

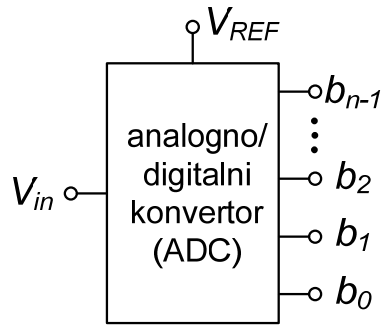
4. Analogno-digitalni konvertori

4.1 Opšta razmatranja

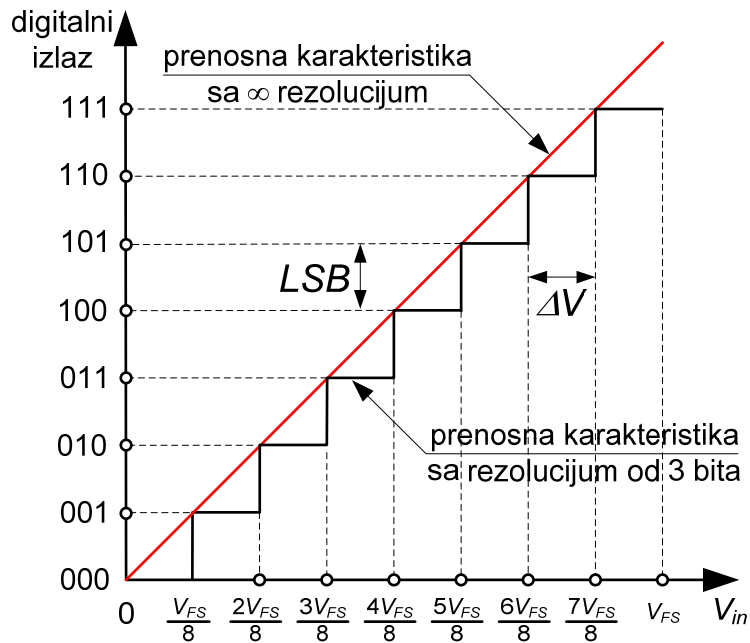
- Analogno-digitalni konvertor (analog-to-analog converter – ADC) je elektronski sklop koji ulazni analogni signal (napon) V_{in} pretvara u digitalnu kombinaciju iskazanu bitima $b_0, b_1, b_2, \dots, b_{n-1}$ na svom izlazu, slika 4.1. Ulazni napon V_{in} direktno je proporcionalan digitalnoj kombinaciji $b_0, b_1, b_2, \dots, b_{n-1}$ na izlazu.
- Rezolucija n analogno-digitalnog konvertora predstavljena je brojem bita digitalne kombinacije na izlazu.
- Bit b_0 naziva se bit najmanje važnosti (the least significant bit - LSB), dok se b_{n-1} naziva bit najveće važnosti (the most significant bit – MSB).
- Pomoću n bita moguće je generisati 2^n kombinacija. To znači da svaka kombinacija bita $b_0, b_1, b_2, \dots, b_{n-1}$ na izlazu analogno-digitalnog konvertora odgovara jedinstvenom opsegu (kvantu ΔV) analognog napona V_{in} na ulazu, a broj tih različitih opsega (kvantova ΔV) analognog napona na ulazu iznosi 2^n . Idealna ulazno-izlazna (prenosna) karakteristika 3-bitnog analogno-digitalnog konvertora prikazana je na slici 4.2. Idealna ulazno-izlazna (prenosna) karakteristika 3-bitnog analogno-digitalnog konvertora horizontalno pomjerena u lijevo za polovinu kvanta $\Delta V/2$ prikazana je na slici 4.3. Kada broj bita n na ulazu analogno-digitalnog konvertora postaje beskonačno veliki ($n \rightarrow \infty$), ulazno-izlazna karakteristika analogno-digitalnog konvertora postaje prava linija.
- Greška kvantizacije (kvantizacioni šum) analogno-digitalnog konvertora predstavlja razliku ulazno-izlazne karakteristike analogno-digitalnog konvertora beskonačno velike rezolucije i ulazno-izlazne karakteristike realnog analogno-digitalnog konvertora konačne rezolucije. Na slikama 4.4 i 4.5 prikazane su greške kvantizacije (kvantizacioni šum) analogno-digitalnih konvertora čije su ulazno-izlazne karakteristike prikazane na slikama 4.2 i 4.3.
- Najmanja promjena analognog napona V_{in} na ulazu analogno-digitalnog konvertora koja uzrokuje promjenu kombinacije bita $b_0, b_1, b_2, \dots, b_{n-1}$ za 1 LSB na izlazu analogno-digitalnog konvertora naziva se naponom kvanta ΔV (rezolucioni napon, osjetljivost analogno-digitalnog konvertora). Za analogno-digitalne konvertore čije su ulazno-izlazne karakteristike prikazane na slikama 4.2 i 4.3 napon kvanta ΔV izračunava se prema sljedećem izrazu

