

Branko Ristić  
 Goran Živanović  
 Aleksandar Zavaljevski

INSTITUT "BORIS KIDRIČ" - VINČA  
 OOUR Institut za računarsku tehniku "RT"  
 P. fah 522, 11001 Beograd

DIGITALNI FSK DEMODULATOR NA BAZI SIGNAL PROCESORA TMS32010

TMS32010 SIGNAL-PROCESSOR BASED DIGITAL FSK DEMODULATOR

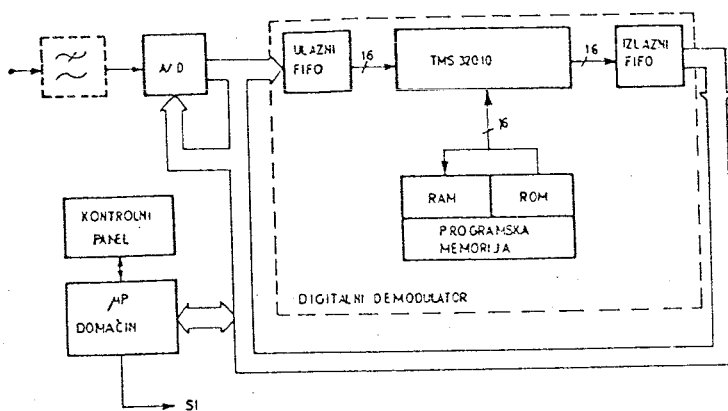
SAHRŽAJ: Razvijen je demodulator na bazi signal procesora TMS32010, namenjen obradi signala iz KT radio opsega. U radu je opisana softverska realizacija rekurzivnog algoritma FSK demodulacije, zasnovane na FM diskriminatoru, sa dodatnim blokom za potiskivanje šuma. Demodulator ima implementiranu i posebnu funkciju - merenje bodne brzine, a predviđen je za prijem kako sinhronih tako i asinhronih signala podataka. Opisani demodulator predstavlja konceptualno novi pristup demodulaciji, programabilni digitalni demodulator koji ostvaruje protok podataka umesto signala, kao kod klasičnih demodulatora.

ABSTRACT: A low-cost signal processor (TI TMS32010) based demodulator under development at IBK, intended for HF radio signals processing is introduced. This paper presents the realization of FSK recursive demodulation algorithm, based on FM discriminator and with a special block for noise suppression included. The demodulator is designed for both synchronous and asynchronous data signals reception, and incorporates a baud-rate estimator too. It brings a completely new concept in HF signal demodulation - data flow instead of a signal flow, with provision for on-line demodulator reprogramming.

1. UVOD

Brzi razvoj digitalnih integrisanih kola, kao i algoritama digitalne obrade signala, omogućio je da se KT prijemnik realizuje i u digitalnoj tehnici. Krajnji cilj projekta, čija je realizacija u toku, je izgradnja KT prijemnika koji je u najvećoj mogućoj meri digitalan. Takav prijemnik još uvek sadrži analogne RF blokove, od antenskog ulaza do medjufrekventne učestanosti, dok se preostali blokovi realizuju u digitalnoj tehnici. U radu se opisuje realizacija jednog od njih - programabilnog demodulatora.

Programabilni digitalni demodulator implementiran je na bazi signal procesora TMS32010 [1], i namenjen je prvenstveno za digitalne tipove modulacija. Zahtevi za radom u realnom vremenu, brzina, modularnost i programabilnost rezultirali su u konfiguraciji digitalnog demodulatora kao na Sl. 1.



Slika 1.

U ovom radu opisan je relativno jednostavan algoritam za demodulaciju FKS signala, realizovan softverski na opisanoj konfiguraciji digitalnog demodulatora. Radi se o algoritmu FSK demodulacije sa FM detektorom, koji je usvojen zbog toga što se sa manjim izmenama može primeniti i na druge tipove modulacija (npr. FM faksimil signali), kao i zbog jednostavne izvedbe, a nešto slabije performanse se delimično kompenzuju dodatnim blokom za potiskivanje šuma, na bazi median filtra. Demodulator ima implementiranu i posebnu funkciju - merenje bodne brzine, a predviđen je za prijem kako sinhronih tako i asinhronih signala podataka.

