

Implementacija digitalnih modulacij (FSK, PSK in QAM) na DSP TMS320C6713

Iztok Majcen, Andrej Glažar, Gregor Hudohmet

Univerza v Mariboru

Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko

Smetanova ulica 17, 2000 Maribor, Slovenija

E-mail: iztok.majcen@gmail.com, glazara@email.si, gregor.hudohmet@gmail.com

Povzetek

Članek opisuje problematiko implementacije digitalnih modulacij (FSK, PSK in QAM) na DSP TMS320C6713. S pomočjo programskega paketa Matlab/Simulink [3] smo izvedli različne modulacije v Simulinku. Te smo preko vmesnikov implementirali na DSP modul.

Ključne besede

Modulacije (QAM, FSK, PSK), implementacija na DSP TMS320C6713, programiranje preko Matlab/Simulink programskega paketa.

1. UVOD

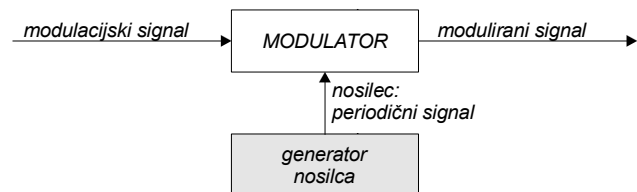
Digitalne modulacije danes izpodrivajo analogne modulacije na vseh področjih. Tako so se začela uveljavljati tudi na področju daljinskega vodenja in avtomatizacije. Zmogljivi in cenovno ugodni moduli s digitalnimi signalnimi procesorji (DSP-ji) se ponujajo kot primerna platforma za izvajanje algoritmov digitalnih modulacij. Digitalni signalni procesor TMS320C6713 je namenjen predvsem digitalni obdelavi zvoka, slike in ostalih NF signalov. Tako smo se lotili realizacije preprostih digitalnih modulacij (FSK, PSK, QAM) za digitalni prenos govora (0-4kHz) in zvoka (0-20kHz). Programiranja digitalnih modulacij smo se lotili s pomočjo programskega paketa Matlab/Simulink.

Članek je sestavljen iz štirih poglavij. Poglavje 2. govori o osnovnem principu moduliranja, ter o osnovnih principih posameznih digitalnih modulacij (QAM, FSK in PSK). Poglavje 3. je namenjeno osnovnemu opisu DSP modula s digitalnim signalnim procesorjem TMS320C6713. Poglavje 4. govori

o načinu programiranja in implementaciji digitalnih modulacij na DSP modul. V poglavju 5. pa so predstavljeni rezultati simulacij in poizkusov. Na koncu članka sledi zaključek.

2. MODULACIJSKE OSNOVE [1]

Modulacije uporabljamo za prilagoditev različnih signalov različnim prenosnim kanalom. Zraven tega moduliranje omogoča zmanjševanje šuma in interferenc, izbiro prenosnih kanalov na istem prenosnem mediju, multipleksiranje in povečevanje zmogljivosti naprav. Osnovni princip moduliranja prikazuje slika 1.

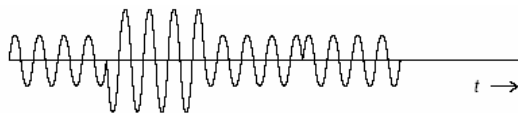


Slika 1: Osnovna shema modulacije

S terminom digitalne modulacije razumevamo modulacije, kjer je modulacijski signal digitalni signal. Digitalne modulacije se od zveznih razlikujejo le v tem, da so modulacijska stanja diskretna. Modulacijska stanja se medsebojno razlikujejo ali v amplitudi, frekvenci, fazi, času ali v kombinaciji teh parametrov.

2.1. QAM modulacija

QAM modulacija je bila razvita zaradi skupne uporabe ASK in PSK v enem moduliranem signalu, tako imenovanem APK signalu (glej sliko 2). Z uporabo obeh je možna bolj učinkovita komunikacija. To pomeni, da je možno prenašati več bitov na simbol po prenosnih signalih.



Slika 2: Primer APK signala

Osnovna formula, ki opisuje APK signal se glasi:

$$x_i(t) = A_i(t) \cdot \cos[\omega_c \cdot t + \phi_i(t)] \quad (1)$$

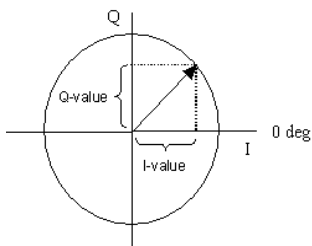
Če ta izraz razvijamo naprej preide enačba v bolj razumljivo formo sestave APK signala:

$$x_i(t) = I_i(t) \cdot \cos(\omega_c \cdot t) + Q_i(t) \cdot \sin(\omega_c \cdot t) \quad (2)$$

oziroma

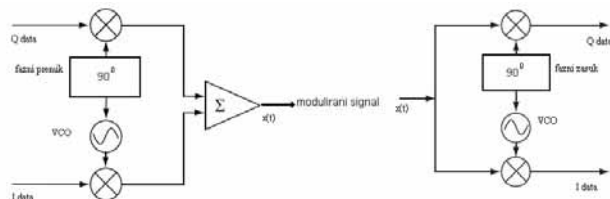
$$x_i(t) = I_{i1} \cdot \phi_1 + Q_{i2} \cdot \phi_2 \quad (3)$$