$$\Delta V = \frac{V_{FS}}{2^n}, \quad (4.1)$$

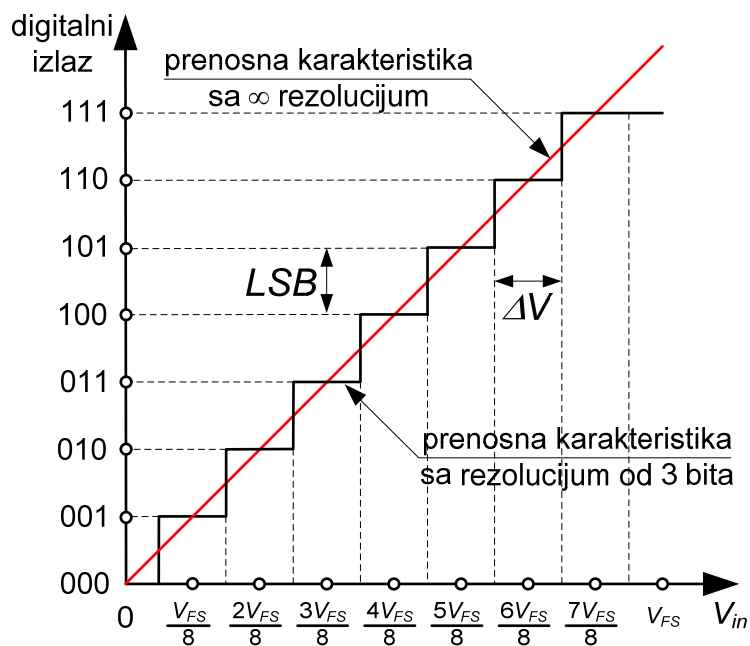
gdje je V_{FS} napon pune skale koji predstavlja najveći napon na ulazu analogno-digitalnog konvertora, $V_{FS} = V_{inmax}$.



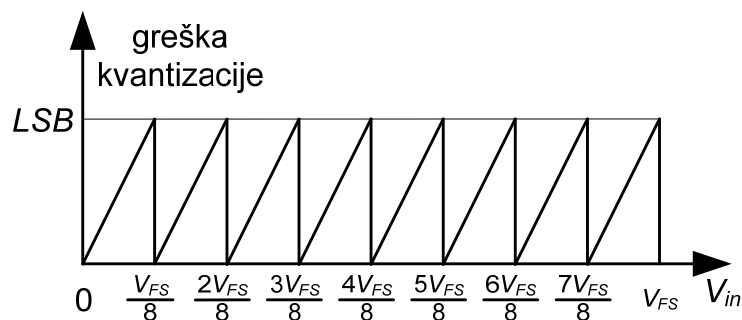
Slika 4.1. Blok-šema analogno-digitalnog konvertora n -bitne rezolucije.



