1. VJEŽBA

Razmatranje efekata otipkavanja

Da bi se analogni, vremenski kontinuirani signal mogao digitalno obrađivati potrebno ga je otipkati u vremenu. To znači da od vremenski kontinuiranog signala uzimamo samo određene uzorke. Ti se uzorci uzimaju najčešće s jednakim vremenskim razmakom T. Takav T se naziva period otipkavanja, pa vremenske trenutke u kojima se obavlja otipkavanje možemo opisati nizom:

$$t_n = T \cdot n \ , \ -\infty < \mathrm{n} < \infty \ . \tag{1.1}$$

Tim postupkom se od vremenski kontinuiranog signala $x_c(t)$ dobiva diskretni niz uzoraka $x[n]$, prema:

$$x[n] = x_c(nT) \ , \quad -\infty < n < \infty \ . \tag{1.2}$$

Spektar vremenski diskretnog signala dobivenog otipkavanjem s periodom T je **kontinuirana funkcija periodična s periodom** 2π. Pri tome vremenski kontinuiranoj sinusoidi kružne frekvencije Ω odgovara diskretna sinusoida frekvencije ω i vrijedi:

$$\omega = \Omega T \quad [\mathrm{rad}]. \tag{1.3}$$

Općenito, veza između spektra kontinuiranog signala $X_c(j\Omega)$ i spektra diskretnog signala $X(e^{j\omega})$ dana je izrazom:

$$X(e^{j\omega}) = \frac{1}{T} \sum_{n=-\infty}^{\infty} X_c\left(j\frac{\omega}{T} - j\frac{2\pi \cdot n}{T}\right). \tag{1.4}$$

Važan kriterij kojeg treba uzeti u obzir kod odabira frekvencije otipkavanja kontinuiranog signala dan je **Nyquist-ovim teoremom otipkavanja** koji slijedi. Neka je $x_c(t)$ frekvencijski ograničen signal za koji vrijedi:

$$X_c(j\Omega) = 0 \ , \text{ za } |\Omega| > \Omega_N \ . \tag{1.5}$$

Tada je $x_c(t)$ jednoznačno određen svojim uzorcima $x[n] = x_c(nT), \ -\infty < n < \infty$ ako vrijedi da je:

$$\Omega_S = \frac{2\pi}{T} > 2\Omega_N \ . \tag{1.6}$$

Drugim riječima, to znači da ako je najviša kružna frekvencija sadržana u signalu Ω_N, tada signal treba otipkavati s barem dvostruko većom frekvencijom Ω_S. U tom slučaju u diskretnom nizu $x[n]$ sačuvana je sva informacija sadržana u izvornom signalu $x_c(t)$. Ako frekvencija signala pređe pola frekvencije otipkavanja, dolazi do pojave koja se naziva **aliasing**, a posljedica je periodičnosti spektra diskretnog signala.

Pojavu možemo prikazati jednostavnim primjerom. Za sinusni (kosinusni) signal frekvencije 90 Hz dan izrazom:

$$x_c(t) = \cos(2\pi \cdot 90t) \tag{1.7}$$

i frekvencije otipkavanja $f_S = \frac{1}{T} = 100\,Hz$, dobivamo diskretni niz:

$$x[n] = \cos(2\pi \cdot \frac{90}{100} n) \tag{1.8}$$

koji je identičan nizu:

$$x_a[n] = \cos(2\pi \cdot \frac{10}{100} n). \tag{1.9}$$

što se može lako pokazati. To znači da kosinusoide frekvencija 10 Hz i 90 Hz imaju istog reprezentanta u vremenski diskretnoj domeni, pa je nakon otipkavanja nemoguće odrediti o kojoj se od njih dvije radilo. Isti niz dobili bi za frekvencije signala 110 Hz, 190 Hz, 210 Hz itd.

