

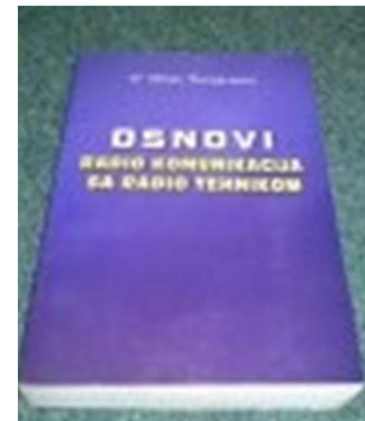
Digitalni sistemi prenosa

Profesor dr Miroslav Lutovac

Sadržaj predmeta, Teorijska nastava

- Uvod u digitalne sisteme prenosa.
- Step en greške u prenosu BER-bit error ratio. Oprema za merenje kvaliteta prenosa.
- Interfejsi na sistemima prenosa: električni G.703, optički STM-N i Ethernet. Konektori, kablovi i digitalni razdelnici.
- Prenos po bakarnim kablovima. Osnovne karakteristike kablova. Tehnologije prenosa u osnovnom opsegu sa linijskim kodovima (HDB3) i sa modulacijom (ADSL i HDSL).
- Prenos po optičkim vlaknima. Karakteristike optičkih vlakana, predajnika i prijemnika i standardi. Proračun veze. Nastavljanje optičkih vlakana. Instalacija.
- Radio relejne veze. Osnovni parametri. Margina za fading. Raspoloživost i kvalitet veze. Proračun veze. Geografski informacioni sistemi i njihova primena.
- Antenski sistemi i antenski stubovi. Instalacija opreme. Frekvencijski plan i interferencija.) ...

Šunjevarić Milan, Osnovi
radio komunikacija sa radio
tehnikom,
Studio Line, Beograd, 2004.

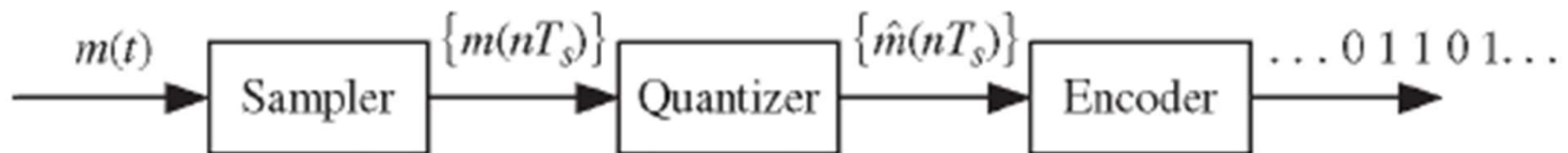


- Digitalni sistemi prenosa
- Lekcija 2:
- Digitalni signali - postupak kvantizacije

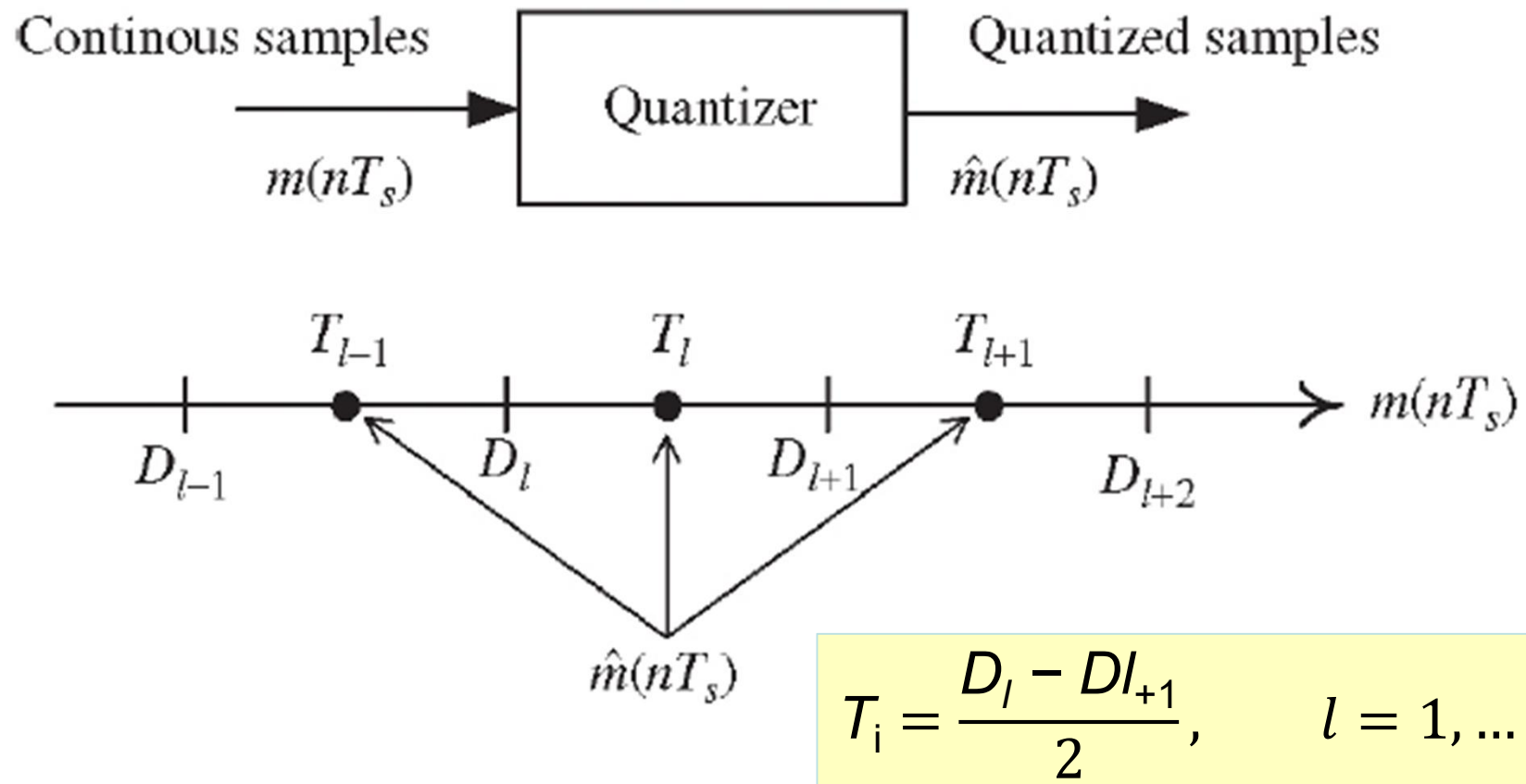
Digitalni signali - postupak kvantizacije

- Kvantizacija predstavlja transformaciju $m(nT_s)$ u diskretne amplitude $\acute{m}(nT_s)$ koje uzimaju vrednosti iz konačnog skupa
- Ako je razlika između dva susedna nivoa amplituda veoma mala, onda je i takva i razlika između $m(nT_s)$ i $\acute{m}(nT_s)$
- Mada, uvek postoji gubitak informacije povezan sa kvantizacionim procesom, bez obzira koliki je fina podela diskretnih amplitudskih nivoa

Blok šema koraka pri digitalizaciji signala



Blok šema kvantizacije signala i nivoi kvantizacije



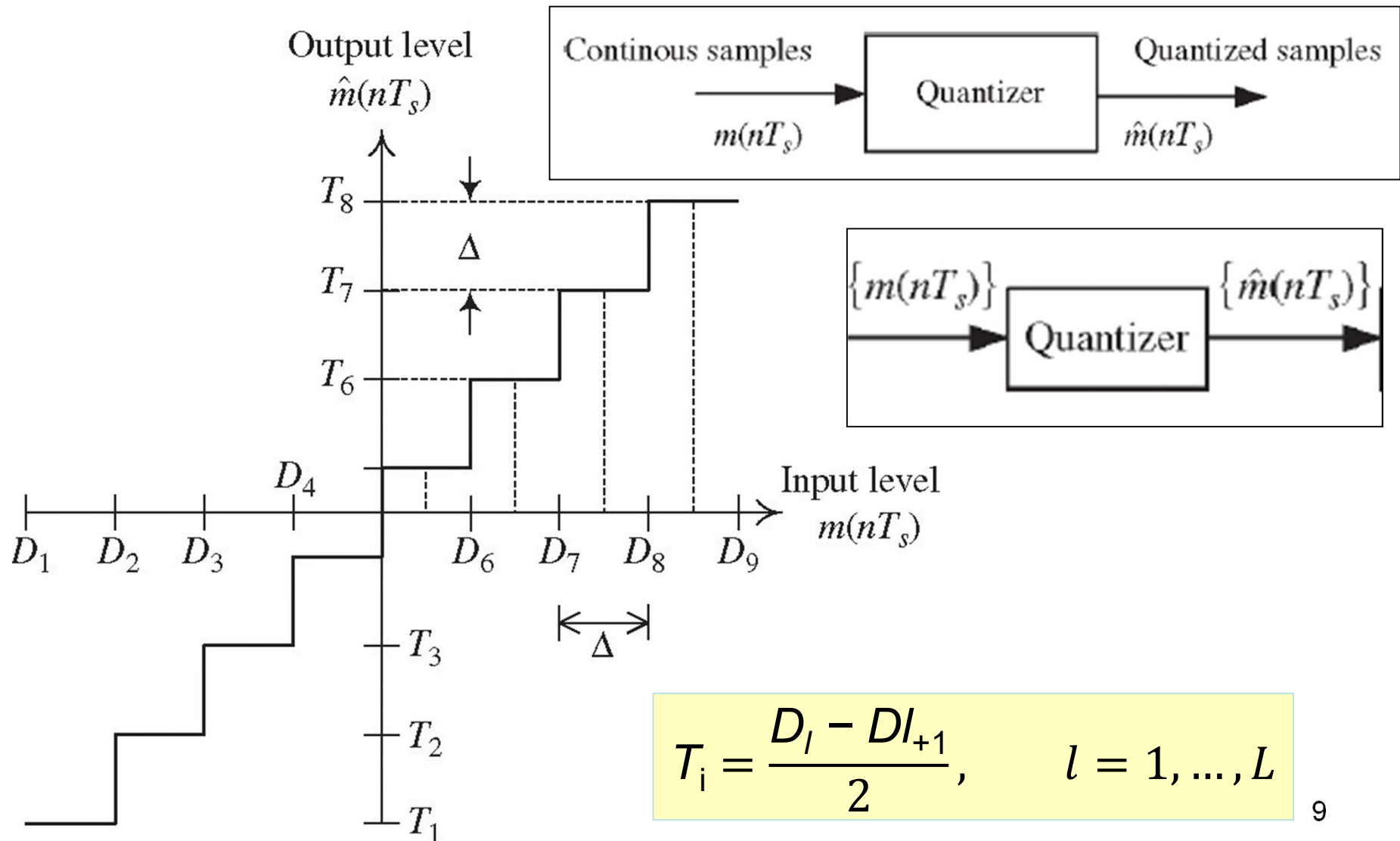
Digitalni signali - postupak kvantizacije

- Kvantizacija trenutnog odbirka je nezavisna od vrednosti prethodnih i sledećih odbiraka
- Kvantizacioni nivo se nalazi u granicama između D_l i D_{l+1}
- Sve amplitude originalnog signala $m(nT_s)$ se zamenjuju sa jednom od konačnog broja amplituda

