. Njegova maksimalna vrednost od blizu 10 000 je ostvarljiva, zavisno od primene, u širokom opsegu vrednosti parametara B i T .

Posebna pažnja je posvećena analizi funkcije frekventnog filtriranja, kao jednoj od glavnih primena površinskih akustičkih talasa u obradi signala. U okviru toga, istražena je upotreba linearnih čirp filtara i generalizacija njihove primene kao generišućeg izvora za formiranje široke klase složenih sklopova za procesiranje signala, kao što su Furijeov procesor, linije sa promenljivim kašnjenjem itd. Iako s velikim mogućnostima, ovakvi elementi nisu pogodni za primenu u komunikacionim

sistemima. Za te namene su predloženi mnogo pogodniji filtri sa fazno kodiranim interdigitalnim pretvaračima.

Kroz prezentirane praktične realizacije, ukazano je i na najnovija rešenja u oblasti PAT procesiranja kao što su hibridni akustičko-optički elementi za obradu optičkih informacija, multifunkcionalni sistemi za obavljanje više istovremenih operacija na istom supstratu, te kombinovani elementi koji izvode mnogo kompleksnije funkcije primenom površinskih talasa i elektronskog procesiranja. Sve ovo, naravno, u skladu je sa rastućim zahtevima telekomunikacionih sistema za obradu sve većih količina informacija, i sve višim frekvencijama.

Literatura

- [1] MATTHEWS, L. *Surface Wave Filters*. John Wiley, New York, 1977.
- [2] OLINER, A.A. *Acoustic Surface Waves*. Springer Verlag, Berlin, 1978.
- [3] FELDMANN, M., HENAFF, J. *Surface Acoustic Waves for Signal Processing*. Artech House, London, Boston, 1989.
- [4] HRIBŠEK, M. Kola sa površinskim talasima-SAW. *Nauka, Tehnika, Bezbednost*, 1995, no.2, p.3-13.
- [5] CAMPBELL. Applications of SAW and SBAW devices. *Proceedings of the IEEE*, October 1989, vol.77, no.10, p.1462-1472.
- [6] FISCHER. Wide-band packet radio technology. *Proceedings of the IEEE*, January 1987, vol.75, no.1, p.100-113.
- [7] TSAI. Integrated acoustooptic and magneto optic devices for optical information processing. *Proceedings of the IEEE*, June 1996, vol.84, no.6, p.853-867.
- [8] INTERNET informacije, IX. 2000.

Rad primljen: 12.1.2001.god.