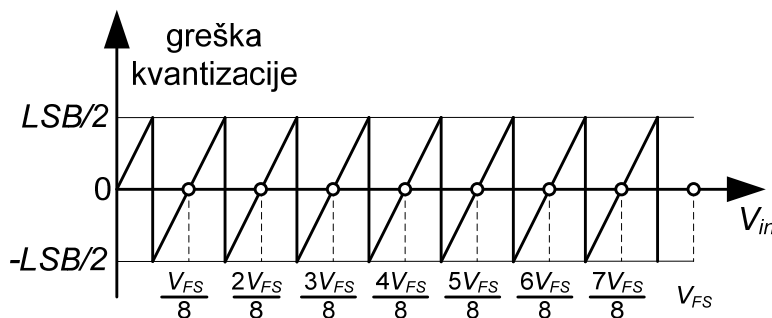
Slika. 4.2. Idealna ulazno-izlazna (prenosna) karakteristika 3-bitnog analogno-digitalnog konvertora.



Slika. 4.3. Idealna ulazno-izlazna (prenosna) karakteristika 3-bitnog analogno-digitalnog konvertora pomjerena u lijevo za $\Delta V/2 = V_{REF}/16$.



Slika 4.4. Greška kvantizacije (kvantizacioni šum) analogno-digitalnog konvertora čija je ulazno-izlazna karakteristika prikazana na slici 4.2.



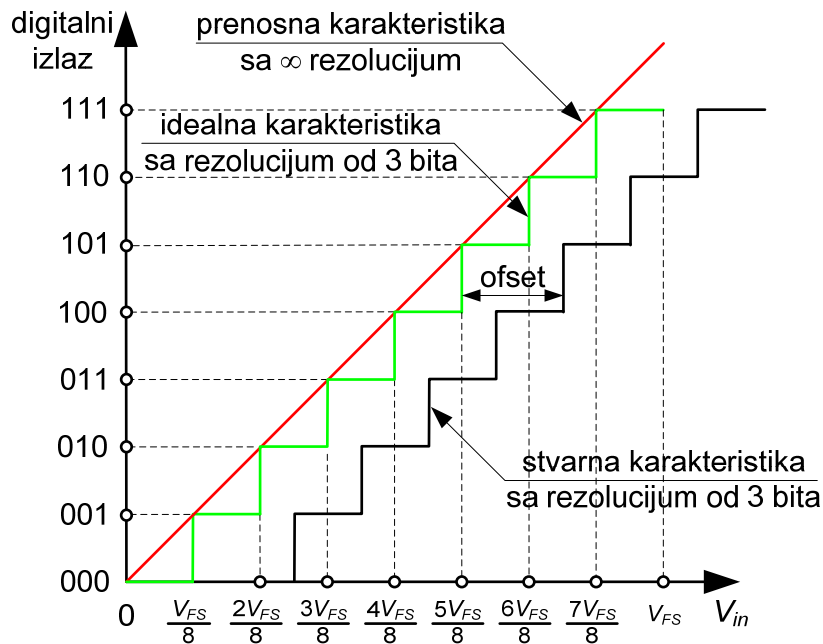
Slika 4.5. Greška kvantizacije (kvantizacioni šum) analogno-digitalnog konvertora čija je ulazno-izlazna karakteristika prikazana na slici 4.3.

- Greška ofseta analogno-digitalnog konvertora je konstantna razlika između stvarne ulazno-izlazne karakteristike analogno-digitalnog konvertora i idealne ulazno-izlazne karakteristike analogno-digitalnog konvertora. Greška ofseta kod 3-bitnog analogno-digitalnog konvertora prikazana je na slici 4.6.
- Greška pojačanja analogno-digitalnog konvertora je razlika između stvarne ulazno-izlazne karakteristike analogno-digitalnog konvertora i idealne ulazno-izlazne karakteristike analogno-digitalnog konvertora za digitalnu kombinaciju bita na izlazu $b_0=b_1=b_2=\dots=b_{n-1}=1$. Greška pojačanja kod 3-bitnog analogno-digitalnog konvertora prikazana je na slici 4.7.
- Integralna nelinearnost *INL* predstavlja razliku između stvarne ulazno-izlazne karakteristike analogno-digitalnog konvertora i idealne ulazno-izlazne karakteristike analogno-digitalnog konvertora. Može biti pozitivna i negativna, a izražava se u bitima najmanje važnosti (LSB). Integralna nelinearnost može imati samo cjelobrojne vrijednosti u LSB-ima jer izlazne kombinacije bita $b_0, b_1, b_2, \dots, b_{n-1}$ odgovaraju diskretnim amplitudama. Integralna nelinearnost kod 3-bitnog digitalno-analognog konvertora prikazana je na slici 4.8.
- Diferencijalna nelinearnost *DNL* predstavlja razliku između promjene stvarne ulazno-izlazne karakteristike analogno-digitalnog konvertora i promjene idealne ulazno-izlazne karakteristike analogno-digitalnog konvertora prilikom svakog vertikalnog skoka stvarne prenosne karakteristike. Može biti pozitivna i negativna, a izražava se u bitima najmanje važnosti (LSB). Diferencijalna nelinearnost kod 3-bitnog digitalno-analognog konvertora prikazana je na slici 4.8. Ako je stvarna promjena izlazne kombinacije bita $b_0, b_1, b_2, \dots, b_{n-1}$ analogno-digitalnog konvertora Δ_{actual} , diferencijalna nelinearnost *DNL* može se izraziti kao