Funkciji ϕ_1 in ϕ_2 sta tako imenovani bazni funkciji, ki razpenjata dvodimenzionalni signalni prostor. Pri digitalnih komunikacijah je ta polarni diagram – signalni prostor (glej sliko 3) predstavljen v kvadratni obliki, amplituda in faza VF nosilca pa z "I" in "Q" koordinatama. Ker signale APK, tvorita dva fazno pravokotna nosilca, kjer je vsak izmed njih moduliran z naborom diskretnih amplitud $x_{1i}(Q)$ in $x_{2i}(I)$, jih imenujemo *pravokotno modulirane signale* oziroma pišemo s kratico QAM.



Slika 3: Krožni diagram predstavljen v I/Q projekciji

Razmerje med ϕ_1 in ϕ_2 je 90° , kar nas pripelje do osnovne topologije modulatorja in demodulatorja (glej sliko 4). V splošnem lahko QAM uporabljamo za signale z več različnimi amplitudami in faznimi zamiki. Vsako stanje modulacijskega signala določa znak v digitalnem signalu. Če znak tvori n bitov, mora biti $M = 2^n$ modulacijskih stanj v moduliranem signalu (glej sliko 5). Zato te modulacije imenujemo M-terne modulacije.



Slika 4: Osnovna zgradba QAM modulatorja in demodulatorja

V primeru moduliranja pripeljemo I in Q podatka na dva ločena mešalnika, ki sta priključena na lokalni oscilator na osnovni frekvenci ω_c . Kot vidimo na sliki 4 je signal lokalnega oscilatorja pomaknjen za 90° preden se zmeša v mešalniku na Q veji. Skoraj vsak digitalni modulator ali demodulator bazira na tem principu. Podatki, ki jih želimo oddajati morajo biti pred moduliranjem kodirani v I/Q pare.

0000	0001	0011	0010
1000	1001	1011	1010
1100	1101	1111	1110
0100	0101	0111	0110

Slika 5: Primer 16-QAM (M=16 - 16 stanj, n=4)

2.2.

PSK modulacija

Gre za digitalno modulacijo. Pod tem imenom razumemo modulacijo, kjer je modulacijski signal digitalni signal. Ta signal ima v svoji osnovni predstavitvi le dva nivoja.

Pri tej digitalni modulaciji spreminjamo fazo nosilca, od tod ime fazni skok. Pomembno pri tej modulaciji je tudi to, da potrebujemo arbitražni znak, to pa zato, da vemo kateri je prvi bit. Splošna enačba, ki opisuje PSK se glasi:

$$x_i(t) = A \cos[\omega_c t + \phi_i(t)] \quad \begin{matrix} 0 \leq t \leq T \\ i = 1, \dots, M \end{matrix} \quad (4)$$

kjer lahko faza $\phi_i(t)$ zavzame M diskretnih stanj (glej sliko 7). Ta stanja so ponavadi določena z:

$$\phi_i(t) = \frac{2\pi}{M} i + \lambda \quad (5)$$

kjer je λ izhodiščni kot oziroma kotni izmik. Če

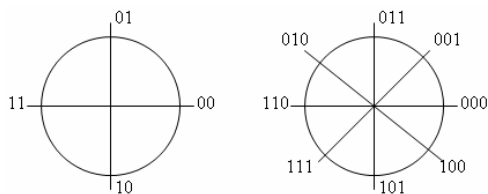
pri binarni PSK oziroma 2 – PSK izberemo za $\theta_1(t)=0$, $\theta_2(t)=\pi$ in $\lambda=0$ dobimo polariziran signal. To 2-PSK modulacijo imenujemo tudi modulacija s faznim reverziranjem ali na kratko PRK (glej sliko 6). Zanja velja:

$$x(t) = \begin{cases} A \cos \omega_c t & \text{ko je binarna 1 (0)} \\ -A \cos \omega_c t & \text{ko je binarna 0 (1)} \end{cases} \quad (6)$$



Slika 6: Primer 2-PSK signala

Pri demodulaciji signala PSK moramo poznati fazo nosilca, da lahko iz sprejetega signala izluščimo informacijo, ki jo nosi. Povedano drugače, signale PSK je možno demodulirati le s koherentnimi demodulatorji.



Slika 7: Primeri polifaznih signalov (levo 4-PSK, desno 8-PSK)

2.3. FSK modulacija

Digitalna FSK modulacija je metoda, ki izkorišča spreminjanje frekvence sinusnega nosilnega signala. Amplituda nosilnega sinusnega signala je konstantna, njegova frekvenca pa se spreminja v odvisnosti od digitalnega informacijskega signala.