## 2. DIGITALNA DEMODULACIJA

Digitalna demodulacija FSK signala izvršena je korišćenjem FM diskriminatora. Detaljniji opis sledi kroz teorijsku analizu i funkcionalnu blok šemu koja iz nje proizilazi.

### Teorijska analiza

Opšti oblik FSK signala dat je kao

$$s(t) = \operatorname{Re}\left\{\sum_{n=0}^{N-1} g(t-nT_0, i_n) e^{j2\pi f_c t}\right\} \quad \dots (1)$$

- gde je:  $T_0$  - trajanje simboliog (bitskog) intervala,  
 $i_n$  - diskretni informacioni simbol koji uzima vrednosti iz skupa  $\{0,1\}$ ,  
 $f_c$  - učestanost nosioca,  
 $g(t)$  - talasni oblik elementarnog signala ( $0 \leq t < T$ ).

Zanemarujući do daljnjeg uticaj šuma, signal na prijemnoj strani može se napisati u obliku

$$s(t) = A(t) \cos \Psi(t) \quad \dots (2)$$

Diferencijalna detekcija zasniva se na množenju signala  $s(t)$  i  $s(t-T)$ , gde je  $T$  fiksni interval kašnjenja, i eliminisanju VF komponenti produktnog signala. Ako uvedemo skraćenu oznaku  $A(t)A(t-T)/2=A_1(t)$  onda je detektovani signal:

$$s_d(t) = A_1(t) \cos \theta(t) \quad \dots (3)$$

gde je  $\theta(t) = \omega(t)T$ , i gde  $\omega(t)$  uzima diskretne vrednosti iz skupa  $\{\omega_1, \omega_2\}$ , u intervalu  $kT_0 \leq t < (k+1)T_0$ , jednačina (3) u suštini predstavlja jednačinu diskriminatorske krive po učestanosti. Obzirom da je za demodulaciju od interesa najlinearniji deo karakteristike, u okolini preseka sa frekventnom osom, to je potrebno obezbediti kontrolu nivoa ulaznog signala, posle čega se jednačina (3) može napisati u obliku

$$s_d(t) = A_0 \cos \lambda f(t) \quad A_0, \lambda = \text{const} \quad \dots (4)$$

odnosno u delu krive gde je linearnost najveća

$$s_d(f) \sim k(f-f_c) \quad k = \text{const} \quad \dots (5)$$

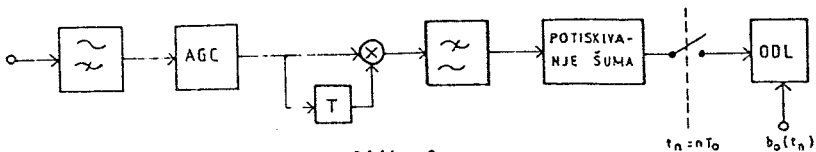
Centralna učestanost  $f_c = (f_1 + f_2)/2$  treba da odgovara presečnoj tački diskriminatorske karakteristike, to jest

$$2\pi f_c T = \pi/2 \quad T = 1/4f_c \quad \dots (6)$$

Kod demodulatora koji se razmatra, usvojeno je da vrednost intervala kašnjenja odgovara periodu odmeravanja, čime se dobija relacija između učestanosti odmeravanja i centralne učestanosti FSK signala:  $f_s = 1/T = 4f_c$ .

#### Funkcionalni blok dijagram demodulatora

Na osnovu prethodno izloženog, koncipiran je digitalni FSK demodulator čiji je funkcionalni blok dijagram dat na Sl. 2.



Slika 2.