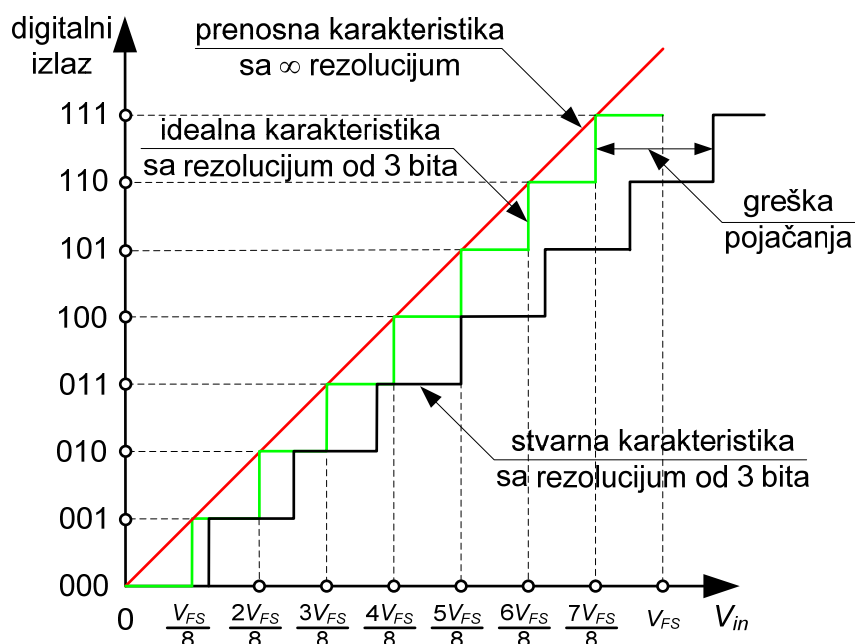
$$DNL = \Delta_{actual} - 1$$

(4.2)

- Diferencijalna nelinearnost u iznosu od $DNL = -1$ LSB nikada se ne dešava. Ova vrijednost diferencijalne nelinearnosti DNL odgovarala bi slučaju kada nema promjene izlazne kombinacije bita $b_0, b_1, b_2, \dots, b_{n-1}$ analogno-digitalnog konvertora ($\Delta_{actual} = 0$ LSB). Međutim, ovo je nemoguć slučaj, jer se diferencijalna nelinearnost DNL mjeri samo onda kada se dešava promjena izlazne kombinacije bita $b_0, b_1, b_2, \dots, b_{n-1}$ analogno-digitalnog konvertora.