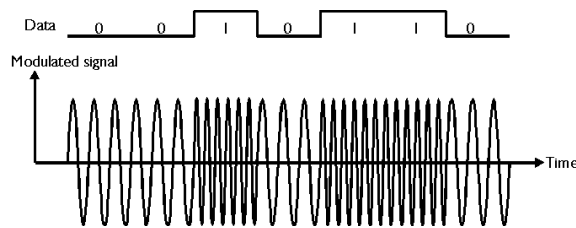
V primeru M-terne FSK modulacije, prenašamo digitalno informacijo z M različnimi frekvencami, ki so med seboj enakomerno oddaljene za Δf . Δf je frekvenčna razdalja med dvema zaporednima frekvencama. Splošni izraz za FSK modulirani signal se glasi :

$$x_i(t) = A \cos(\omega_i t + \phi) \quad \begin{matrix} 0 \leq t \leq T \\ i = 1, 2, \dots, M \end{matrix} \quad (7)$$

kjer so: $x_i(t)$ - frekvenčno modulirani signali, A – amplitude s konstantno vrednostjo, ω_i -

nosilne frekvence za M diskretnih stanj, ϕ - fazni kot s poljubno vrednostjo med 0 in 2π . Če imamo samo dve različni stanji ($M=2$) govorimo o binarni FSK modulaciji (glej sliko 8). Splošni izraz za binarno FSK modulacijo se glasi:

$$x(t) = \begin{cases} A \cos \omega_{c1} t & \text{ko je binarna 1} \\ A \cos \omega_{c2} t & \text{ko je binarna 0} \end{cases} \quad (8)$$

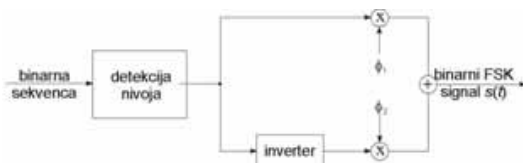


Slika 8: Binarna FSK modulacija

Binarna FSK modulacija se deli na koherentno in nekoherentno FSK modulacijo. Razlika med njima je v tem, da je v primeru koherentne modulacije faza nosilnega signala $s_i(t)$, ki opisuje naslednji digitalni simbol enaka fazi nosilnega signala, ki opisuje prejšnji simbol. Tako ostane faza signala, ki ga oddajamo kontinuirana od koder tudi ime *Continuous Phase FSK* (fazno kontinuirana FSK modulacija). Generiranje binarne FSK :

- koherentna (digitalni informacijski signal krmili napetostno krmiljen oscilator)
- nekoherentna (digitalni informacijski signal krmili dva neodvisna oscilatorja in preklopno vezje)

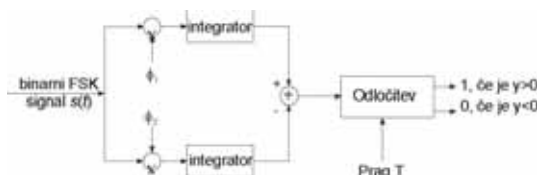
FSK modulator (glej sliko 9) je vezje, ki pretvori vhodni digitalni signal v ustrezen analogni sinusni nosilni signal. V primeru binarne FSK modulacije, kjer prenašamo en bit naenkrat, sta to dva sinusna nosilna signala katerih frekvenca ustreza vhodnemu binarnemu podatku (binarna 0 - simbol prenašamo s frekvenco f_1 in binarna 1 - simbol prenašamo s frekvenco f_2).



Slika 9: FSK modulator

FSK demodulator (glej sliko 10) je vezje, ki pretvori vhodni modulirani signal nazaj v binarni signal. V splošnem je digitalna demodulacija inverzni postopek digitalne modulacije s pomočjo katerega iz analognega moduliranega signala dobimo originalni digitalni signal. Proces demodulacije je postopek računanja korelacije med sprejetim signalom in vsemi možnimi nosilnimi signali. Na podlagi maksimalne vrednosti korelacije se odločimo kateri simbol je bil prenesen. Poznamo dve različni metodi za računanje korelacije med signali :

- koherentna metoda, pri kateri moramo imeti na sprejemni strani informacijo fazi moduliranega signala
- nekoherentna metoda, pri kateri ne potrebujemo informacije o fazi moduliranega signala (računsko bolj zahtevna metoda kot koherentna)



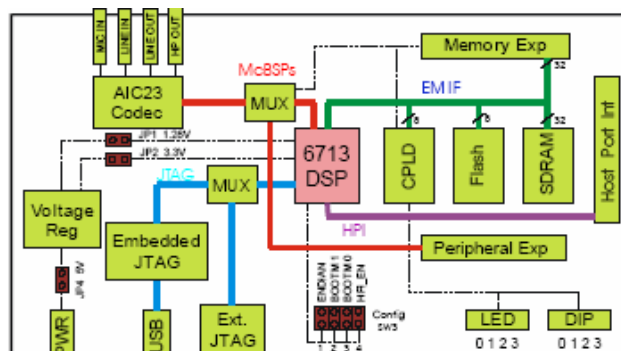
Slika 10: Binarni FSK demodulator (koherentna metoda)

3.Opis DSP modula s TMS320C6713 DSK [2]

DSP modul s TMS320C6713 signalnim procesom (glej sliko 11) je poceni razvojna platforma, ki omogoča razvijanje aplikacij za družino C67XX digitalnih signalnih procesorjev (DSP). Na DSK platformi se nahajajo:

- DSP TMS320C6713, ki deluje na 225 MHz (podpora za floating-point)
- AIC23 stereo kodek
- 16 Mbytes sinhroni DRAM
- 512 Kbytes Flash memory (pri privzetih nastavitvah je uporabnega 256 Kbytes)

- 4 LED diode in 4 stikala
- Plošči lahko programsko nastavljamo registre, ki se nahajajo v CPLD
- Nastavljive možnosti pri zagonu
- Standardni konektorji za priključitev kartic
- JTAG emulacija preko USB vhoda
- Napajanje +5V.