Ulazni filtar, propusnik opsega učestanosti, nije eksplicitno naznačen na Sl. 2., ali se njegovo postojanje pretpostavlja, pri čemu je konkretno korišćen MF filtar u samom prijemniku. Na ulazu demodulatora nalazi se VF filtar koji potiskuje jednosmernu i NF komponente koje unosi A/D konvertor u odmereni signal. S obzirom da je potreban uslov za pravilan rad FM diskriminatora, da amplituda ulaznog FSK signala bude konstantna, neophodno je vršiti automatsku regulaciju pojačanja (AGC) filtriranog signala. Isto tako, imajući u vidu da je ovakav demodulator nedovoljno selektivan u pogledu smetnji, nameće se potreba da se i iza njega implementira blok za potiskivanje šuma.

### 3. REALIZACIJA FUNKCIONALNIH BLOKOVA DEMODULATORA

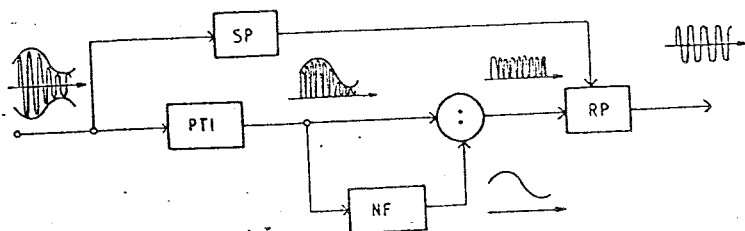
#### Realizacija VF filtra

Svi realizovani filtri u demodulatoru su IIR tipa, s obzirom da za mali red filtra ostvaruju željenu selektivnost, ali po cenu nelinearne fazne karakteristike. Nelinearnost faze, međjutim, nije kritična u realizaciji koja se opisuje.

Tip filtra:	VF - Butterworth
Red filtra:	2
Učestanost odmeravanja:	5000 Hz
Granična učestanost:	250 Hz

#### Automatska regulacija pojačanja (AGC)

AGC se postavlja u svim kvalitetnim radio-prijemnicima, da eliminiše efekat delimičnog ili potpunog gubljenja korisnog signala na radio-vezi (fading). Međjutim, FSK demodulator koji se u ovom radu opisuje, zahteva održavanje konstantne amplitude primljenog signala i zbog uslova pod kojim važi jednačina (4),  $A(t)=const$ . Uopštena blok šema bloka za AGC prikazana je na Sl. 3. Treba uočiti da se radi o linearnom postupku kontrole nivoa primljenog signala.



PTI - Pulsotokasni ispravljač  
 NF - NF filter  
 SP - Spremanje predznaka  
 RP - Restauriranje predznaka

Slika 3.

Realizacija NF filtra u AGC i u FM diskriminatoru

Usvojen je, a kasnije se pokazao kao sasvim zadovoljavajući, NF filter prvog reda. Naglasimo da je u ovakvim  $\mu P$  sistemima, gde je akcenat obrade na brzini, a manje na tačnosti, sasvim opravdano primenljivati što jednostavnija rešenja.

Tip filtra:	NF - Butterworth
Red filtra:	1
Učestanost odmeravanja:	5000 Hz
Granična učestanost:	100 Hz

Blok za potiskivanje šuma

Potiskivanje šuma u demodulisanom signalu vrši se pomoću median filtra [2]. Median filter se primenjuje samo nad signalima koji su diskretni u vremenu, a izlaz je medijana odmeraka unutar prozora, koji se kreće duž ulaznog signala. Traženje medijane zahteva sortiranje odmeraka u prozoru, što je spora operacija, pa je primenjen median filter nad binarno kvantovanom demodulisanom povorkom. Time se algoritam traženja medijane znatno pojednostavljuje. Mana median filtra je što unosi džiter, srazmerno dimenziji prozora [5].

Stoga, izbor širine prozora predstavlja kompromis između efikasnije eliminacije impulsnog šuma i unošenja faznog džitera, a pri tome treba da zavisi i od telegrafске brzine. U radu je korišćen filter čija širina iznosi oko 60% trajanja bitskog intervala. Na taj način eliminišu se sve smetnje u kvantovanoj povorki kraće od 30% od trajanja bitskog intervala, a u istom procentu tranzijentni odstupaju od nominalnih trenutaka. Prag kvantovanja binarnog kvantizera je adaptivan.