U praktičnoj primjeni, radi sprječavanja pojave aliasinga, se signal prije otipkavanja propušta kroz nisko propusni filtar s graničnom frekvencijom $f_s / 2$ ili nižom, čime se ponište (priguše) sve više frekvencije koje bi nakon otipkavanja mogle prouzročiti aliasing. Takvi filtri su poznati pod nazivom **anti-alias filtri**.

Rekonstrukcija frekvencijski ograničenog otipkanog signala na osnovu njegovih vremenskih uzoraka

Ako je kontinuirani signal otipkan tako da nema aliasing-a, tada je moguće na osnovu dobivenih uzoraka signala $x[n]$ rekonstruirati izvorni vremenski kontinuirani signal. To se postiže primjenom interpolacijske funkcije oblika $\sin(x)/x$ prema izrazu:

$$x_r(t) = \sum_{l=-\infty}^{+\infty} x[l] \frac{\sin\left[\frac{\pi(t-lT)}{T}\right]}{\frac{\pi(t-lT)}{T}}, \tag{1.10}$$

gdje su $x[l]$ uzorci diskretnog signala, a $x_r(t)$ je rezultirajući rekonstruirani kontinuirani signal koji ima definiranu vrijednost za svaki trenutak *t*. Kao što se vidi iz (1.10), neki uzorak $x[l]$ treba pomnožiti s pripadnom interpolacijskom funkcijom kojoj je ishodište pomaknuto upravo na mjesto dotičnog uzorka. Za trenutak $t = lT$ koji odgovara tom uzorku, i nazivnik i brojnik interpolacijske funkcije su jednaki nuli pa se dobiva kvocijent 0/0 koji je u limesu jednak 1. Za dotični *t*, umnožak interpolacijske funkcije i vrijednosti samog uzorka upravo je jednak samom uzorku. Za sve ostale $t = jT$, $j \neq l$, koji korespondiraju mjestima ostalih uzoraka, umnožak je jednak nuli jer je argument sinusne funkcije višekratnik od π, pa je brojnik uvijek jednak 0, a nazivnik je različit od nule. Kada se množenje izvede za sve uzorke i doprinosi zbroje, u rekonstruiranom signalu na mjestima $t = nT$ ostaje doprinos samo n-tog uzorka i vrijedi:

$$x_r(nT) = x[n]. \tag{1.11}$$

To vrijedi za bilo koji n. Vrijednost interpolacijske funkcije između uzoraka dobiva se sumacijom doprinosa svih uzoraka prema danoj formuli.

Realni sinusni (kosinusni) niz

Realni sinusni niz definiran je izrazom $x[n] = A\cos(\omega_0 n + \phi)$, a A, ω_0, ϕ su realni brojevi, gdje je *A* amplituda, ω_0 kružna frekvencija u radijanima/uzorku, te ϕ početna faza. Niz će biti periodičan s *P* (isti uzorci se ponavljaju nakon *P* uzoraka) ako vrijedi:

$$x[n] = A\cos(\omega_0 n + \phi) = A\cos(\omega_0 (n+P) + \phi)\ , \qquad (1.12)$$

a to će biti zadovoljeno ako je:

$$\omega_0 \cdot P = 2\pi \cdot k, \quad \text{odnosno} \quad \frac{2\pi}{\omega_0} = \frac{P}{k}, \qquad (1.13)$$

Drugim riječima, ako je umnožak $\omega_0 P$ cjelobrojni višekratnik od 2π (*P* i *k* su cijeli brojevi), sinusni niz će biti periodičan. Najmanji *P* za koji vrijedi gornji uvjet, naziva se osnovni period niza. Ako u gornjem uvjetu *P*/*k* nije racionalni broj, niz neće biti periodičan iako će imati anvelopu oblika sinusoide.