Slika 11: Blokovna shema DSP modula

DSP procesor 6713 dostopa do perifernih naprav preko 32 bitnega EMIF (External Memory InterFace) vmesnika. SDRAM, FLASH in CPLD so povezani na enotno vodilo. EMIF signali so prav tako povezani na zunanje priključke, ki so lahko uporabljeni za različne aplikacije.

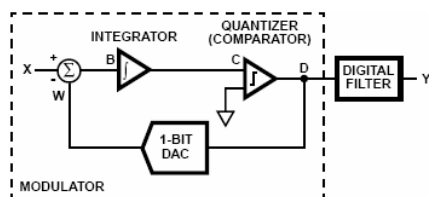
DSP dostopa do analognih avdio signalov preko integriranega AIC32 kodeka in 4 3.5 mm avdio priključkov (mikrofonski vhod, vhodna/izhodna linija, priključek za slušalke). Kodeku lahko nastavljamo, da privzame za vhod mikrofonski vhod ali pa vhodno linijo. Analogni izhod pa je priključen na izhodno linijo in slušalke. McBSP0 (Compatible Multiprotocol Serial Port) je uporabljen za pošiljanje komand kontrolnemu vmesniku kodeka, medtem ko je McBSP1 uporabljen za digital audio data.

Programibilna logična enota CPLD je uporabljena za implementacijo logike, ki povezuje komponente med seboj. V CPLD se nahajajo registri, ki jih uporabnik lahko spreminja.

DSK vsebuje 4 diode in 4 DIP stikala, ki zagotavljajo vmesnik za interaktivno povezavo. Oba se uporabljata preko naslavljanja registrov, ki se nahajajo v CPLD.

Uporabljeno je 5V napajanje. 1,26V je napajanje DSP procesorja, 3,3 V pa je napajanje I/O naprav.

DSK uporablja *Texas Instruments* [5] čip TVL320SIC23 ali na kratko AIC23 stereo kodek za avdio signale. Kodek tipa signal na vhodu in ga konvertira v digitalne podatke, ki jih nato procesira DSP. Ko jih DSP obdela, se lahko novi podatki pošljejo nazaj na digitalno-analogni pretvornik. Kodek komunicira z uporabo dveh serijskih kanalov, eden kontrolira kodekove notranje konfiguracijske registre (McBSP0), drug pa nadzoruje pošiljanje in sprejemanje podatkov (McBSP1). Za tipanje signalov uporablja kodek sigma-delta A/D pretvornike (slika 12). Kodek ima 12MHz sistemski urin pulz. 12 MHz sistemska ura ustreza tipalnemu času USB. Imenuje se tako, ker mnogo USB naprav uporablja 12 MHz urin takt in lahko uporabljajo enak urin pulz za USB krmilnik in kodek. 12 MHz urin cikel je ponavadi razdeljen tako, da lahko izvedemo tipanje frekvence pri 96, 48, 44.1 in 8 kHz.

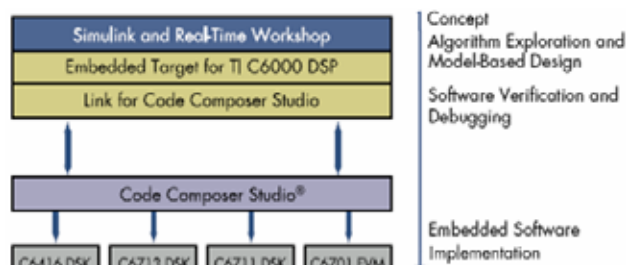


Slika 12: Sigma-delta A/D pretvorniki AIC23

4. Programiranje in implementacija digitalnih modulacij na DSP modul

Digitalne modulacije bi lahko programirali v Code Composer-ju [4] direktno v C jeziku. Code Composer je programsko orodje, ki je namenjeno komuniciranju in programiranju DSK preko JTAG emulatorja, ki je priključen na USB vmesnik. DSK lahko komunicira preko zunanjega JTAG konektorja. Vendar smo se zaradi lažjega programiranja odločili, da bomo programiranje izvedli z funkcijskimi bloki Simulinka (programiranje s pomočjo programskega paketa Matlab/Simulink), kjer ni potrebno podrobno poznavanje C jezika. Samo generiranje C in strojne kode in se bo izvajalo avtomatsko preko Code Composer Studia. Za takšno vrsto programiranja smo se odločili, ker