## 4. NUMERIČKI ASPEKTI REALIZACIJE

Digitalna realizacija programabilnog demodulatora pomoću signal procesora iziskuje i adekvatan tretman numeričkih problema, koji su pre svega posledica konačne tačnosti sa kojom se signali i koeficijenti predstavljaju. Pri tome je posebnu pažnju potrebno pokloniti izboru tačnosti A/D konvertora, korišćenom brojnom formatu, načinima zaokruživanja (medju)rezultata kao i izboru i normalizaciji filterarskih koeficijenata.

Za digitalizaciju signala korišćen je 12 bitni A/D konvertor sa programabilnim pojačanjem, čime je postignut nizak šum usled kvantizacije, tj.  $S/N_q \sim 72dB$ .

Signal procesor TMS32010 hardverski podržava aritmetiku sa fiksnim decimalnim zarezom. Usvojeno je da se sve promenljive i svi koeficijenti predstavljaju

sa 16 bita u tzv. Q15 formatu. Ovaj format podrazumeva da se decimalni zarez nalazi odmah iza prvog bita tj. iza predznaka, tako da su svi koeficijenti i sve varijable manji ili jednaki od 1 po apsolutnoj vrednosti. Na taj način moguće je predstaviti brojeve u opsegu od  $-1,0$  do  $0,999969$  sa inkrementom od  $0,000031$ , dok su u hardverskom množaču brojevi interno prikazani sa 32 bita (Q30 format). Pri konverziji 32-bitnih rezultata u 16-bitne, vršeno je zaokruživanje poslednje cifre. Problem prekoračenja dozvoljenog opsega vrednosti sa usvojenim brojnim formatom može se javiti samo pri aritmetičkim operacijama deljenja i sabiranja dok množenje uvek daje rezultat koji je unutar dozvoljenog opsega vrednosti. Pri rekursivnom deljenju, može se desiti da je količnik veći od 1, pa je potrebno unapred proceniti maksimalnu vrednost količnika, i prema njoj usvojiti odgovarajući Q format (manji od Q15).

Pri realizaciji digitalnih filtara, prekoračenje opsega se eliminiše skaliranjem odgovarajućih koeficijenata [3]. Svi koeficijenti su definisani sa 16 bitnom tačnošću, koja teorijski pruža 76 dB dinamičkog opsega, ali je u suštini niža zbog interno generisanog šuma svojstvenog rekursivnim realizacijama filtara. Ta tačnost je bila dovoljna i sa aspekta postizanja željene filter-ske karakteristike, budući da širina svih realizovanih filtara nije bila niža od 2% učestanosti odmeravanja. Prilikom projektovanja filtra vodilo se računa i da polovi bliski jediničnom krugu, zbog konačne tačnosti realizacije ne doprinesu izlaznom šumu i u slučaju kada nema ulaznog signala. I pored toga, predviđena je kao ekstenzija projekta, realizacija detektora aktivnosti emisija, koji bi blokirao dalji rad demodulatora za slučaj da RF emisija prestane.

## 5. PARAMETRI DEMODULACIJE

- Brzina telegrafisanje (25-300 Bd)

Algoritam bitske sinhronizacije zahteva poznavanje ovog parametra. Medjutim, prijemnik ima implementiranu posebnu funkciju merenja bodne brzine, tako da ukoliko ona nije poznata, on će je sam proceniti, u fazi učenja. Algoritam za merenje bodne brzine bazira se na statističkom algoritmu za obradu realnih telegrafskih signala [6]. Zadata ili procenjena vrednost brzine telegrafisanja u toku demodulacije podešava se i prati vremenske promene ovog parametra u primljenom signalu.

- Režim kvantovanja (normalno/invertovano)
- Tip prenosa (sinhroni/asinhroni)

U zavisnosti od tipa prenosa podataka primenjuju se različiti načini bitske sinhronizacije i formiranja kodnih reči.

#### - Asinhroni prenos

Za prijem asinhronih signala podataka, algoritam bitske sinhronizacije i formiranja kodnih reči zahteva dodatne parametre:

- broj informacionih bita u kodu
- prisustvo bita parnosti u kodu

U asinhronom prenosu, iskorišćen je standardni algoritam za bitsku sinhronizaciju. Krajnji rezultat obrade signala u demodulatoru su kodne reči. Dekoder je implementiran na uP domaćinu (SI. 1.).