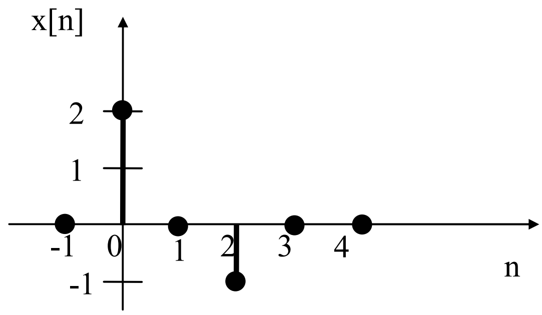
Lako se može pokazati da iz same definicije sinusnog niza proizlaze slijedeća interesantna svojstva. Niz uzoraka dobiven uz kutnu frekvenciju $\pi + \Delta$ jednak je nizu koji bi se dobio uz frekvenciju $\pi - \Delta$. Slično tome, nizovi dobiveni uz kružne frekvencije Δ i $2\pi - \Delta$ su jednaki. Iz svega ovoga slijedi da su nizovi dobiveni uz kružne frekvencije $\omega_0 + 2k\pi,\ -\pi < \omega_0 < \pi,\ k \in \mathbb{Z}$ **ne mogu razlikovati**, tj. identični su.

Zadatak za pripremu

Za signal prikazan slikom odrediti interpolacijsku funkciju oblika $\frac{\sin(x)}{x}$. Izračunati vrijednost funkcije za t_1=0.5 i t_2=1.5 (T =1), te skicirati doprinose interpolacijske funkcije za svaki od uzoraka.

$x[n]$=0 za n<0

n>3



Rješenje zadatka:

Praktična vježba

PROGRAM ZA PRIKAZ SINUSNOG NIZA U MATLABU

1. Napisati MATLAB program za generiranje sinusnog niza $x[n] = A\cos(\omega_0 n + \phi)$ i prikazati taj niz koristeći funkciju `stem`. Neka su amplituda A i početna faza ϕ konstantni, a unos broja uzoraka P i kružne frekvencije ω_0 izvesti funkcijom `input`, uz $0 \le \omega_0, \phi < 2\pi$. Niz indeksa uzoraka definirati pomoću vektora, npr. `n=[0:P-1];`. Za pomoć pri korištenju pojedinih funkcija koristiti sintaksu `help <funkcija>`.

Ponekad je zgodnije diskretni niz uzoraka prikazati pomoću krivulje koja spaja vrhove pojedinih uzoraka. To se ostvaruje pomoću funkcije `plot`. Treba, dakle, u sklopu programa, u drugoj slici (vidi funkciju `figure`) prikazati dobiveni niz pomoću funkcije `plot` tako da se prikažu i sami uzorci (točke) i linija koja spaja pojedine uzorke, npr. `plot(X,Y,'-',X,Y,'o')`.

2. Izvoditi program uz nekoliko različitih vrijednosti kružne frekvencije, (npr. 0.1π, 0.8π i sl.) i broja uzoraka P. Uz zadani ω_0, izračunati koliki mora biti osnovni period niza da bi sinusni niz bio periodičan i zatim prikazati takav niz.

$\omega_0 = 0.1\pi$, $P =$_______ , $\omega_0 = 0.8\pi$, $P =$_______

3. Poznato je da povećanjem frekvencije **vremenski kontinuiranog** sinusnog signala oscilacije postaju sve brže i brže. Kod **vremenski diskretnog** sinusnog niza povećanje frekvencije uzrokuje nešto drugačije ponašanje. Izvoditi program uz P=20 i slijedeće vrijednosti kružne frekvencije 0.1π, 0.8π, π, 1.2π i 1.9π. Odgovoriti na pitanja:

Što se događa kada varijabla ω_0 prijeđe vrijednost π ? ______________________________

____

Koji je raspon kružnih frekvencija za koje su uzorci sinusnog niza dobiveni za odabranu frekvenciju jedinstveni ?