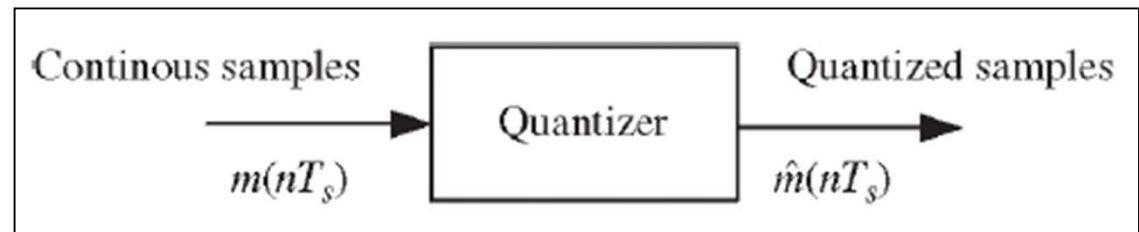
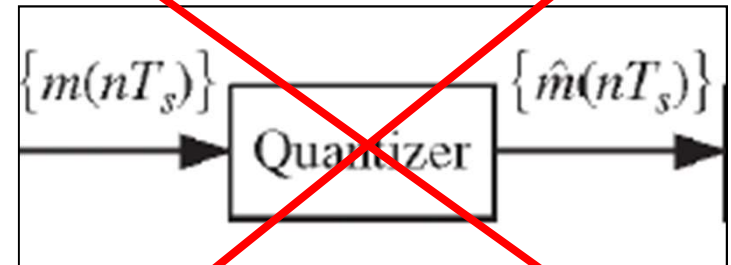
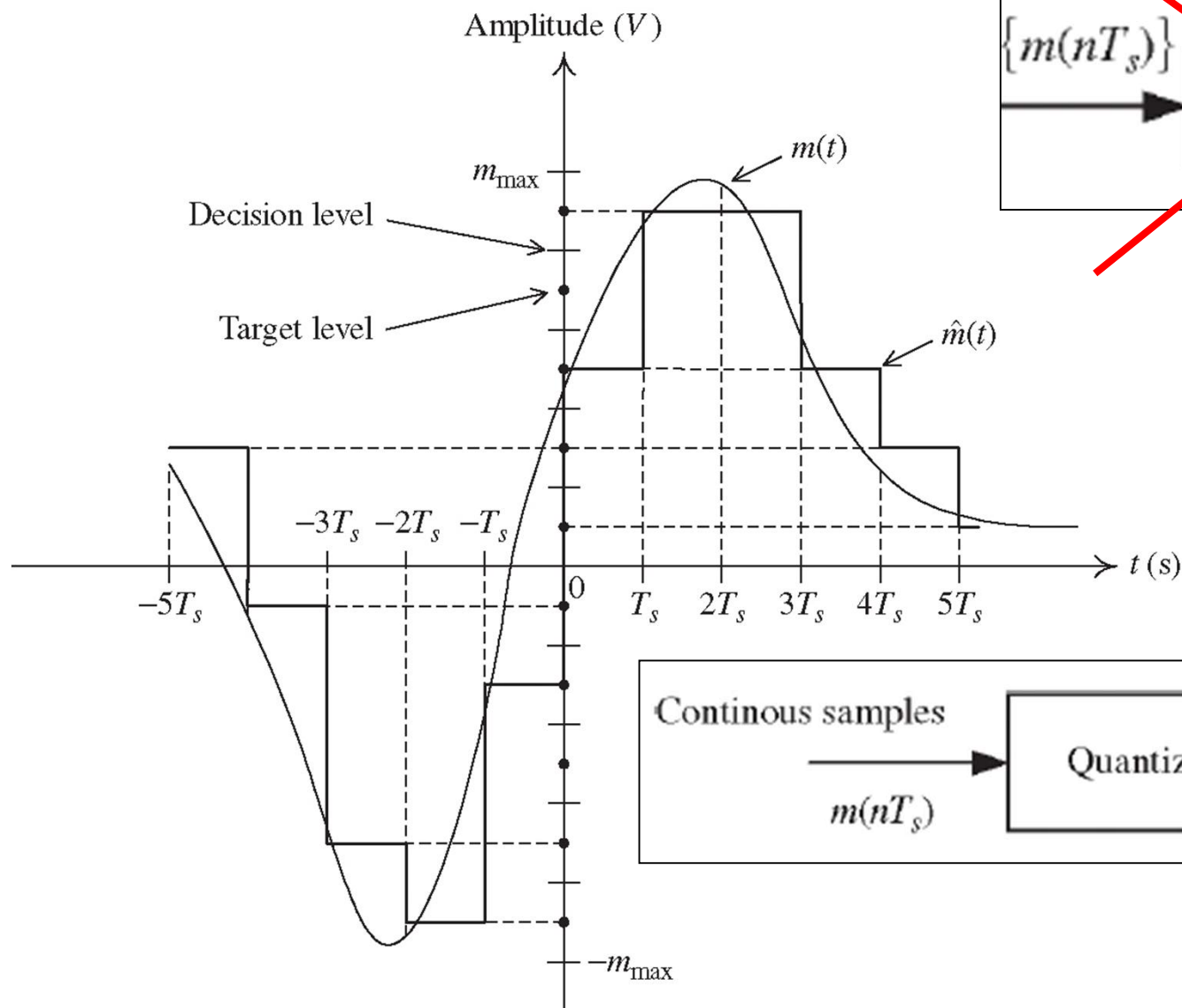
$$T_l = \frac{D_l - D_{l+1}}{2}, \quad l = 1, \dots, L$$

Parametar L predstavlja ukupan broj kvantizacionih nivoa
Korak kvantizacije se određuje kao kolicnik između razlike maksimalne i minimalne vrednosti signala i ukupnog broja nivoa L

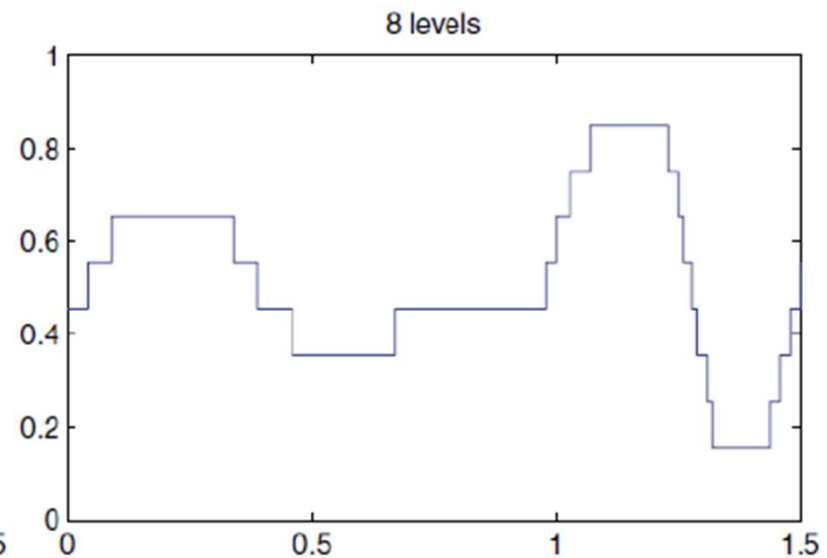
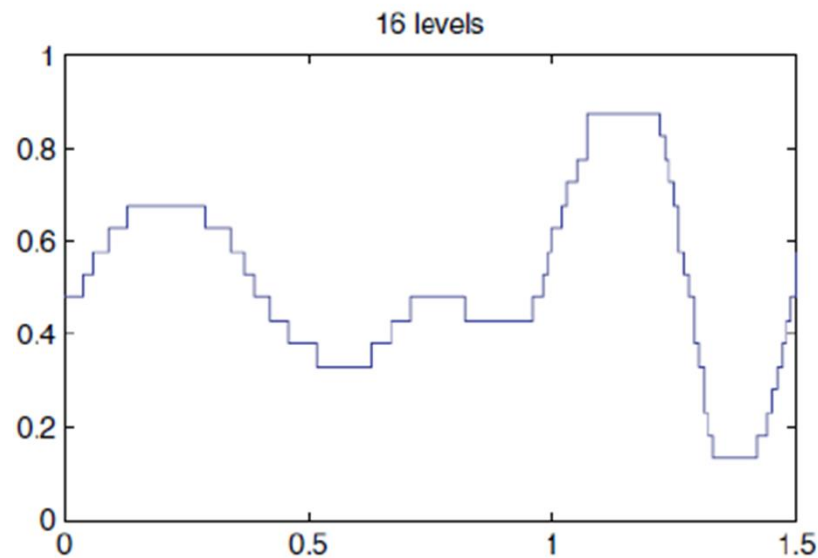
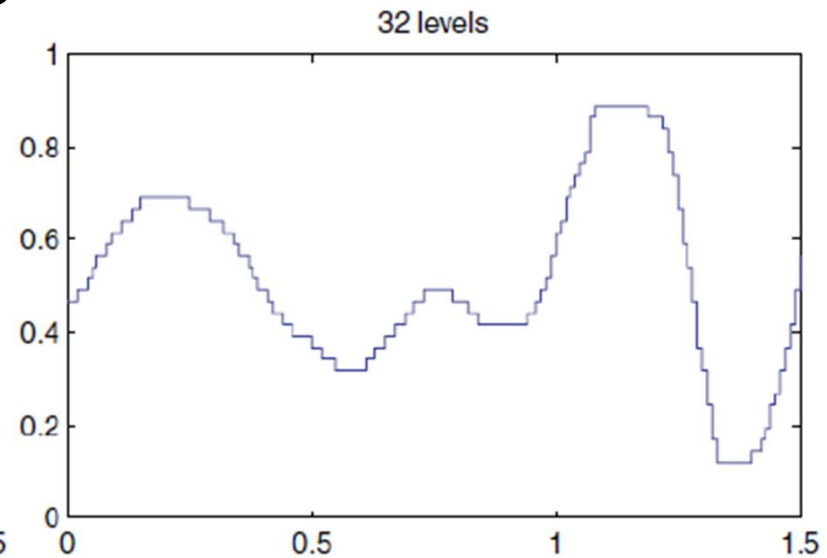
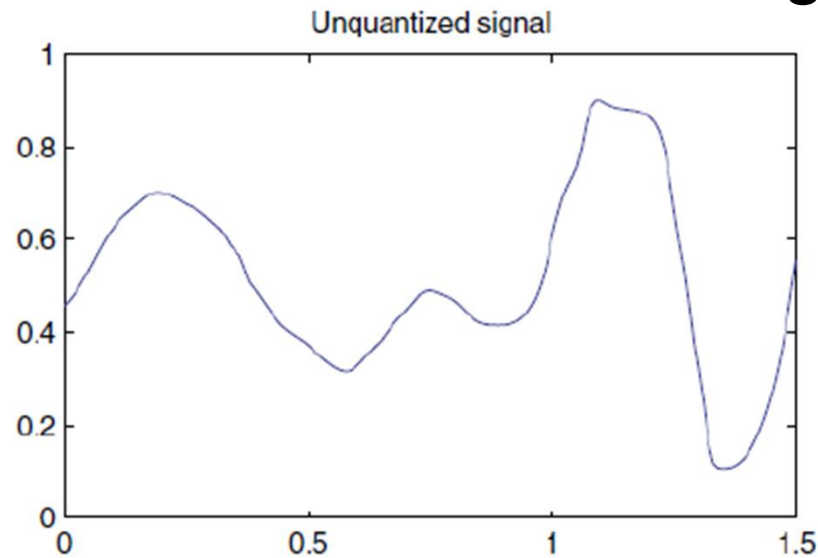
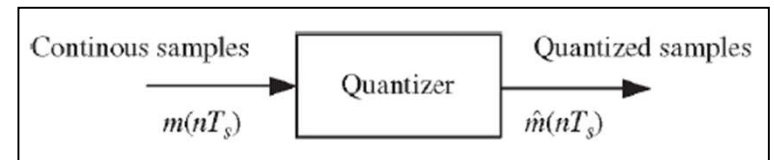
Ulazno izlazna karakteristika kvantizacije



Primer kvantizacije signala



Uticaj broja kvantizacionih nivoa na kvantizovani signal



Kvantizacioni šum

- Kvantizacioni šum (greška) uniformnog kvantizatora se javlja usled aproksimacije stvarne vrednosti amplitude
- Razlika između kvantizacione vrednosti amplitude i stvarne vrednosti amplitude označava se kao kvantizaciona greška $\varepsilon = m - \acute{m}$,
gde važi $-\Delta/2 < \varepsilon < \Delta/2$