ima programski paket Matlab/Simulink vgrajeni 2 knjižnici, ki podpirata programiranje Texas Instruments DSP-jev s pomočjo blokov Simulinka. Knjižnica *Embedded Target for TI C6000* [6] nam omogoča integracijo programskega paketa Matlab/Simulink z TI eXpress-DSP orodji in C6000 DSP-ji. Skupaj nam ti produkti omogočajo avtomatično generiranje programske kode, prototipiranje in načrtovanje vgradnih sistemov za digitalno procesiranje signalov z uporabo C6000 DSP-jev. Uporaba knjižnice *Embedded Target for TI C6000* skupaj z Real-Time Workshop-om in TI orodji nam torej omogoča avtomatično realno-časovno implementacijo C kode iz naših Simulink modelov (glej sliko 13).



Slika 13: Implementacija programske kode na DSP

Pomembna je tudi povezava med programskima opremama Matlab/Simulink in Code Composer Studio-m. Ta povezava je programsko razvojno orodje *Link for Code Composer Studio* [7] (glej sliko 14 za vsebino knjižnice). Omogoča nam verifikacijo, razhroščevanje, vizualizacijo in validacijo TI DSP programske opreme z uspostavitvijo realno-časovno, dvosmernega

C6000 DSP Core
C6416 DSK Board Support
C6713 DSK Board Support
C6711 DSK Board Support
C6701 EVM Board Support
C62x DSPLIB
C64x DSPLIB
RTDX Instrumentation
TMDX 326040 Support

Slika 14

podatkovnega prenosa, z povezavami do Matlab-a, TI razvojno programsko opremo (software-om) in TI DSP moduli (hardware-om). Omogoča nam tudi vzpostavitev povezave med Matlab-om in delujočim DSP-jem preko RTDX (realno-časovna izmenjava podatkov) tako da lahko prenašamo DSP-ju

podatke v obe smeri ne da bi ga bilo potrebno ustaviti. Druga knjižnica se imenuje *Signal Processing Blockset* [8]. Omogoča nam sestavo modelov iz danih funkcijskih blokov namenjenim kasnejši implementaciji. Sestavljena je iz dveh kategorij orodij in sicer iz interaktivni GUI orodij in orodij za funkcijsko izvajanje.

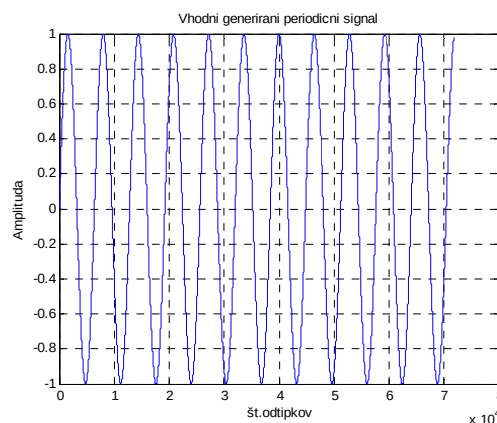
5. Rezultati simulacij in poizkusov

V tem poglavju so predstavljeni rezultati simulacij in poizkusov implementacije posameznih modulacij na DSP modul.

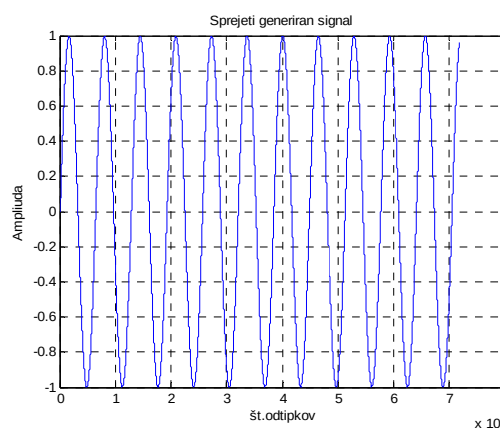
5.1. Rezultati simulacij in poizkusov pri implementaciji QAM modulacije

Slika 15 nam prikazuje blokovno shemo modela QAM modulacije izvedeno v Simulinku. Kot prvo smo izvedli simulacijo (uporabili smo rdeče označene funkcijske bloke – glej sliko 15). Na vhodu smo generirali diskretni sinusni signal frekvence 15kHz in časom tipanja 1/96kHz (glej sliko 16). Iz generatorja smo pošiljali podatkovne okvirje z 64 otipki. Za nosilce smo generirali signal 24kHz (sinusni in kosinusni signal). Prav tako smo uporabljali čas tipanja 1/96kHz in podatkovne okvirje 64 odtipki. 24kHz je maksimalna možna frekvenca generiranja