____

PROGRAM ZA OTIPKAVANJE U MATLABU

4. Napisati MATLAB program za otipkavanje vremenski kontinuiranog sinusnog signala $x_c(t) = A\cos(2\pi f_0 \cdot t + \phi)$ frekvencije f_0 (kružne frekvencije $\Omega_0 = 2\pi f_0$) uz period otipkavanja T, te prikazati kontinuirani signal i dobiveni diskretni niz uzoraka. Neka su amplituda A i početna faza ϕ konstantni, a unos f_0 i T izvesti funkcijom `input`. **Koristiti upute dane u nastavku**.

a) Najprije definirati broj uzoraka, L, u koliko će niz biti otipkan i prikazan, te niz indeksa uzoraka, n, kako je to već učinjeno u zadatku 1. Period otipkavanja T neka je varijabla čiji unos treba realizirati pomoću funkcije `input`. Definirati i niz indeksa tn koji odgovaraju vremenskim trenucima u kojima se uzimaju uzorci (vidi izraz 1.1 iz teoretskog dijela lab. vežbe).

b) Vremenski kontinuirani signal nije moguće egzaktno prikazati diskretnim sustavom kao što je računalo. Ono što se može napraviti jest prikaz pomoću velikog broja uzoraka (točaka) tako da dobivamo dojam 'kontinuiranog'. Treba definirati takvu 'kontinuiranu' vremensku os t koja će u rasponu pokrivenom sa L uzoraka (koliko ih promatramo) imati puno više točaka. To se može napraviti pomoću Matlab izraza `t=[0:T/broj_toc:L*T];` gdje srednji broj predstavlja korak, a između dva diskretna uzorka bit će *broj_toc*-1 točaka. Prije izraza za t, definirati neki proizvoljni broj točaka, npr. `broj_toc=20`.

c) Ostvariti unos frekvencije vremenski kontinuiranog signala f_0 funkcijom `input` te napisati naredbu za izračunavanje kružne frekvencije vremenski kontinuiranog signala Ω_0. Na temelju poznatog odnosa, izraziti u Matlabu i kružnu frekvenciju **vremenski diskretnog** signala ω_0 pomoću Ω_0.

d) Napisati Matlab izraz za 'kontinuirani' kosinusni signal x_c pomoću t i f_0. Također izračunati i niz uzoraka x_s koji odgovaraju vrijednostima signala x_c u trenucima otipkavanja. Ovaj niz se dobiva pomoću *tn* i f_0.

e) Izračunati uzorke vremenski diskretnog signala x dobivenog otipkavanjem, na temelju kružne frekvencije ω_0 i niza indeksa n.

f) Sada prikazati sve dobivene signale. Najprije pozvati funkciju `figure` za otvaranje novog prozora za sliku. U **prvom prozoru** (slici) pomoću funkcije `plot` prikazati signale x_c i x_s, svakog ovisno o pripadnoj vremenskoj osi (t, odnosno *tn*) pri čemu uzorke x_s treba prikazati kružićima. Označiti os apscisa oznakom za sekunde naredbom `xlabel('sec');`. Nadalje treba izgenerirati naslov za sliku. Naslov treba sadržavati trenutne vrijednosti varijabli f_0 i T (da kasnije znamo uz koje ulazne parametre je slika ostvarena), formatirane na određeni način te napisane u obliku stringa. Za generiranje stringa koristiti naredbu `sprintf` kako slijedi: `str=sprintf('f0=%0.2f, T=%0.2f',f0,T);`, a za postavljanje naslova na sliku: `title(str)`.

g) Ponovno pozvati funkciju `figure`, te u ovom **drugom prozoru** pomoću funkcije `stem` prikazati diskretne uzorke x ovisne o indeksima n. Os apscisa označiti pomoću `xlabel('uzorci');` te postaviti isti naslov kao i na prvu sliku.

5. Izvesti program uz slijedeće parametre: L=10, f_0=1, T=0.1 i promotriti slike. Nakon toga izvesti program uz isti L i T, ali za f_0 izabrati 4, pa onda 6, 9 i 11. Svaki put se generiraju po dvije nove slike. Usporediti ih i odgovoriti na pitanja:

Uz koje frekvencije kontinuiranog signala je nakon otipkavanja dobiven isti diskretni niz uzoraka? Provjerite računski da li rezultati programa odgovaraju teoriji.