Signal-t-Noise Ratio

- P_{QN} srenja snaga šuma uniformne kvantizacije
- P_{S} srednja snaga signala
- SNR, odnos signal-šum (Signal-t-Noise Ratio)

$$P_{\text{QN}} = \frac{\Delta^2}{12}$$

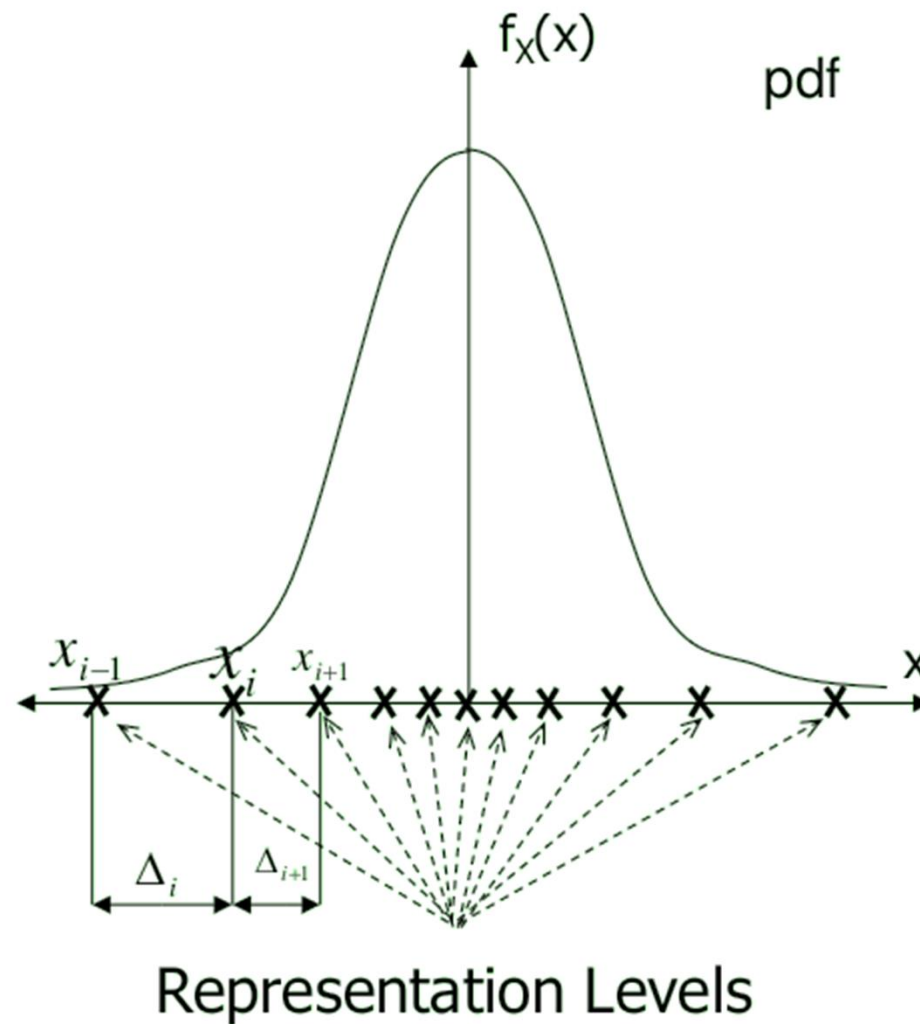
$$P_{\text{S}} = \frac{\Delta^2 L^2}{12}$$

$$\text{SNR} = \frac{P_{\text{S}}}{P_{\text{QN}}} = \frac{\frac{\Delta^2 L^2}{12}}{\frac{\Delta^2}{12}} = L^2$$

Uniformna kvantizacija

- Uniformna kvantizacija je jednostavna za realizaciju, ali ima svoja ograničenja, optimalna je samo za signale sa uniformnom raspodelom
- Realni signali (govor, muzika) imaju veću verovatnoću signala male amplitude, i nemaju uniformnu raspodelu
 - Za signal govora, veoma niske amplitude su dominante u 50 % slučajeva, dok su ostale amplitude približno ravnomerno rasporedene
 - Bolje rešenje je da se koristi neuniformni kvantizator, koji ima manje vrednosti kvantizacionog koraka za male amplitude i manje kvantizacionih nivoa (veći kvantizacioni koraci) za velike amplitude

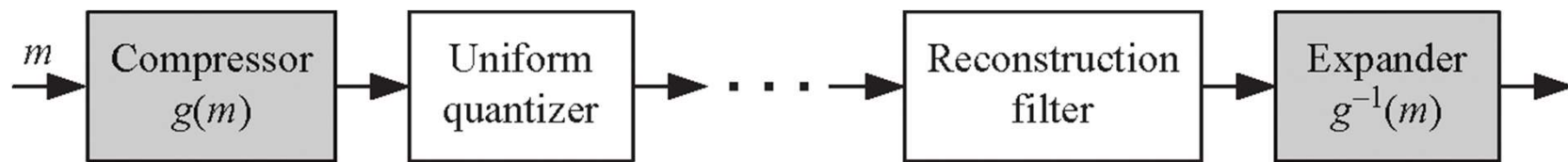
Kvantizacioni nivoi neuniformne kvantizacije



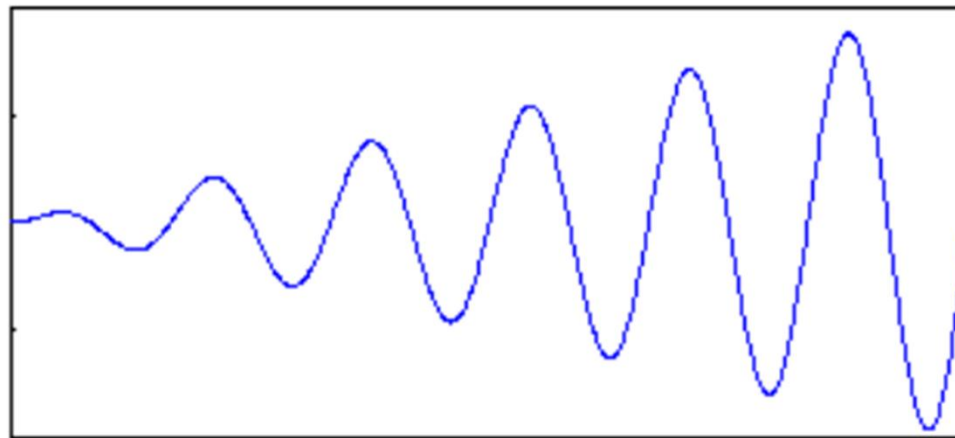
Kompander

- Osnovni koncept neuniformne kvantizacije je da se kvantizacioni nivoi koncentrišu u delu funkcije gustine verovatnoće (Probability Density Function, PDF) signala
- Za realizaciju neuniformne kvantizacije koristi se kompander (Compander - Compressor/Expander), koji predstavlja kompresiju na predajnoj strani i ekspanziju na prijemnoj strani
- Najčešće korišćeni kompanderi koriste logaritamsku kompresiju $y = \log x$, gde su nivoi gušći u blizini koordinatnog početka, a udaljeni za vršne vrednosti x
- Dve najčešće korišćene logaritamske kompresije su μ i A kompresija

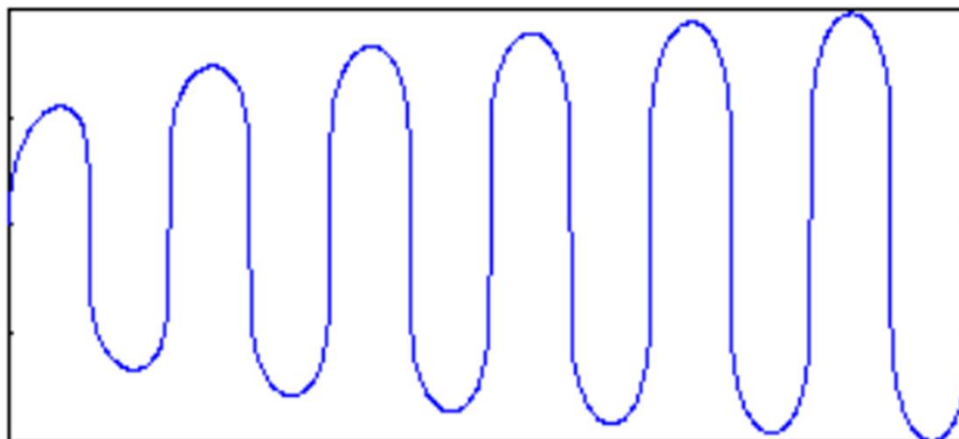
Componding (Compressor/Expander)



Dinamički opseg signala pre i posle kompresije



Original Signal



After Compression

μ zakon kompresije

- μ zakon kompresije za neuniformnu kvantizaciju koristi se u Severnoj Americi i Japanu

$$y = y_{\max} \frac{\ln(1+\mu(|m|/m_{\max}))}{\ln(1+\mu)} \operatorname{sgn}(m)$$

gde je m ulazni signal

A zakon kompresije

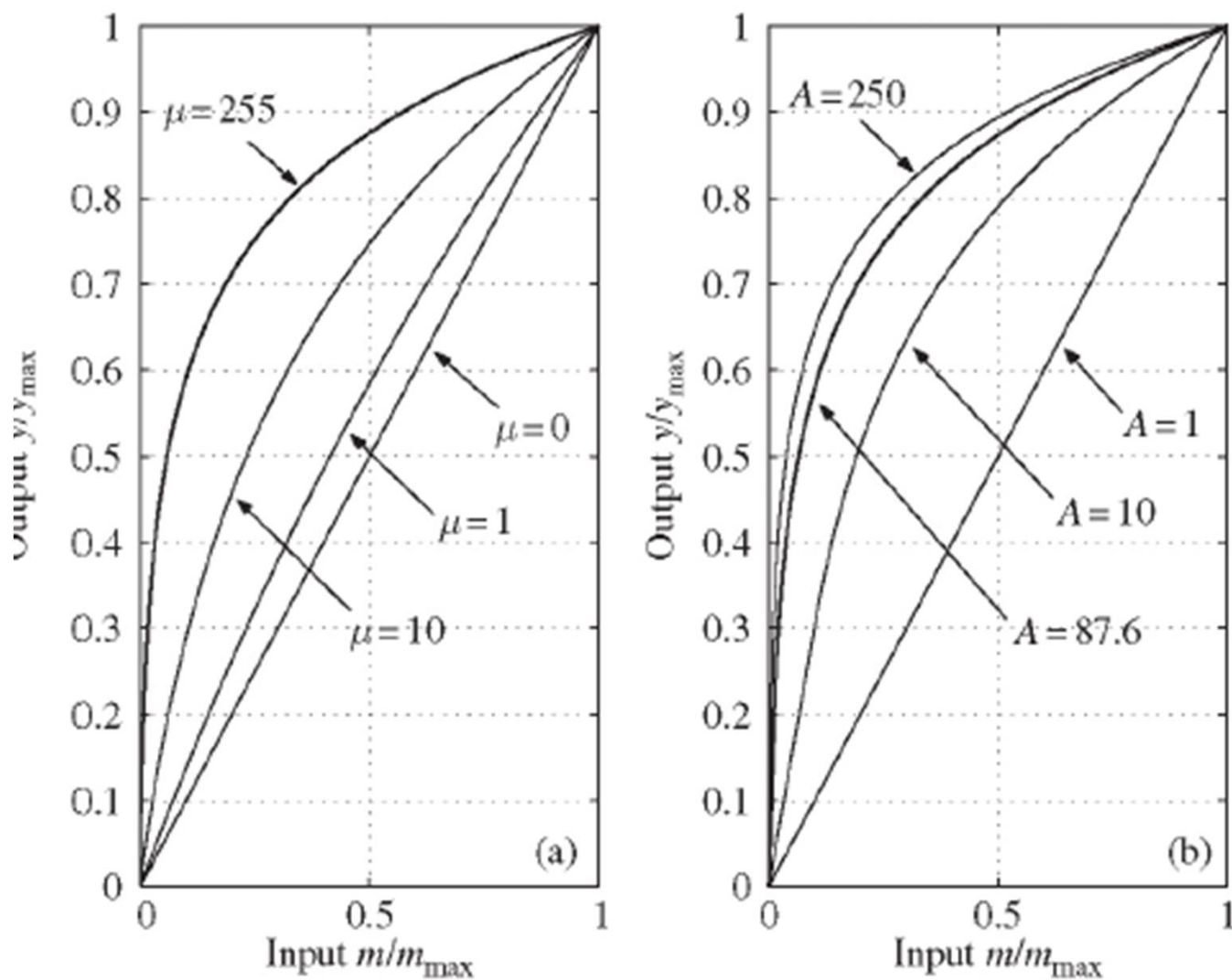
- μ zakon kompresije za neuniformnu kvantizaciju koristi se koristi se u Evropi

$$y = y_{\max} \frac{A(|m|/m_{\max})}{1+\ln(A)} \operatorname{sgn}(m), 0 \leq |m|/m_{\max} \leq \frac{1}{A}$$

$$y = y_{\max} \frac{1+\ln(A(|m|/m_{\max}))}{1+\ln(A)} \operatorname{sgn}(m), \frac{1}{A} < |m|/m_{\max} \leq 1$$

gde je m ulazni signal

Funkcije μ i A zakona kompresije



Dinamički opseg

- Dinamički opseg signala definiše se kao odnos najveće i najmanje amplitude signala
- Dinamički opseg signala se kompresuje pre prenosa, a ekspanduje na prijemnoj strani na vrednosti bliske originalnim
- Algoritam kompresija μ proizvodi nešto veći dinamički opseg signala, nego A princip kompresije uz cenu veće distorzije za male amplitude signala