#### - Sinhroni prenos

Za slučaj sinhronog prijema, nije implementiran klasičan bitski sinhronizator. Umesto toga mere se trajanja intervala od tranzijenta do tranzijenta, i ta se mera (brojač) rekursivno upoređuje sa trajanjem bitskog intervala.

### 6. RAZVOJ I TESTIRANJE DEMODULATORA

U prvoj fazi razvoja izvršeno je modeliranje funkcionalnih blokova demodulatora u višem programskom jeziku (Fortran77). Potom se pristupilo razvoju asemblerskih programa, za signal procesor TMS32010, čija je logička ispravnost testirana i verifikovana pomoću simulatora, instaliranog na mašini opšte namene (VAX-750). U narednoj fazi ispitivano je ponašanje demodulatora u realnom vremenu, pri čemu je kao izvor signala korišćen generator TG signala (GTS) i FSK modulator TG-2. Testiran je rad pri različitim bodnim brzinama, kodnim sekvencama (FOX-2, FOX-5), i stepenišima izobličenja. U završnoj fazi, demodulator je iskorišćen za prijem realnih FSK emisija (TANJUG), pri čemu su već preliminarni rezultati ispitivanja potvrdili očekivane prednosti usvojene koncepcije. Ispitivanja su u toku i detaljniji rezultati će biti naknadno objavljeni.

### 7. ZAKLJUČAK

Realizovan je rekursivan algoritam za FSK demodulaciju na digitalnom demodulatoru na bazi signal procesora TMS32010. Time je ostvaren konceptualno novi pristup demodulaciji u realnom vremenu, programabilni demodulator, koji pruža mogućnost da ista procesorska struktura posluži kao univerzalni demodulator za različite tipove digitalnih modulacija, u zavisnosti od primenjenog algoritma. Algoritam FSK demodulacije zasniva se na FM diskriminaciji i uključuje poseban blok za potiskivanje šuma pomoću median filtra. Izvesne

teškoće u realizaciji pojavile su se zbog poznatih problema aritmetike sa fiksnim zarezom, međutim, usvojeni koncept pokazao je odlične rezultate u pogledu brzine izvršavanja - obrada jednog odmerka traje 3 puta kraće od periode odmeravanja (pri  $f_s=5$  kHz). Na taj način pokazalo se da je moguće implementirati i mnogo složenije, optimalne algoritme detekcije, čime bi se povećala tačnost prijema. Ciljevi daljeg istraživanja su s jedne strane, proširivanje programske baze prijemnika korišćenjem optimalnih metoda teorije detekcije, za razne tipove modulacija (FSK, PSK, ASK, FM faksimil signali), a sa druge - realizacija ostalih blokova inteligentnog KT prijemnika, koji bi bio u stanju da sam odredi, u fazi učenja, sve parametre prijema koji su nepoznati. Procena bodne brzine, koja je već realizovana, je prvi korak ka ostvarenju tog cilja.

## LITERATURA

- [1] G. Živanović, A. Zavaljevski, B. Ristić: "Signal Processor Based Demodulator: A Step Towards All Digital HF Receiver", MELECON '85/ Volume 11: Digital Signal Processing.
- [2] W.K. Pratt, "Digital Image Processing", John Wiley & Sons 1978 (str. 330-333).
- [3] L.B. Jakson: "On the Interaction of Roundoff Noise and Dynamic Range in Digital Filters", Bell System Technical Journal, Vol. 49, No 2, Feb. 1970 (pp. 159-184).
- [4] G. Živanović, B. Ristić: "Digitalni FSK demodulator na bazi signal procesora TMS32010", Interni Izveštaj, IBK Vinča.
- [5] M. Doroslovački, privatno saopštenje.
- [6] B. Furht, M. Carapic and M. Jevtovic: "Telegraph Speed Measurement in Highly Noisy Environment", Military Electronics Defence Expo '79, Weisbaden, Germany, Sept. 1979.