____

____

Kako se naziva pojava do koje je došlo ? Obratiti pažnju na broj diskretnih uzoraka po jednoj periodi 'kontinuiranog' signala. Koliko ih najmanje mora biti da idealno rekonstruirani signal bude jednak polaznom ?

____

Zatvoriti sve prozore naredbom `close all`.

OTIPKAVANJE I INTERPOLACIJA SIGNALA (MATLAB APLIKACIJA)

6. Pokrenuti postojeći program **vj1** unosom naredbe **vj1** <ENTER> u komandni prozor MATLAB programskog okruženja. Ovim se otvara novi prozor s grafičkim sučeljem koje omogućava lako i pregledno razmatranje pojava vezanih uz otipkavanje i interpolaciju signala.

Sam izgled grafičkog sučelja dinamički se mijenja u ovisnosti o unesenim parametrima.

U vježbi će se proučavati efekti diskretizacije signala s posebnim naglaskom na interpolacija signala. Za te potrebe odabrati opciju **otipkavanje sinusnog signala** (padajući izbornik, desno gore). Frekvenciju otipkavanja podesiti na f_0=**50 Hz**, a frekvenciju signala na **5 Hz**. Za odabrani set parametara pritiskom na odgovarajući tab pogledati sam signal, sin(x)/x interpolaciju otipkanih uzoraka (mora se pričekati dok prođe sve uzorke !), rekonstruirani i izvorni signal te njihovu razliku.

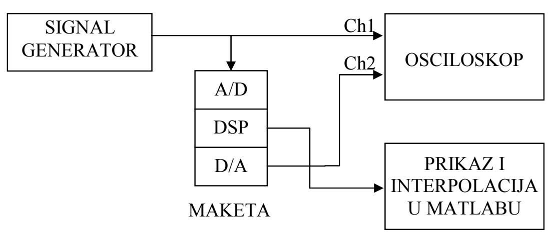
Vidljivo je da je sinusni signal otipkan sa 10 uzoraka po periodi čime je zadovoljen Nyquist-ov kriterij. Uočiti kako se primjenom interpolacijske funkcije na pojedine uzorke i sumacijom pojedinih doprinosa dobiva interpolirani signal. Obratiti pažnju na slijedeće: nakon interpolacije otipkanog signala beskonačnom funkcijom sin(x)/x bi, prema teoriji, dobiveni rekonstruirani signal morao biti identičan izvornom signalu. Ako se pogleda slika koja prikazuje razliku izvornog i rekonstruiranog signala, uočava se da su dva signala vrlo slična, ali da signal razlike ipak postoji. On je posljedica činjenice da se kod proračuna interpolacijske funkcije u ovom programu zanemaruju doprinosi uzoraka sinusa lijevo i desno od danog (na slici vidljivog) intervala.

Promijeniti frekvenciju signala na **45 Hz** i ponovo pogledati sve karakteristike. Signal koje frekvencije je dobiven interpolacijom ?

___

OTIPKAVANJE I INTERPOLACIJA NA DSP MAKETI

7. Pokrenuti program **alias**. Program služi za podešavanje frekvencije otipkavanja signala na ulazu u DSP maketu (a to je signal iz funkcijskog generatora). Prvo se u korisničkom sučelju odabere frekvencija otipkavanja, a zatim se potrebne instrukcije za podešavanje frekvencije otipkavanja "spuštaju" na DSP maketu. Dakle, u ovom se zadatku od cijele funkcionalnosti DSP makete koristi samo njen A/D i D/A pretvornik, tj. dio zadužen za otipkavanje i interpolaciju signala. DSP procesor će samo prosljeđivati uzorke sa A/D pretvornika na D/A pretvornik. Blok-shema sustava i tok signala za ovu vježbu dani su na slici.