Dinamički opseg

- Neuniformni kvantizatori obezbeđuju male kvantizacione greške za signale male amplitude, ali povećavaju kvantizacione greške za velike amplitude
- Cilj je da se poveća ukupna vrednost SNR smanjujući grešku za dominantne male amplitude, na račun povećanja šuma u slučaju retkih amplituda velike vrednosti
- Većina signala (govor, video) pokazuje veliki stepen korelacije između susednih odbirka
- Redundantnost može da se iskoristi za povećanje vrednosti SNR za izabrani broj nivoa L
- Ovaj postupak se realizuje diferencijalnom kvantizacijom

Kvantovanje

Digitalna obrada signala,
Prof dr Miodraga Popovića

Diskretizacija po amplitudi naziva se **kvantovanje**

1. **Kvantovanje koeficijenata** utiče na tačnost realizacije funkcije prenosa
2. **Kvantovanje ulaznog i izlaznog signala** generiše šum na izlazu
3. **Kvantovanje proizvoda** generiše šum na izlazu
4. Nelinearni efekti zbog konačne tačnosti **množenja**
5. Nelinearni efekti zbog prekoračenja opsega kod **sabiranja**

Predstavljanje binarnih brojeva sa fiksnom tačkom

Pozitivni broj predstavljen **prirodnim binarnim kodom**

b_M bit najveće težine
(most significant bit – MSB)

b_{-B} bit najmanje težine
(least significant bit – LSB)

$$N = \sum_{i=-B}^M b_i 2^i = b_M b_{M-1} \dots b_0 . b_{-1} \dots b_{-B}$$

$$b_i \in \{0,1\}$$

položaju tačke koja razdvaja celobrojni i razlomački deo

Težinski faktor uz LSB predstavlja razliku dva susedna broja (**rezoluciju binarne predstave**)

Predstavljanje brojeva sa znakom

- Binarni kodovi za predstavljanje brojeva sa znakom nazivaju se **bipolarni kodovi**
 - **znak plus amplituda** (sign-magnitude),
krajnje levi bit = bit znaka
(0 za pozitivne brojeve, 1 za negativne brojeve)
 - **pomereni binarni kod** (sabiranjem sa
apsolutnom vrednošću najnegativnijeg broja najnegativniji
= 00...0, najpozitivniji = 11...1)
 - **komplement jedinice** - prvi komplement,
negativni broj = komplementiranje cifre apsolutne vrednosti
 - **komplement dvojke** - drugi komplement,
negativni broj = oduzimanjem pozitivnog broja od 2

Četvorobitni bipolarni kodovi

	Znak+amplituda	Pomereni binarni kod	Komplement 1	Komplement 2
0.875	0111	1111	0111	0111
0.750	0110	1110	0110	0110
0.625	0101	1101	0101	0101
0.500	0100	1100	0100	0100
0.375	0011	1011	0011	0011
0.250	0010	1010	0010	0010
0.125	0001	1001	0001	0001
0.000	0000/1000	1000	0000/1111	0000
-0.125	1001	0111	1110	1111
-0.250	1010	0110	1101	1110
-0.375	1011	0101	1100	1101
-0.500	1100	0100	1011	1100
-0.625	1101	0011	1010	1011
-0.750	1110	0010	1001	1010
-0.875	1111	0001	1000	1001
-1.000	-	0000	-	1000

Komplement dvojke

- Najčešće korišćeni način predstavljanja označenih brojeva u računarskim sistemima
- Jedinstvena predstava nule
- Rezultat sabiranja više brojeva je korektan ako leži u dozvoljenom opsegu, čak i ako neki međurezultati leže izvan dozvoljenog opsega $-1 \leq N \leq 1-2^{-B}$

$$N = -b_0 + \sum_{i=1}^B b_{-i} 2^{-i}$$

b_0 predstavlja znak broja

$b_0 \cdot b_{-1} b_{-2} \dots b_{-B}$

Digitalni sistemi prenosa

Signali i koeficijenti predstavljani brojevima koji su pravi razlomci

- Signali i koeficijenti predstavljaju se brojevima koji su pravi razlomci sa $B+1$ bita, $B+1$ je najčešće 16, 24, 32, ili 64
- Množenje daje rezultat koji ima $2B+1$ bita
- Sabiranje: može doći do prekoračenja opsega (overflow)

Predstavljanje sa pokretnom tačkom

- Predstavljanje brojeva sa **pokretnom tačkom** povećava dinamički opseg (pomeranje položaja tačke udesno izaziva smanjenje rezolucije)
- M je **mantisa**, označeni broj sa fiksnom tačkom iz opsega $0.5 \leq M < 1$
- p označeni celi broj koji se naziva **eksponent** ili karakteristika
- s je bit za **znak**

$$N = (-1)^s M 2^p$$

IEEE Standard 754

- floating-point processors, arithmetic coprocessors
- 32-bit format: s je bit za znak,
 f je 23-bitni razlomački deo $0 \leq f < 0.5$
 p je 8-bitni ceo broj $0 \leq p < 255$

$$N = (-1)^s (0.5 + f) 2^{p-126}$$

$$3/4 = (-1)^0 (0.5 + 0.25) 2^0$$

$$s=0, f=0, p=0 \rightarrow N=0$$

$$0 \neq (-1)^0 (0.5 + 0) 2^{0-126}$$

IEEE Standard 754

- 64-bit format: s je bit za znak,
 f je 52-bitni razlomački deo $0 \leq f < 0.5$
 p je 11-bitni ceo broj $0 \leq p < 2048$

$$N = (-1)^s (0.5 + f) 2^{p-1023}$$

$$s=0, f=0, p=0 \rightarrow N=0$$

$$0 \neq (-1)^0 (0.5 + 0) 2^{0-1023}$$

$$N = NaN, (\infty + (-\infty)), (0 \times (\pm\infty)), (\infty / \infty), (0 / 0), \sqrt{-|x|}$$

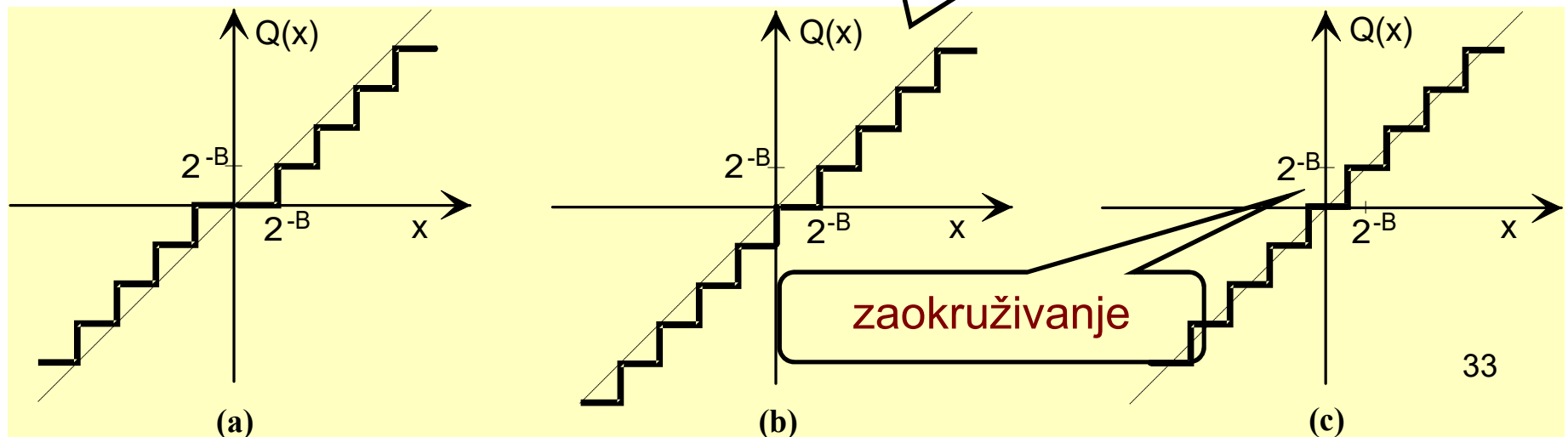
$$N = \pm\infty, (1/0), (-1/0)$$

Greške zbog odsecanja i zaokruživanja

- Skraćivanje (kvantovanje) binarnog broja korišćenjem odsecanja ili zaokruživanja
- Operacija kvantovanja je $Q(x)$, greška kvantovanja je $\varepsilon = Q(x) - x$

Odsecanje, znak plus amplituda

Odsecanje, komplement dvojke



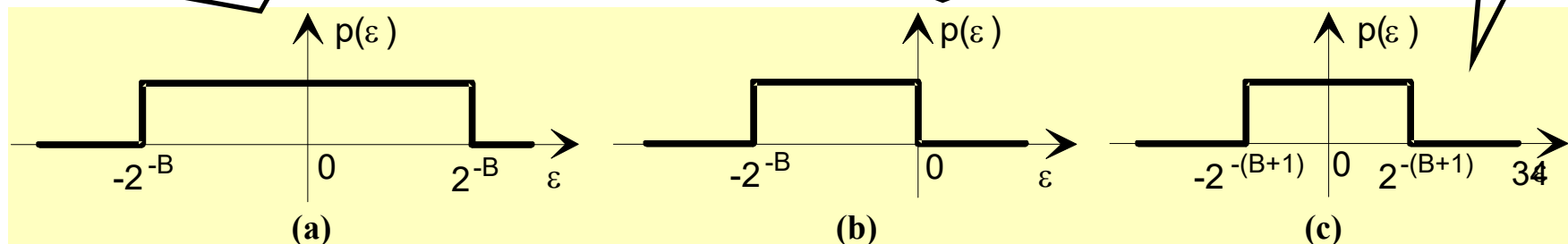
Greška kvantovanja kao aditivni šum

- Koristi se **statistički pristup**
- Proces kvantovanja nekog broja predstavlja se kao **dodavanje aditivnog šuma** nekvantovanoj vrednosti $Q(x)=\varepsilon+x$
- Greška kvantovanja ε se modeluje kao **slučajna promenljiva** koja ima **uniformnu raspodelu** a koja leži u opsegu koji zavisi od načina predstavljanja binarnog broja i načina kvantovanja