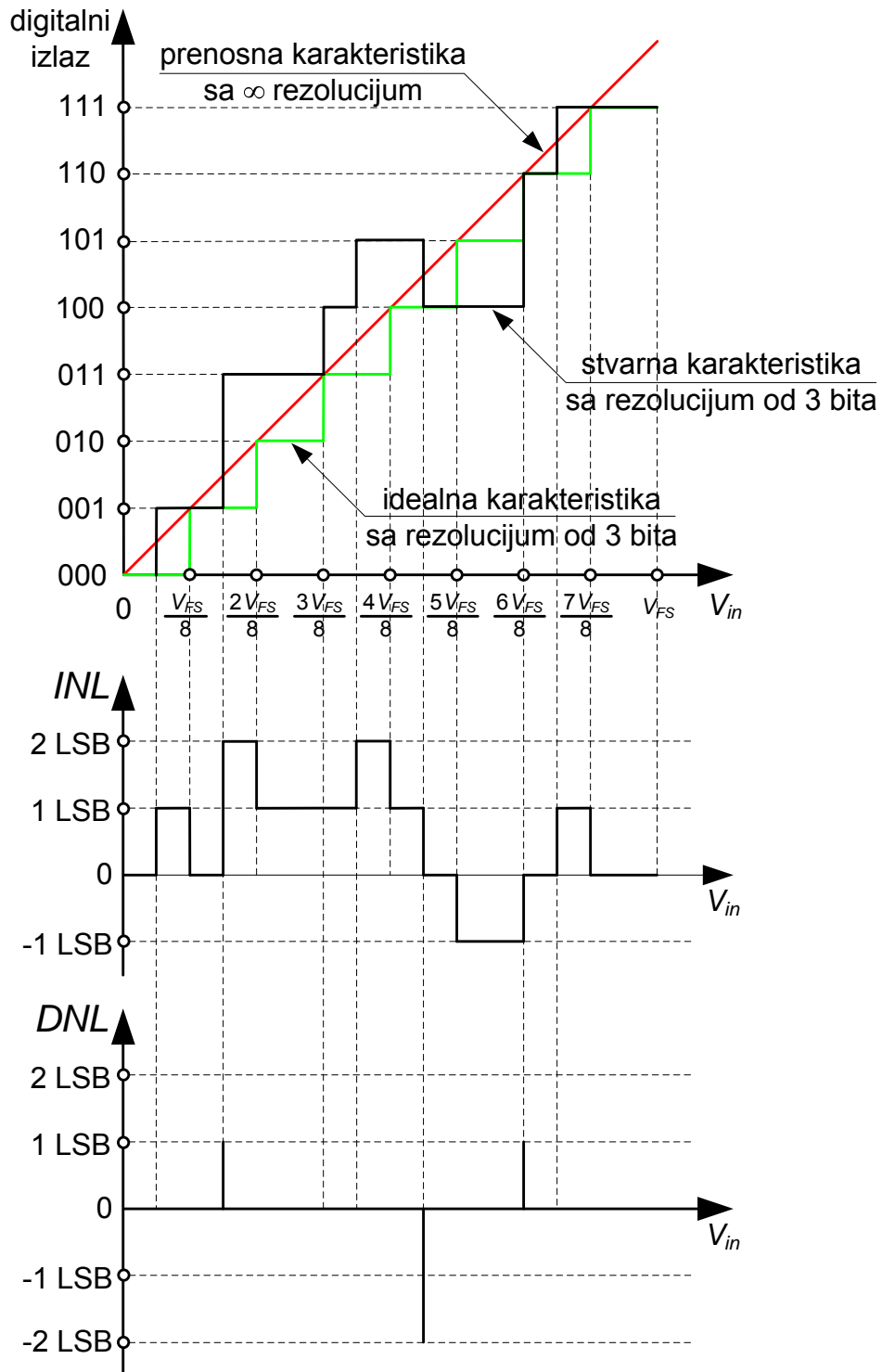


Slika 4.6. Greška ofseta kod 3-bitnog analogno-digitalnog konvertora.



Slika 4.7. Greška pojačanja kod 3-bitnog analogno-digitalnog konvertora.

- Monotonost analogno-digitalnog konvertora podrazumjeva da je nagib ulazno-izlazne karakteristike analogno-digitalnog konvertora uvijek pozitivan. Drugim riječima, ulazno-izlazna karakteristika monotonih analogno-digitalnog konvertora uvijek je rastuća funkcija. Ukoliko to nije slučaj, analogno-digitalni konvertor pokazuje nemonotonost, što je prikazano na slici. 4.8.



Slika 4.8. Integralna nelinearnost, diferencijalna nelinearnost i nemonotonost kod 3-bitnog analogno-digitalnog konvertora.