Odabrati frekvenciju otipkavanja iznosa **8 kHz**, resetirati DSP maketu. Nakon svakog resetiranja makete potrebno je pričekati minimalno 7 sekundi kako bi odradio inicijalizacijski program na DSP procesoru. Odabrati opciju **Prijenos programa na DSP maketu**. Odabrana akcija pokreće program na DSP procesoru koji otipkava ulazni signal (vidljiv na kanalu Ch 1 na osciloskopu) s odabranom frekvencijom otipkavanja i zatim takav signal prosljeđuje, bez obrade, na izlaz iz makete (kanal Ch 2 osciloskopa).

a) Dok program radi mijenjati frekvenciju ulaznog **sinusnog** signala u intervalu **od 1 kHz do 10 kHz** i promatrati signal dobiven na izlazu iz DSP sustava. Objasniti zašto i kako se mijenja frekvencija i amplituda izlaznog signala? Može li se to povezati sa amplitudno frekvencijskom karakteristikom A/D pretvornika? Pogledati uvodni dio skripte o DSP maketi, Slika 1.4.

___

b) Podesiti na ulazu sinus frekvencije **3.8 kHz** te pogledati izlaz iz makete na Ch2 osciloskopa. Kod toga vremensku bazu osciloskopa podesiti na iznos od **1 ms/ds** (milisekunda po dijelu skale), a osjetljivost Y-osi na **0,2 V/ds**. Odabrati mod rada osciloskopa '**NORM**' i **okidanje na Ch 2**. Kanal Ch 1 isključiti (preklopnik Ch1_Both_Ch2 u položaj Ch 2). Potenciometrom 'LEVEL' podesiti mirnu sliku na osciloskopu. U grubo skicirati sliku u prostor ispod teksta. To što se vidi je rezultat nakon otipkavanja i interpolacije na maketi.

Pritisnuti tipku INTERRUPT na DSP maketi te u programu odabrati opciju **Obrada rezultata sa DSP makete**. Time se prekida izvršavanje programa na DSP maketi, prenose vrijednosti maketom otipkanih uzoraka (njih 4096) u računalo i pokreće MATLAB program za promatranje istih. Program prikazuje otipkane uzorke ulaznog signala, te kroz njih provodi interpolaciju. Promjenom broja promatranih uzoraka (npr. 40 za detaljniji prikaz i 100 za grublji) i rednog broja prvog početnog uzorka pogledati kako izgleda dio otipkanih uzoraka te interpoliranog signala. Skicirati originalni i otipkane uzorke u prostor ispod teksta. Usporediti signal interpoliran u Matlabu sa onim dobivenim na maketi koji je gore precrtan. Komentirati.

____

____

____

U ovom slučaju radi se o otipkavanju signala čija frekvencija je bliska polovici frekvencije otipkavanja (u ovom slučaju 4 kHz). Iako je Nyquist-ov teorem zadovoljen, signal biva uredno otipkan, ali na malo neobičan način. Uzorci su prvo malih vrijednosti, a onda u periodama signala koje slijede postaju sve veći pa se na kraju opet smanjuju. **Uočiti to na prikazu otipkanih uzoraka u Matlabu.** Kod interpolacije u Matlabu nema problema i signal je uredno rekonstruiran jer je korištena širina impulsnog odziva interpolatora proizvoljna i može biti dovoljno velika. S druge strane, stvarni interpolator na maketi ima ograničenja (rad u stvarnom vremenu, zahtjev za malim kašnjenjem sustava) zbog kojih se **ne može koristiti jako širok impulsni odziv interpolatora**. U slučaju interpolacije ovako neobičnih uzoraka kakvi su nastali kada su frekvencija signala i polovica frekvencije otipkavanja bliske, interpolator može još relativno dobro rekonstruirati signal u okolici uzoraka koji su veliki jer su susjedni korišteni uzorci također veliki. Međutim, interpolaciju malih uzoraka ne može ostvariti kako treba zato jer nedostaju doprinosi udaljenih velikih uzoraka (na udaljenostima većim od duljine odziva) koji bi se možda uzimali s malim težinama, ali bi ipak superpozicijom sudjelovali u rekonstrukciji. Zato nastaju propadi (dolovi) u signalu, tj. signal izgleda kao da je moduliran. Pojava je puno manje izražena što je frekvencija ulaznog signala dalje od polovice frekvencije otipkavanja. Zatvoriti prozor odabirom opcije POVRATAK.