Odsecanje, znak plus amplituda

Odsecanje, komplement dvojke

zaokruživanje



Kvantovanje ulaznog signala

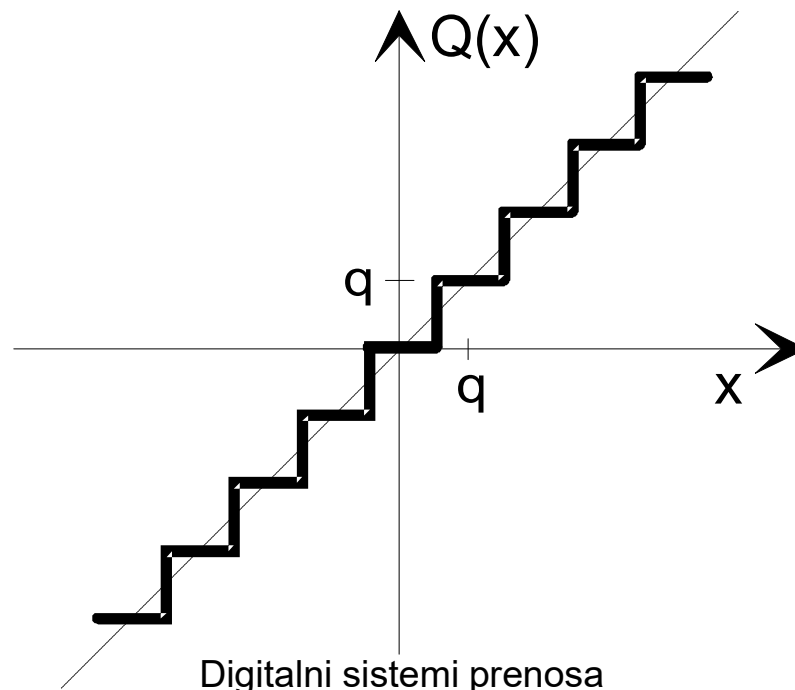
- Realni A/D konvertor
(konverzija analognog u digitalni signal):
 - odabiranje kontinualnog signala konstantnom i dovoljno velikom učestanošću odabiranja
 - izvrši kvantovanje ulaznog signala na potreban broj nivoa koji se predstavljaju u binarnoj formi
- Na izlazu A/D konvertora se dobija diskretizovana i kvantovana predstava analognog signala

$$x_q[n] = Q(x[n]) = Q[x_a(nT)]$$

Greška kvantovanja

Greška kvantovanja može se predstaviti sekvencom

$$\varepsilon[n] = x_q[n] - x[n]$$



Greška kvantovanja kao sekvenca slučajnih brojeva

- Neka je signal normalizovan tako da leži u opsegu $-1 \leq x[n] < 1$
- U postupku kvantovanja koristi se $B+1$ bita
- **Rezolucija ili korak kvantovanja je q**
- **Greška kvantovanja $\varepsilon[n]$ leži u opsegu**

$$q = \frac{1}{2^B} = 2^{-B}$$

$$-\frac{q}{2} < \varepsilon[n] < \frac{q}{2}$$

Predpostavke za grešku kvantovanja

- ✓ **sekvenca slučajnih brojeva**
 - ✓ **uniformnu gustinu raspodele**
 - ✓ **stacionarni beli šum**
 - ✓ **nije korelisana sa signalom**
(korelisana je za male vrednosti signala)
- Uticaj aditivnog šuma se izražava preko **odnosa signal/šum (SNR)**

$$SNR \text{ (dB)} = 10 \log \frac{P_x}{P_n}$$

snaga ulaznog signala P_x
snaga šuma kvantovanja P_n

Odnosa signal/šum

- uniformna gustina raspodele greške kvantovanja
- srednja vrednost greške jednaka nuli
- svaki bit u ulaznog signala povećava odnos signal/šum kvantovanja za 6 dB

$$P_n = \sigma_\varepsilon^2 = \int_{-q/2}^{q/2} \varepsilon^2 p(\varepsilon) d\varepsilon = \frac{1}{12 \times 2^{2B}}$$

$$SNR \text{ (dB)} = 10 \log P_x + 10.8 + 6.02B$$

Ulazni signal sa Gausovom raspodelom

- Kada je analogni **ulazni signal** govor ili muzika, **raspodela amplituda** je vrlo slična **Gausovoj raspodeli**
- **Srednja vrednost** signala je nula
- Verovatnoća da amplituda signala bude četiri puta veća od srednje kvadratne (efektivne) vrednosti signala je vrlo mala
- **Verovatnoća da amplituda odbirka** bude veća od 4σ (σ je srednja kvadratna vrednost signala – efektivna vrednost) iznosi 0.00064
- Da bi se **izbeglo prekoračenje opsega** uzuma se da je maksimalna amplituda 4σ

$$SNR \text{ (dB)} = 6.02B - 1.25$$

Kvantovanje izlaznog signala

- A/D i D/A konvertori najčešće imaju rezoluciju 8-16 bita
- Šum koji se postupkom kvantovanja **unesu** u ulazni signal se **ne može eliminisati** i pojavljuje se na izlazu
- Interne aritmetičke operacije u digitalnim procesorima signala izvode sa tačnošću od 16-64 bita
- Pre uvođenja signala u D/A konvertor potrebno je da se izlazni signal predstavi sa manjim brojem bita
- Time se uvodi dodatni izvor šuma koji povećava nivo izlaznog šuma za oko 3 dB
- Izvor šuma izlaznog signala se često zanemaruje

Kvantovanje koeficijenata

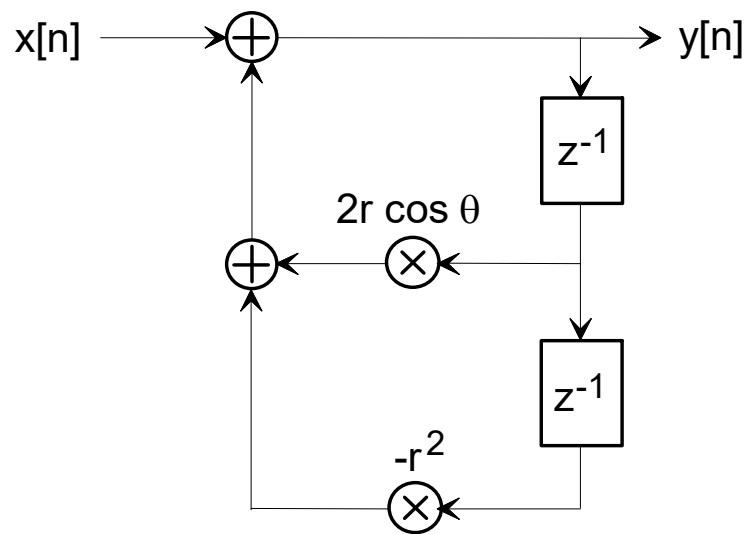
- U sintezi funkcija prenosa koriste se računarski programi u kojima su promenljive predstavljene u binarnom sistemu sa pokretnom tačkom (za dužinu reči od 32 bita, 1 bit za znak, 23 bita za mantisu i 8 bita za eksponent)
- Kada se koristi znatno manji broj bita, pojavljuje se problem uticaja predstavljanja koeficijenata na osobine sistema
- Dolazi do deformacija amplitudske i fazne karakteristike i pomeraj polova i nula funkcije prenosa u odnosu na idealni položaj
- Potrebno je odabrati optimalan broj bita za reprezentaciju signala i koeficijenata

Zašto kvantovanje ?

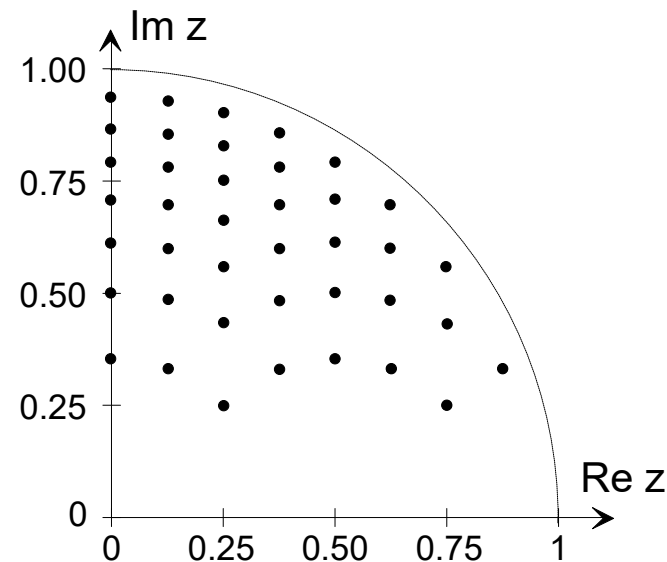
- U custom fixed-point implementations (VLSI, FPGA), **smanjenje tačnosti**
 - smanjuje površinu na čipu i
 - povećava brzinu procesiranja
- Analiza i optimizacija:
 - kvantovanje koeficijenata
 - zaokruživanje ili odsecanje međurezultata
 - prekoračenje opsega

Kvantovanje koeficijenata sistema

- $H(z)$ je funkcija prenosa dobijena nekim od postupaka sinteze, gde su koeficijenti prikazani sa dovoljno velikim brojem bita
- Kada se izvrši kvantovanje koeficijenata, dobija se nova funkcija prenosa



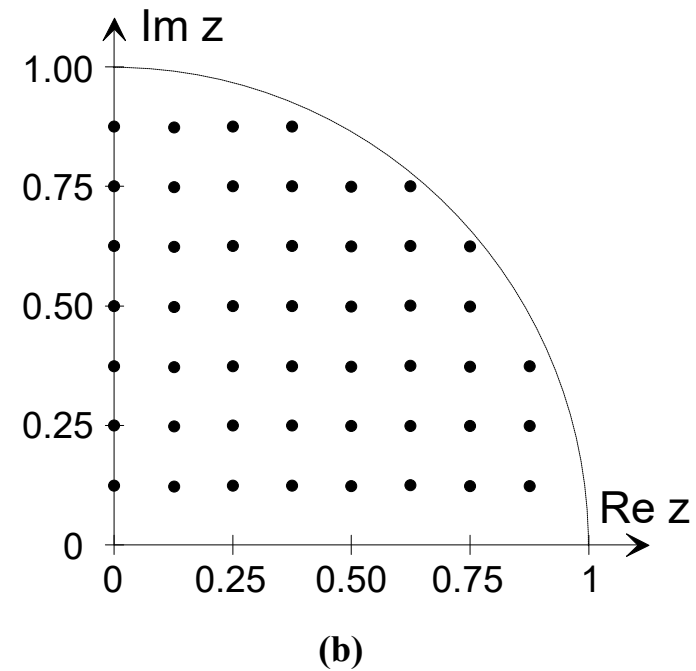
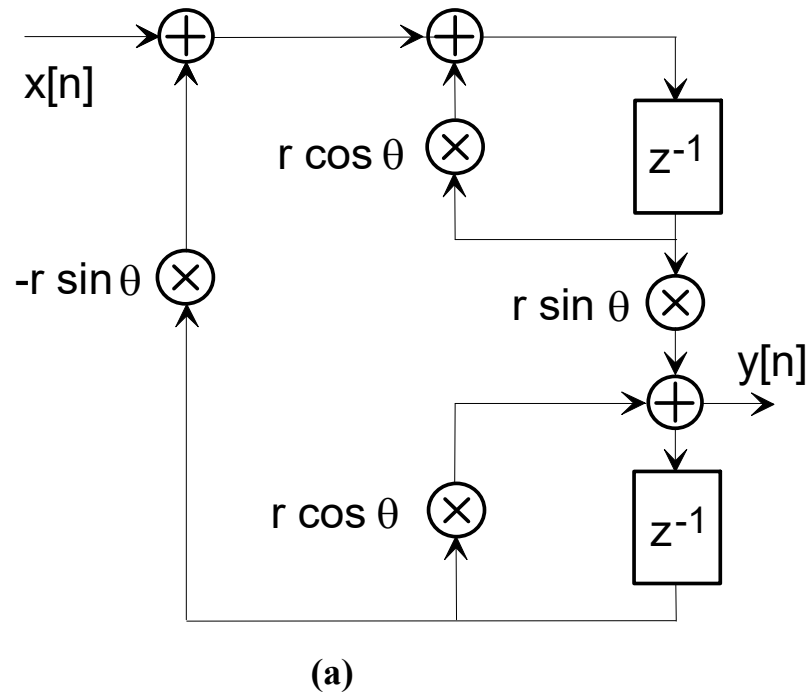
(a)