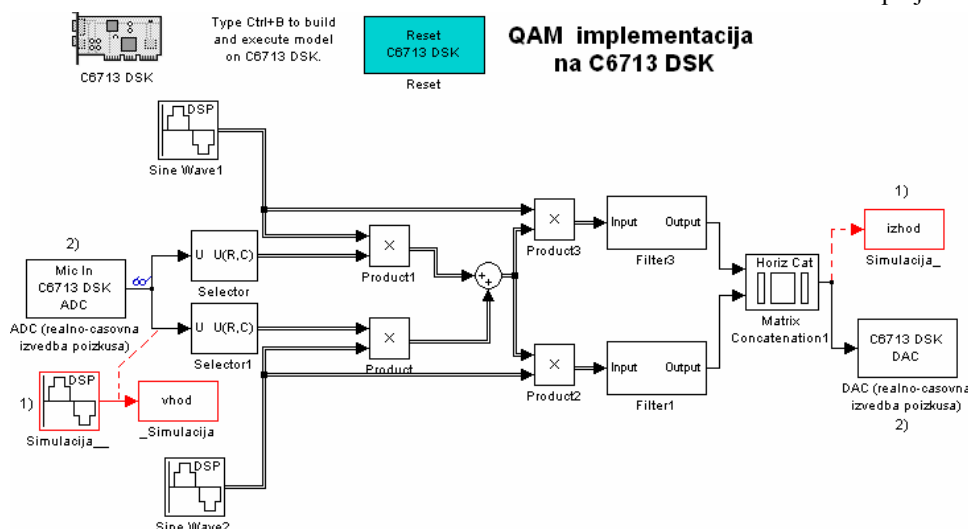
signalov nosilca pri času tipanja 1/96kHz na DSP modulu. Vhodni generiran modulacijski signal smo pomnožili z nosilnim signalom. Oba modulirana signala smo nato med sabo sešteli. To predstavlja sam QAM modulator (oddajnik).



Slika 16: vhodni diskretni sinusni signal



Slika 17: Sprejeti diskretni sinusni signal



Slika 15: Blokovna shema modela QAM modulacije (Simulink)

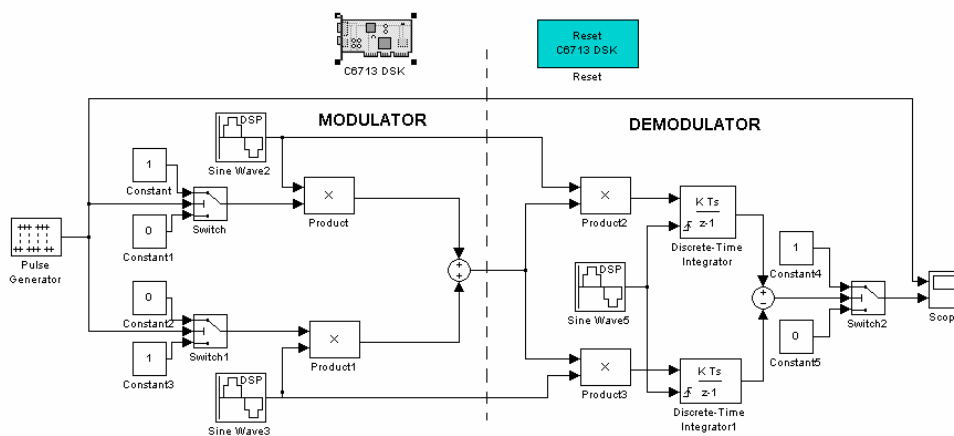
Ko smo moduliran signal spet pomnožili z nosilnima signaloma, ter signala peljali preko diskretnih filtrov 4-reda, ki smo jih sami načrtali, smo dobili (sprejeti) naš generiran modulacijski signal (glej sliko 17). Ta del predstavlja QAM demodulator (sprejemnik).

Ko smo hoteli izvesti realno-časovno implementacijo QAM modulacije smo rdeče označene bloke

namenjene simulaciji izbrisali, ter za vhodni blok postavili C6713 DSK ADC. Zvok smo pripeljali na DSP modul preko mikrofonskega vhoda (stereo signal). Frekvenca tipanja sigma-delta A/D pretvornikov je bila 96kHz. Na izhodu bloka smo dobili diskretni signal zapisan v 20-bitni besedi in 64 odtipki na okvir. Izhodni signal bloka je bila matrika 64×2 (stereo). Le to matriko smo s pomočjo blokov *Selector* razbili na posamezna vektorja 64×1 in vsak vektor posebej množili z generatorjema nosilcev. Pri demodulaciji smo kasneje demodulirana signalna vektorja s pomočjo bloka Matrix Concatenation spet sestavili v matriko 64×2 (stereo) in peljali na blok C6713 DSK DAC. Tukaj je bilo potrebno sinhronizirati le dolžino bitov besede, kot je bila na ADC bloku (20-bitov). DAC blok je signal avtomatsko peljal na mikrofonski izhod, kjer so bili priključeni zvočniki.

5.2. Rezultati simulacij in poizkusov pri implementaciji FSK modulacije

Shema, ki je predstavljena na sliki 18 je primer sheme FSK modulatorja in demodulatorja (ločena sta z črtkano črto) primerna za simulacijo.