Za one koji žele znati i više

c) Za potrebe proučavanja ponašanja D/A pretvornika generirat će se pobudni niz u diskretnoj domeni koji će se periodički slati na ulaz D/A pretvornika. Dakle, u ovom se zadatku ne koristi signal iz funkcijskog generatora već je digitalni signal “umjetno” generiran. Odabrati frekvenciju otipkavanja iznosa 8 kHz, impulsnu pobudu (jedinični impuls) te opciju **Generiranje pobudnog niza**. Na osciloskopu se promatra pravi rezultat, a na računalu rezultat simulacije.

DSP maketa: Na osciloskopu promatrati samo izlazni signal (kanal Ch 2). Namjestiti sliku jednog do dva impulsna odziva.

Proračun u MATLAB-u: Izvorni i u MATLAB-u numerički izračunat interpolirani signal vidljivi su u novo otvorenom MATLAB prozoru.
Zašto je odziv poprimio takav oblik?

____

____

____

Koliko iznosi širina glavne latice (mjeriti na mjestu prolaska kroz nulu)?___________[ms]

d) Odabrati opciju POVRATAK, resetirati maketu, odabrati novu frekvenciju otipkavanja iznosa **5,5125 kHz** te nanovo generirati pobudni niz. Koliko sada iznosi širina glavne latice?___________[ms].

Zašto se gornje dvije vrijednosti razlikuju? U kojoj su vezi te vrijednosti sa frekvencijom otipkavanja?

____

____

9. Ponoviti postupak za **sinusnu pobudu** frekvencije **0,48F_s** te frekvencijom otipkavanja iznosa **5,5125 kHz**.

DSP maketa: Podesiti sliku na osciloskopu prema točci b). Promatrati samo signal na izlazu iz DSP sistema (Ch 2).

Proračun u MATLAB-u: U novo otvorenom MATLAB prozoru vidljiv je izvorni pobudni niz kao i rezultat interpolacije istoga (ponovo je riječ o simulaciji onoga što se događa na DSP maketi). Po želji podesiti poziciju početnog i posljednjeg promatranog uzorka da se dobro vide i detalji i gruba slika, te pogledati pobudni i interpolirani signal. Parametri koje je moguće mijenjati su **širina impulsnog odziva interpolatora** (broj uzoraka izvornog signala koji će biti obuhvaćeni interpolatorom) i **faktor interpolacije**. Širinom impulsnog odziva interpolatora određujemo kvalitetu interpolacije tj. što je taj broj veći to će za interpolaciju jedne točke biti korišten veći broj otipkanih uzoraka lijevo i desno od te točke čime se dobiva točnija vrijednost interpoliranog uzorka. Idealni interpolator morao bi imati beskonačnu širinu impulsnog odziva. Faktorom interpolacije određujemo broj interpoliranih uzoraka +1 između postojeća dva uzorka. Odabirom većeg broja uzoraka dobivamo kvalitetniji prikaz 'kontinuiranog' signala na ekranu, ali istovremeno produljujemo vrijeme računanja interpolacije. Odabrati širinu impulsnog odziva interpolatora **128** i faktor interpolacije **16**. Objasniti zašto postoji razlika između signala prikazanog na osciloskopu i signala dobivenog interpolacijom u programskom paketu MATLAB. (Frekv. sinusa blizu polovice frekv. otikavanja!)

____

____

____

10. Mijenjati širinu impulsnog odziva interpolatora i faktor interpolacije. Posebno pogledati slučaj sa širinom impulsnog odziva interpolatora **10** i faktorom interpolacije **16**. Komentirati dobivene rezultate.

____

____