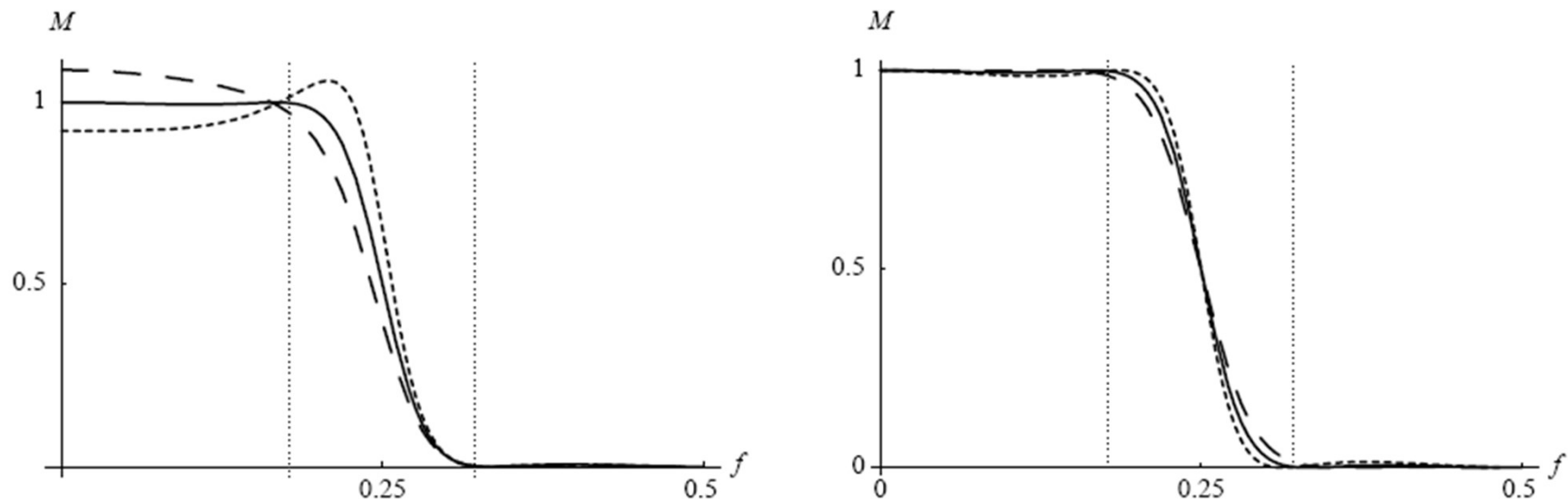
(b)

Digitalni sistemi prenosa

Spregnuta forma

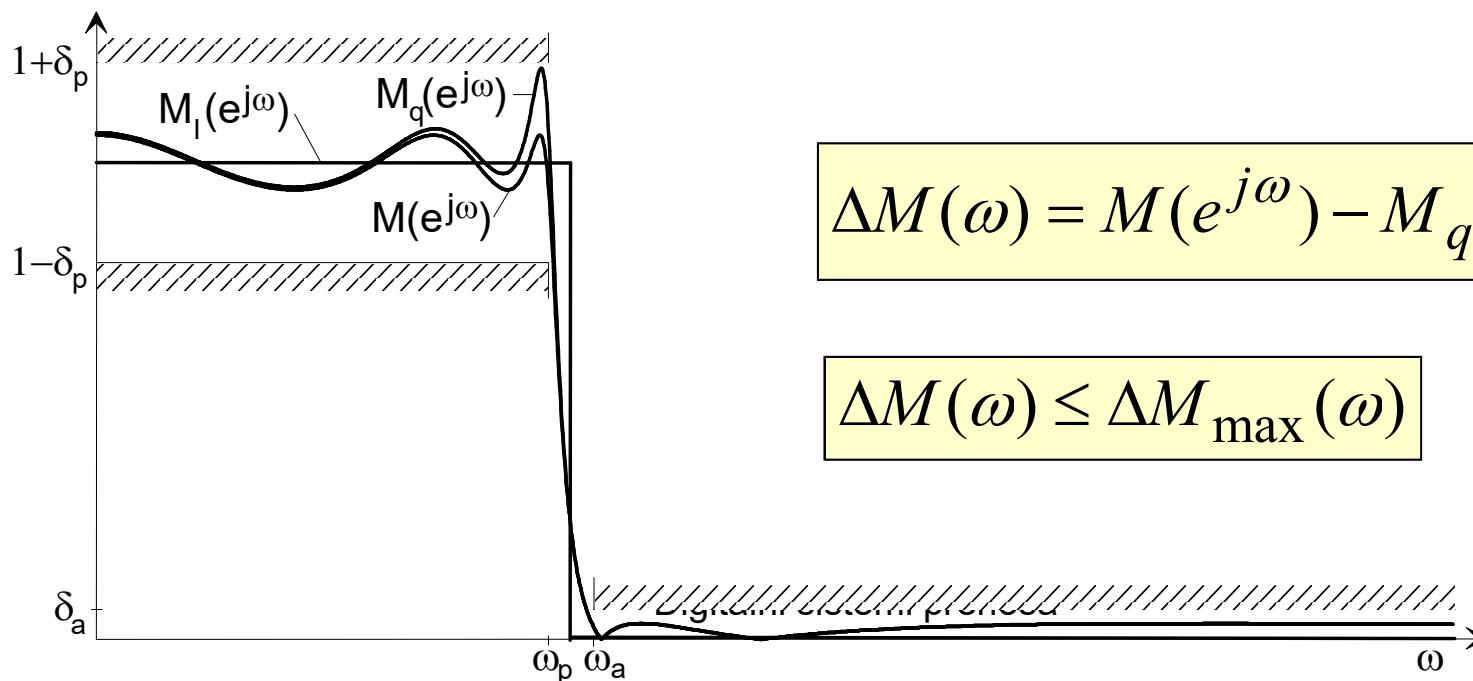


Veliki broj mogućih realizacija



Amplitudska karakteristika

- $M(e^{j\omega})$ je amplitudska karakteristika funkcije prenosa pre kvantovanja koeficijenata
- $M_q(e^{j\omega})$ je amplitudska karakteristika posle kvantovanja koeficijenata
- $M_I(e^{j\omega})$ je amplitudska karakteristika idealnog filtra



$$\Delta M(\omega) = M(e^{j\omega}) - M_q(e^{j\omega})$$

$$\Delta M(\omega) \leq \Delta M_{\max}(\omega)$$

Statistička procena optimalne dužine reči

- Sistem sa fiksnom tačkom i zaokruživanjem c
- odstupanje koeficijenata i amplitudske karakteristike su slučajnim brojevi sa uniformnom raspodelom
- WL ukupan potrební broj bita (**statistička dužina reči**)
- q optimalni korak kvantovanja, N_c broj koeficijenata
- M bita **levo** od tačke, B bita **desno od tačke**
- $x_1=2$ za faktor pouzdanosti 0.95

$$WL = 1 + B + M$$

$$M = \log_2 \left[\max_{1 \leq i \leq N_c} |c_i| \right]$$

$$-q/2 \leq \Delta c_i \leq q/2$$

$$B = \log_2 \frac{1}{q} = \log_2 \frac{x_1 S_T}{\sqrt{12} \Delta M_{\max}}$$

$$S_T^2 = \sum_{i=1}^{N_c} S_{48 \Delta c_i}^2$$

Kvantovanje proizvoda

- Sistem sa **fiksnom tačkom**, množenjem dva binarna broja koji su predstavljani sa $B+1$ bitom dobija se proizvod od $2B+1$ bita
- Da bi se mogle vršiti dalje operacije sa dobijenim rezultatom, potrebno je skratiti rezultat na polaznu dužinu od $B+1$ bita
- Množenje digitalnog signala $x[n]$ sa koeficijentom c_i i kvantovanje rezultata $Q(.)$
- $\varepsilon_i[n]$ sekvenca predstavlja diskretni aditivni šum

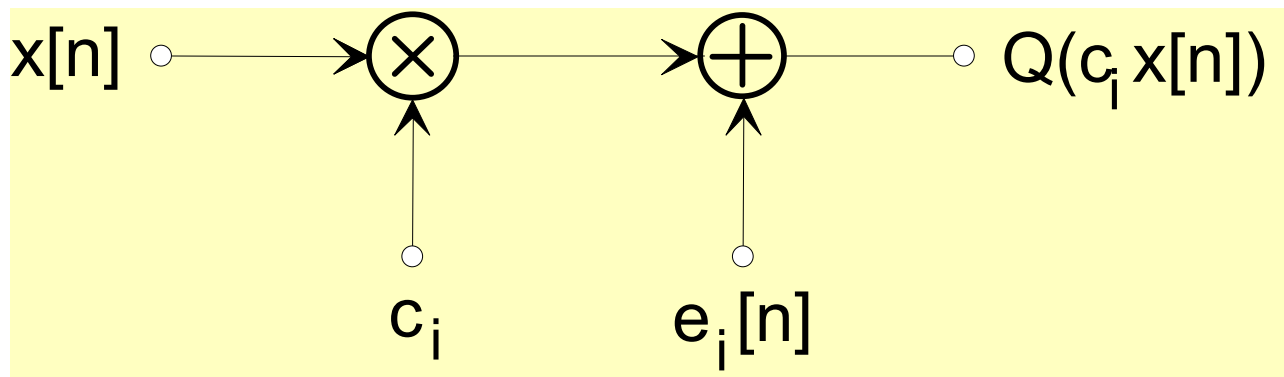
$$Q(c_i x[n]) = c_i x[n] + \varepsilon_i[n]$$

Greška kvantovanja $\varepsilon_i[n]$

- ima uniformnu raspodelu
- predstavlja stacionarni beli šum
- nije korelisana sa signalom koji se množi sa konstantom
- nije korelisana sa ulaznim signalom
- nije korelisana sa greškom kvantovanja drugog koeficijenta

Model kvantovanja rezultata množenja

- Primenjuje se linearni model šuma, kojim se mogu odrediti osnovne statističke karakteristike šuma na izlazu kao što su srednja vrednost, varijansa, korelacione funkcije
- Svakom množaču u blok dijagramu digitalnog procesora signala može se pridružiti izvor šuma, $e_i[n]$



Spektralna gustina snage šuma

$q=2^{-B}$ korak kvantovanja

k_j predstavlja broj množača čiji su izlazi vezani na ulaze j -tog sabirača

N_s je broj sabirača u mreži

$G_j(z)$ je funkcija prenosa od izlaza j -tog sabirača do izlaza celog filtra

$$S_y(e^{j\omega}) = \frac{q^2}{12} \sum_{j=1}^{N_s} k_j |G_j(e^{j\omega})|^2$$

Varijansa ili
ukupna srednja snaga
izlaznog šuma

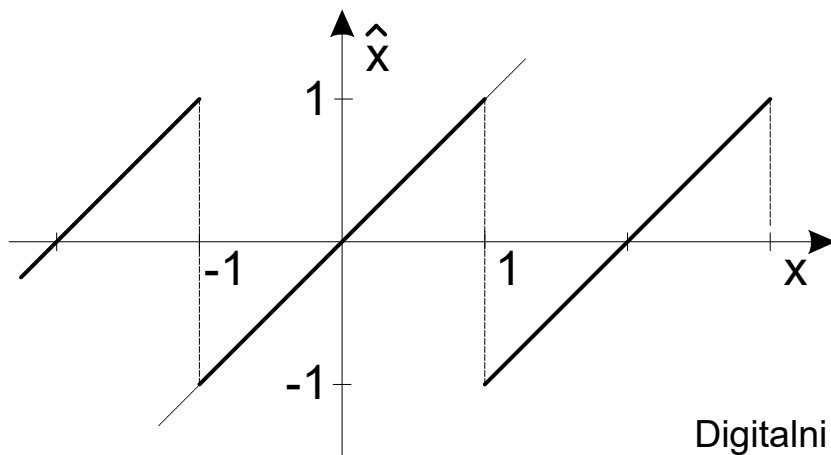
$$\sigma_y^2 = \frac{q^2}{24\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \left[\sum_{j=1}^{N_s} k_j |G_j(e^{j\omega})|^2 \right] d\omega$$