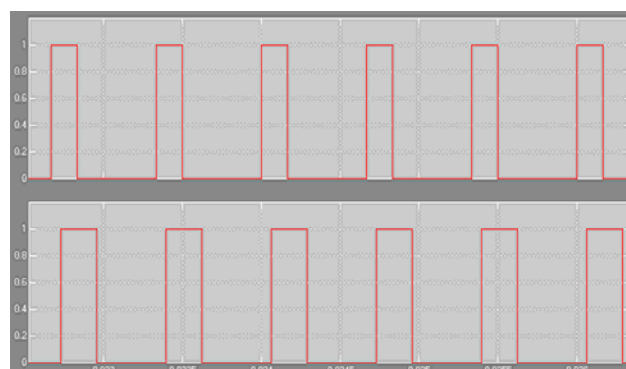


Slika 18: Blokovna shema modela FSK modulacije (Simulnik)

Za generiranje vhodnega signala modulatorja smo uporabili pulzni generator (blok generira zaporedje binarnih števil), katerega izhod smo peljali na dva detektorja nivoja (izvedena s stikali), ki nam v primeru logične 0 spustita

signal frekvenca f_1 v primeru logične 1 pa signal frekvenca f_2 . Izhod modulatorja pa peljemo preko idealnega prenosnega kanala na vhod modulatorja, kjer se modulirani signal razdeli na dve veji in pomnoži z enakima frekvencama kot pri modulatorju (f_1 in f_2). Signala peljemo na vhoda integratorjev ju odštejemo in preko detekcije nivojev dobimo spet enako binarno sekvenco, ki je bila poslana na vhod modulatorja.

Rezultat simulacije je prikazan na sliki 19, kjer zgornja shema predstavlja vhodni signal spodnja shema pa izhodni signal.



Slika 19: Vhodni in izhodni binarni signal

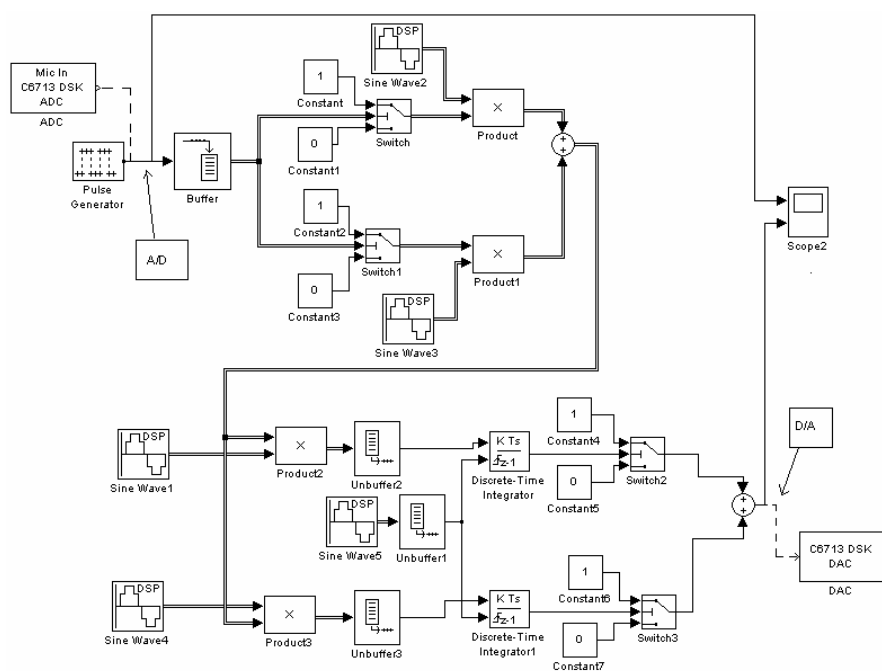
Kot je iz slike 19 razvidno so izhodni pulzi glede na vhodni signal malce širši in zakasneni, kar je posledica nastavitve detekcije nivoja stikala 2, kjer smo morali nivo nastaviti na 0.00001 zaradi neznanih težav pri odštevanju izhodov obeh integratorjev (prihajalo je do prenehaja velikosti reda 0.00001).

Za implementacijo na DSK modulu je bilo potrebno zamenjati pulzni generator z blokom C6713 DSK ADC in scope z blokom C6713 DSK DAC. Pri tem pa se pojavijo težave, saj nam izhod bloka C6713 DSK ADC daje izhod v obliki celih števil mi pa potrebujemo na vhodu binarna števila, zato je bi bilo potrebno implementirati še en ADC, ki nam je cela števila pretvoril v zaporedje binarnih

števil. Ugotovili smo še, da implementacija FSK modulacije za prenos zvoka na modulu C6713 DSK ni bila mogoča zaradi premajhne maksimalne frekvence vzorčenja, ki je 96 kHz. Izvedba pa bi bila primerna za podatkovni modem.