Skaliranje koeficijenata funkcije prenosa

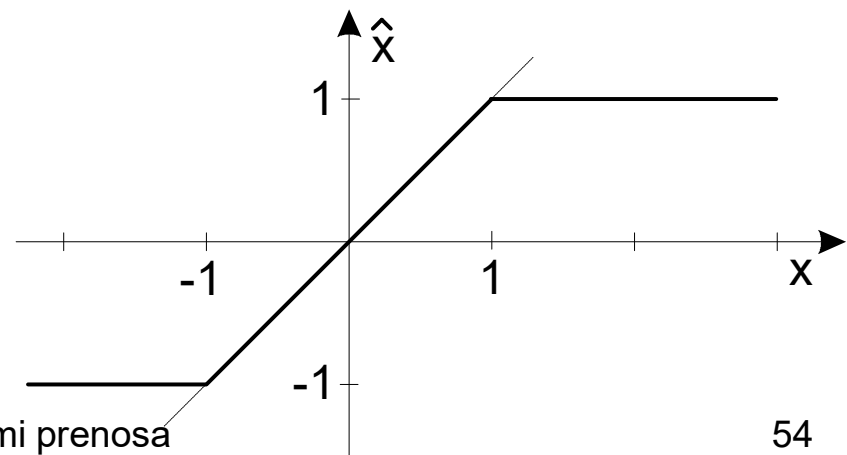
- U svakom čvoru vrednost signala može prevazići **raspoloživi dinamički opseg**, koji je određen brojem raspoloživih bita, pa je potrebno **smanjiti nivo signala** promenom koeficijenata
- Smanjenje nivoa signala kvari **odnos signal/šum**
- Odrediti **optimalne vrednosti koeficijenata** kojima se realizuje željena funkcija prenosa i maksimalni odnos signal/šum
- Čvorovi u kojima se mora ispitivati da li signal leži u dozvoljenom opsegu su čvorovi iz kojih polazi bar jedna grana koja predstavlja množač

Overflow - prekoračenja opsega

- fixed-point aritmetika: rezultat aritmetičke operacije može da premaši dozvoljeni opseg vrednosti - **overflow**
- Nova vrednost mora da se koristi iz opsega dozvoljenih vrednosti
- Zbog *prekoračenja opsega pri sabiranju*



(a)



(b)

Digitalni sistemi prenosa

Zasićenje ili komplement dvojke?

1. *Saturation arithmetic*

If $1 < x$, then $y = 1$

If $x < -1$ then $y = -1$

2. *Two's complement overflow*

If $1 \leq x$ then $y = x - 2$

If $x < -1$ then $y = x + 2$

x je rezultat aritmetičke operacije

y je broj koji pripada dozvoljenom opsegu

Nelinearni efekti

- Ako se uquine pobudni signal stabilnog IIR diskretnog sistema izlazni signal bi trebalo da opada ka nuli: *granični ciklus pri nultoj pobudi* ne opada ka nuli

Limit cycles overflow oscillations

- Kada je ulazni signal filtra konstantan, ili se sporo menja, izlaz može da osciluje
- Male oscilacije koje su posledica greške usled zaokruživanja, ili odsecanja, zovu se ***limit-cycle effects***
- Overflow koji nastaje usled sabiranja (velike vrednosti na ulazu) ***overflow oscillations***

Efekat mrtve zone

Dead band effect

- Izlazna sekvenca može biti konstantna kao posledica operacije zaokruživanja
- Ako izlaz ne prati promene ulaza, taj fenomen se zove ***dead band effect***

Coefficients quantization

```
H1 = copy(H); % Keep a copy of the original filter
nBits1 = 8; % Use 8 bits for coefficients
set(H1, 'CoeffWordLength', nBits1);
```

```
H1 =

    FilterStructure: 'Direct-Form FIR'
      Arithmetic: 'fixed'
      Numerator: [1x23 double]
 PersistentMemory: false

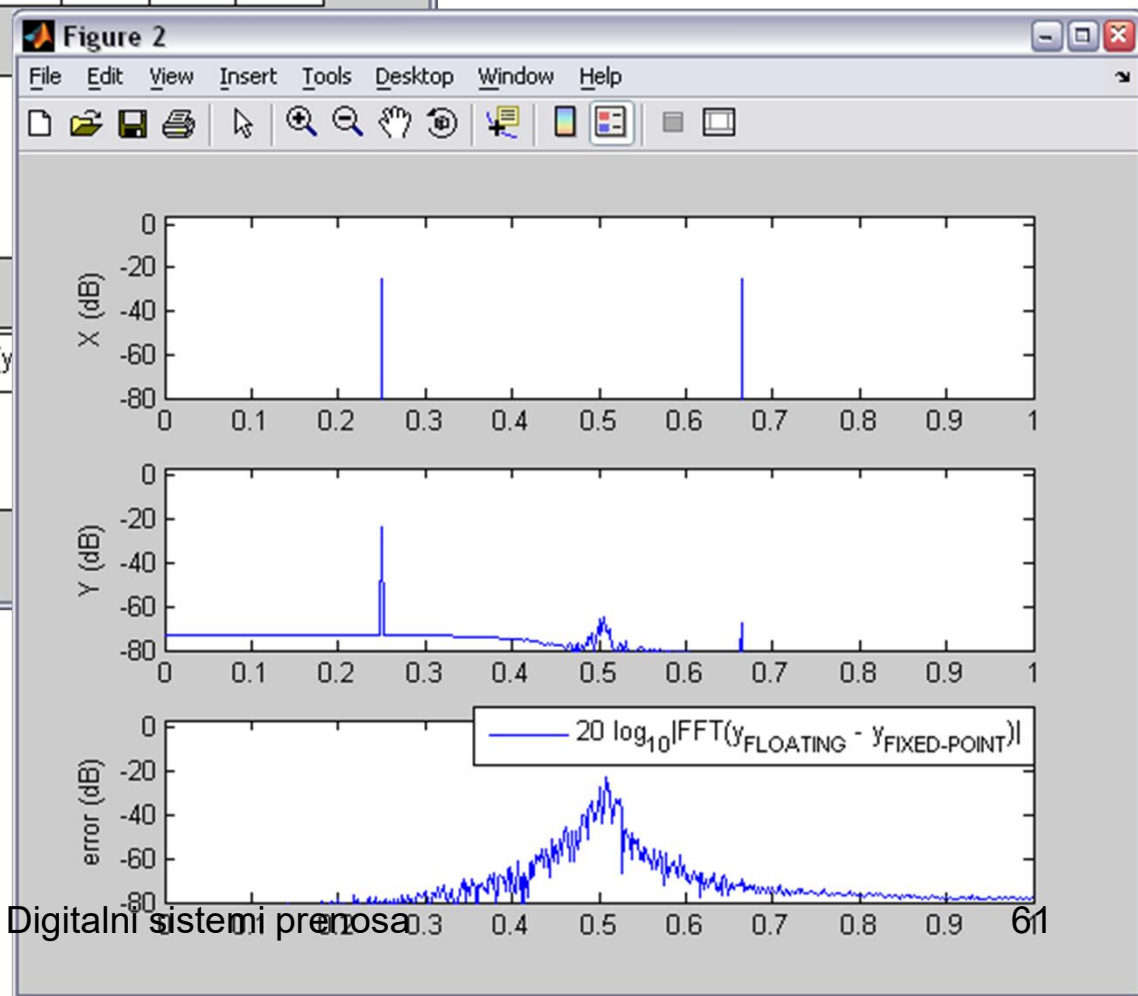
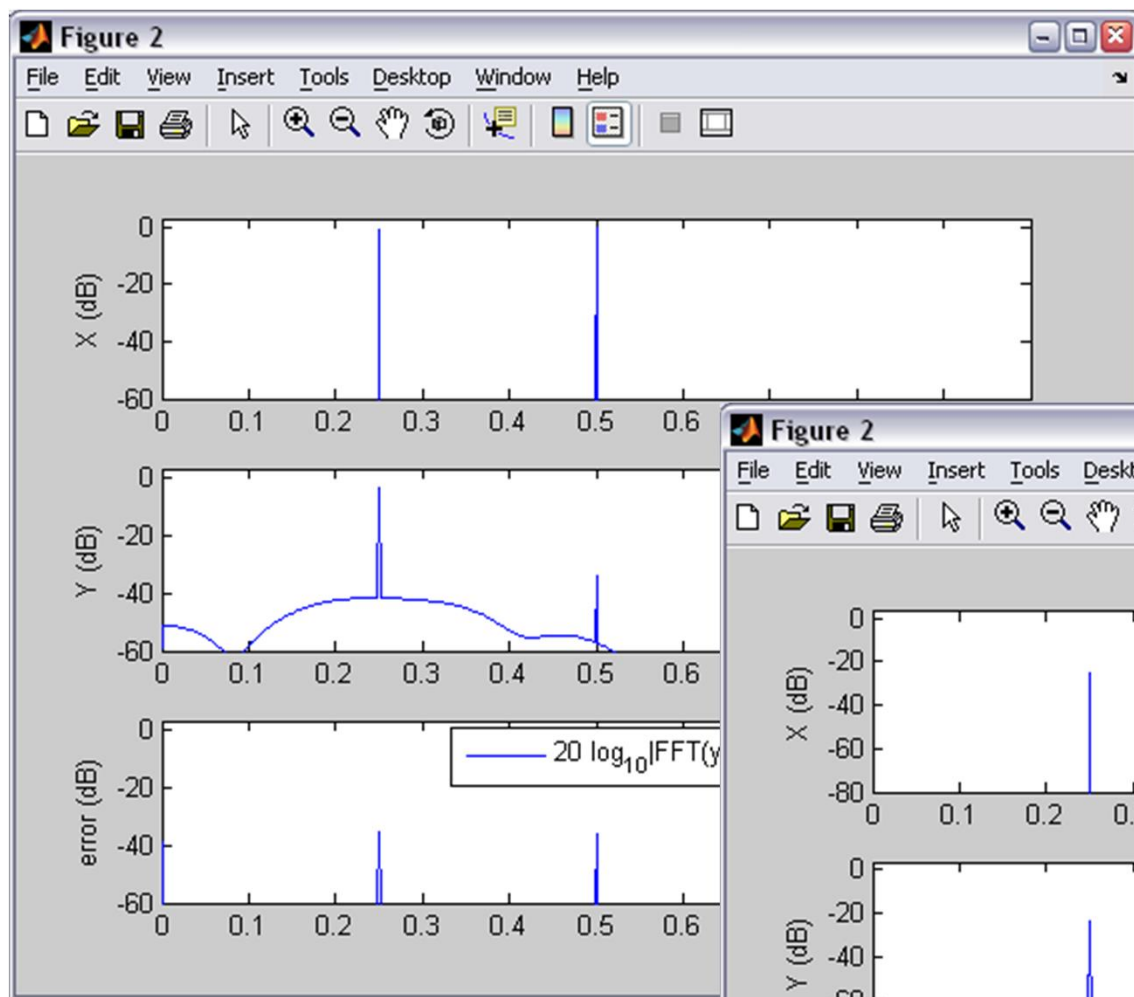
    CoeffWordLength: 8
    CoeffAutoScale: true
           Signed: true
```

Product quantization

```
H2 = copy(H1);
```

```
set(H2, 'ProductMode', 'KeepMSB', 'ProductWordLength', 8);
```

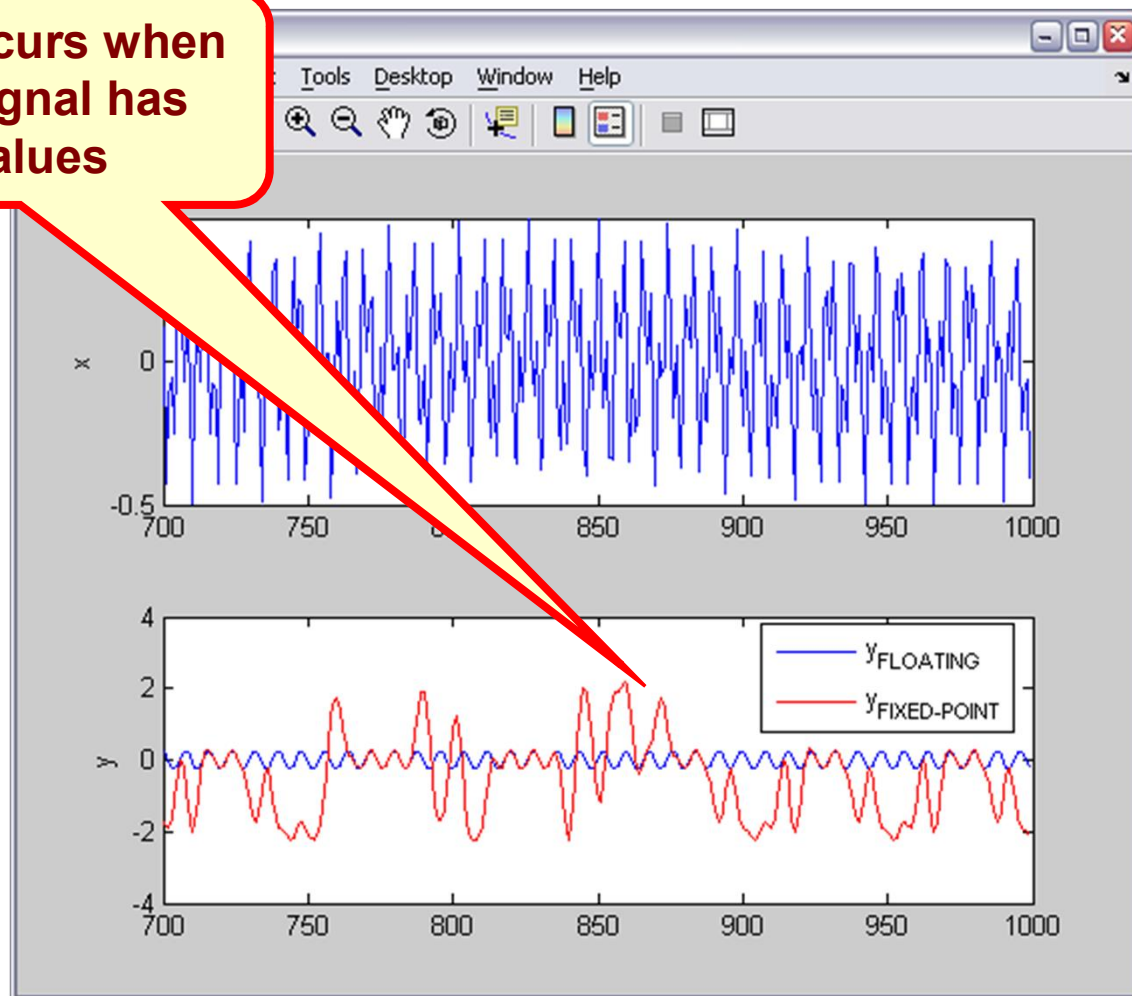
```
H2 = FilterStructure: 'Direct-Form FIR'  
      Arithmetic: 'fixed'  
      Numerator: [1x23 double]  
PersistentMemory: false  
      CoeffWordLength: 8  
      CoeffAutoScale: true  
      Signed: true  
      InputWordLength: 16  
      InputFracLength: 15  
      OutputWordLength: 16  
      OutputMode: 'AvoidOverflow'  
      ProductMode: 'KeepMSB'  
      ProductWordLength: 8
```



Digitalni sistemi prenosa

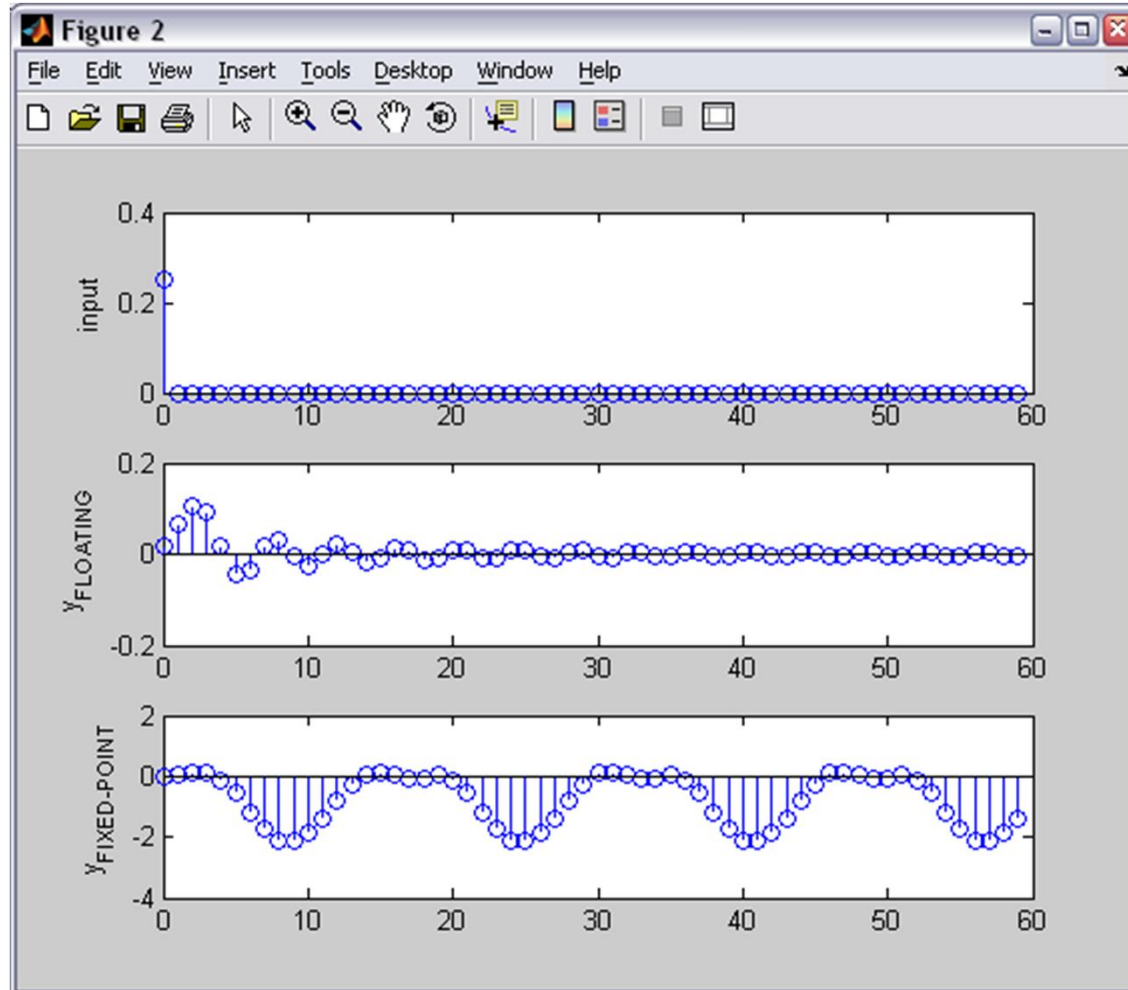
Overflow

Overflow occurs when
the input signal has
large values

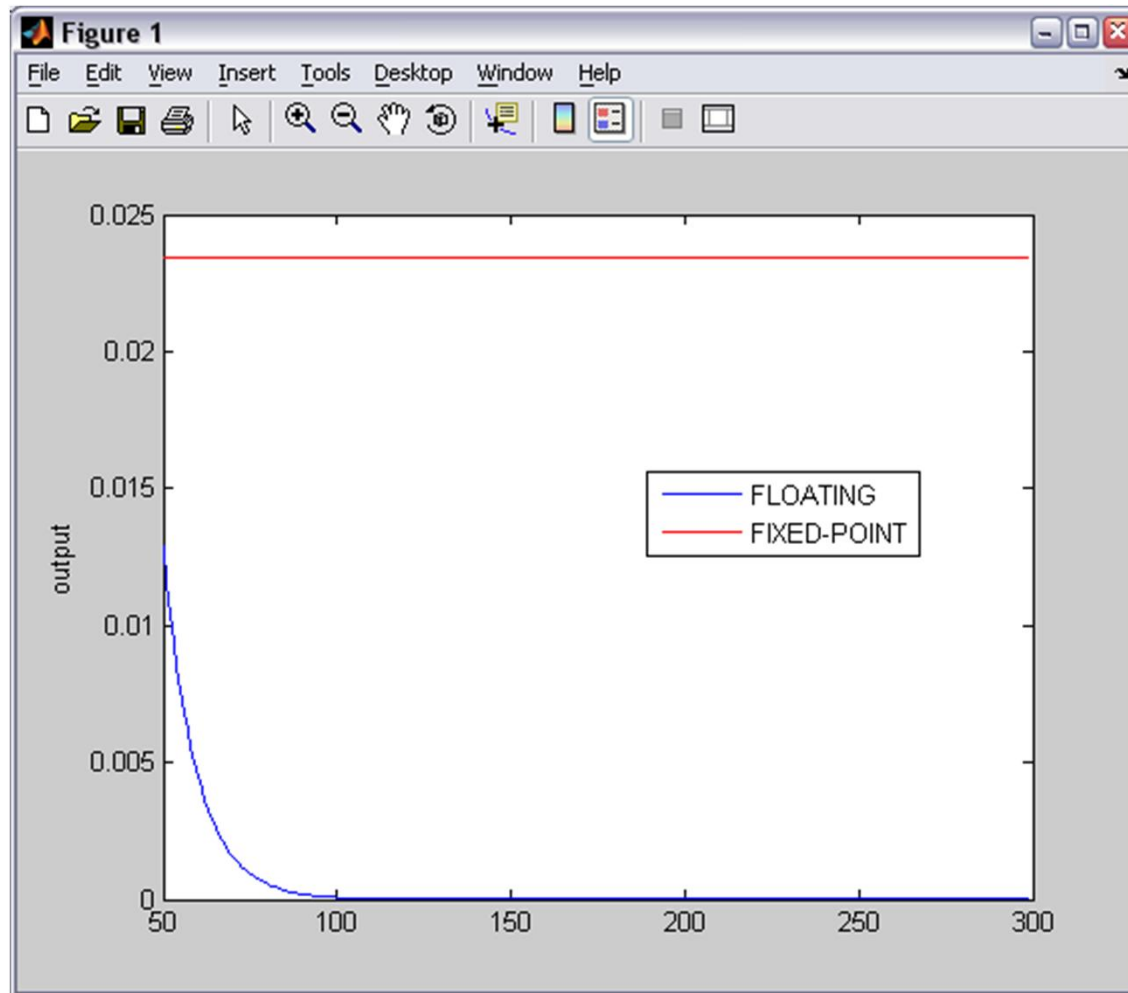


Digitalni sistemi prenosa

Limit cycles



Dead band



Profesor dr Miroslav Lutovac

mlutovac@viser.edu.rs

Ova prezentacija je nekomercijalna.

Slajdovi mogu da sadrže materijale preuzete sa Interneta, stručne i naučne građe, koji su zaštićeni Zakonom o autorskim i srodnim pravima.

Ova prezentacija se može koristiti samo privremeno tokom usmenog izlaganja nastavnika u cilju informisanja i upućivanja studenata na dalji stručni, istraživački i naučni rad i u druge svrhe se ne sme koristiti –

Član 44 - Dozvoljeno je bez dozvole autora i bez plaćanja autorske naknade za nekomercijalne svrhe nastave:

(1) javno izvođenje ili predstavljanje objavljenih dela u obliku neposrednog poučavanja na nastavi;

- ZAKON O AUTORSKOM I SRODNIM PRAVIMA

("Sl. glasnik RS", br. 104/2009 i 99/2011)