5.3. Rezultati simulacij in poizkusov pri implementaciji PSK modulacije

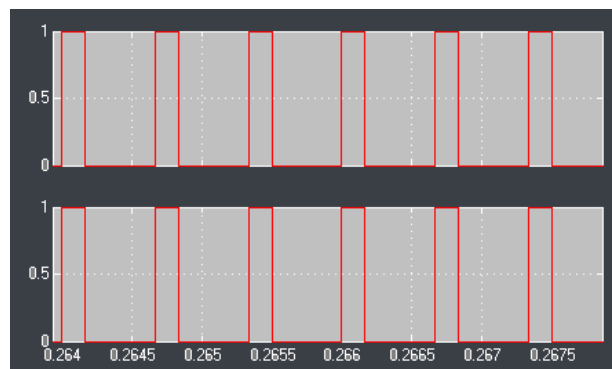
V Matlab/Simulinku smo sestavili shemo z osnovnimi bloki, kot so seštevalnik, množilnik, konstante... (glej sliko 20). Ko smo simulirali smo dali na vhod pulzni generator in nato na izhodu gledali kaj smo dobili in če je ta dobljeni signal pravilen.



Slika 20: Blokovna shema modela PSK modulacije (Simulink)

Pulzni generator generira signal ničel in enic. Ta signal gre do buffer-ja, ki te enice in ničle pošlje dalje v okvirjih do switch- ev. Ta pa glede na to ali je signal večji ali enak ena pošlje naprej enico drugače pa ničlo. V zgornjem produktu se ta poslan signal pomnoži z sinusem, v spodnjem pa z sinusem, ki je za 90° zamaknjen. Ko se to v seštevalniku sešteje dobimo moduliran signal. V demodulatorju pa je to ravno obratno. To smo v Matlab-u simulirali in dobili na izhodu enak signal, kot ta

ki smo ga dali na vhod, kar je tudi pravilno. Primerjava vhodnega in izhodnega signala je prikazana na sliki 21.



Slika 21: Vhodni in izhodni binarni signal

Za implementacijo tega na DSP –ju je potrebno to shemo malo preoblikovati. Funkcijski blok signalnega generatorja se zamenja z blokom ADC (Mic in) in doda se A/D pretvornik. Vse to je lepo vidno na sliki 20. To je na vhodu, na izhodu pa se doda D/A pretvornik in izhod povežemo z funkcijskim blokom DAC. Odstraniti je potrebno le še scope. Nato se v Code Composerju avtomatsko generira C koda, ki se naloži na DSP C6713. Tu nastanejo v tem primeru male težavice z generirano kodo, v principu pa to na ta način dela.

6.

Zaključek

Članek opisuje problematiko implementacije posameznih modulacij. Z generiranjem funkcijskih blokov v Simulink-u smo implementacijo programske kode na DSP izvedli avtomatsko. Podane so bile tudi teoretične osnove posameznih modulacij (QAM, PSK, FSK) in osnove uporabljenega hardware-a in software-a.

Pri QAM modulaciji smo izvedli tako simulacijo in podali rezultate, kot tudi realno-časovne poizkuse. Modulacija je realno-časovno

delovala popolnoma pravilno. Čas tipanja 1/96kHz je bil zadosten za prenos zvoka brez zakasnitev. Slabost je premajhna možnost generiranja frekvenc internih signalnih generatorjev.

FSK in PSK modulaciji sta bili uspešno simulirani in podani so tudi rezultati. Pri realno-časovni implementaciji so nastali problemi. Problemi se pojavijo, ker nam izhod bloka C6713 DSK ADC daje izhod v obliki celih števil mi pa potrebujemo na vhodu binarna števila, zato bi bilo potrebno implementirati še dodatni ADC, ki bi cela števila pretvoril v zaporedje binarnih števil in nato še dodatni DAC, ki bi pretvarjal binarna števila nazaj v cela števila.

7. Zahvala

Zahvaljujemo se mentorjema dr. Dušanu Gleichu in dr. Petru Planinšiču za pomoč, ter mag. Tomažu Romihu za tehnično podporo.

8. Literatura

[1] Ž. Čučej, *Komunikacije v sistemih daljinskega vodenja*, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko v Mariboru, Maribor 1998.

[2] D. Gleich, *Navodila za vaje pri predmetu Sistemi daljinskega vodenja (vaja 3A)*, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko v Mariboru, Maribor 2005.

URL: <http://sparc.feri.uni-mb.si/Sistemidaljvodenja/Vaje/navodilavaja33.DOC>

[3] *Matlab/Simulink*, je zaščitni znak podjetja The MathWorks Inc, © 1994-2005

URL: <http://www.mathworks.com/>

[4] *Code Composer Studio*, je zaščitni znak podjetja Texas Instruments Incorporated, © 1995-2005

URL: <http://focus.ti.com/docs/toolsw/folders/print/ccstudio.html>

[5] *Texas Instruments*, je zaščitni znak podjetja Texas Instruments Incorporated, © 1995-2005

URL: <http://www.ti.com/>

[6] The MathWorks Inc & Texas Instruments Inc, *Embedded Target for TI C6000 DSP platform 2.1 Datasheet (pdf 91045v01 05/04)*, 2004.

URL: <http://www.mathworks.com/products/tic6000>

[7] The MathWorks Inc & Texas Instruments Inc, *Link for Code Composer Studio Development Tools 1.3 Datasheet (pdf 9877v02 05/04)*, 2004.

URL: <http://www.mathworks.com/products/ccslink>

[8] The MathWorks Inc, *Signal Processing Toolbox User's Guide (pdf)*, © 1988-2005.

URL: <http://www.mathworks.com/>