

3. Digitalno-analogni konvertori

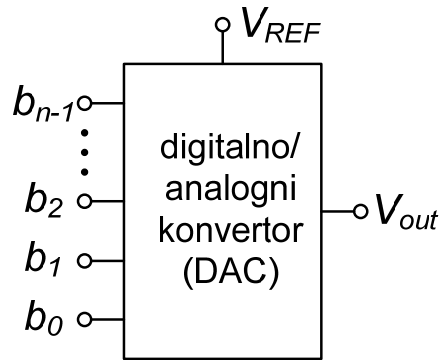
3.1 Opšta razmatranja

- Digitalno-analogni konvertor (digital-to-analog converter – DAC) je elektronski sklop koji ulaznu digitalnu kombinaciju iskazanu bitima $b_0, b_1, b_2, \dots, b_{n-1}$ pretvara u ekvivalentni analogni signal (napon) V_{out} na svom izlazu, slika 3.1. Izlazni napon V_{out} direktno je proporcionalan digitalnoj kombinaciji $b_0, b_1, b_2, \dots, b_{n-1}$ na ulazu.
- Rezolucija n digitalno-analognog konvertora predstavljena je brojem bita digitalne kombinacije na ulazu.
- 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 ulazu digitalno-analognog konvertora generiše jedinstven analogni napon V_{out} na izlazu, a broj tih različitih analognih napona na izlazu iznosi 2^n . Idealna ulazno-izlazna (prenosna) karakteristika 3-bitnog digitalno-analognog konvertora prikazana je na slici 3.2. Idealna ulazno-izlazna (prenosna) karakteristika 3-bitnog digitalno-analognog konvertora vertikalno pomjerena za $\Delta V/2$ prikazana je na slici 3.3. Kada broj bita n na ulazu digitalno-analognog konvertora postaje beskonačno veliki ($n \rightarrow \infty$), ulazno-izlazna karakteristika digitalno-analognog konvertora postaje prava linija.
- Greška kvantizacije (kvantizacioni šum) digitalno-analognog konvertora predstavlja razliku ulazno-izlazne karakteristike digitalno-analognog konvertora beskonačno velike rezolucije i ulazno-izlazne karakteristike realnog digitalno-analognog konvertora konačne rezolucije. Na slikama 3.4 i 3.5 prikazane su greške kvantizacije (kvantizacioni šum) digitalno-analognih konvertora čije su ulazno-izlazne karakteristike prikazane na slikama 3.2 i 3.3.
- Maksimalna vrijednost izlaznog napona V_{out} digitalno-analognog konvertora dobija se za digitalnu kombinaciju bita na ulazu $b_0=b_1=b_2=\dots=b_{n-1}=1$. Ovaj maksimalni napon naziva se napon pune skale V_{FS} (full scale):

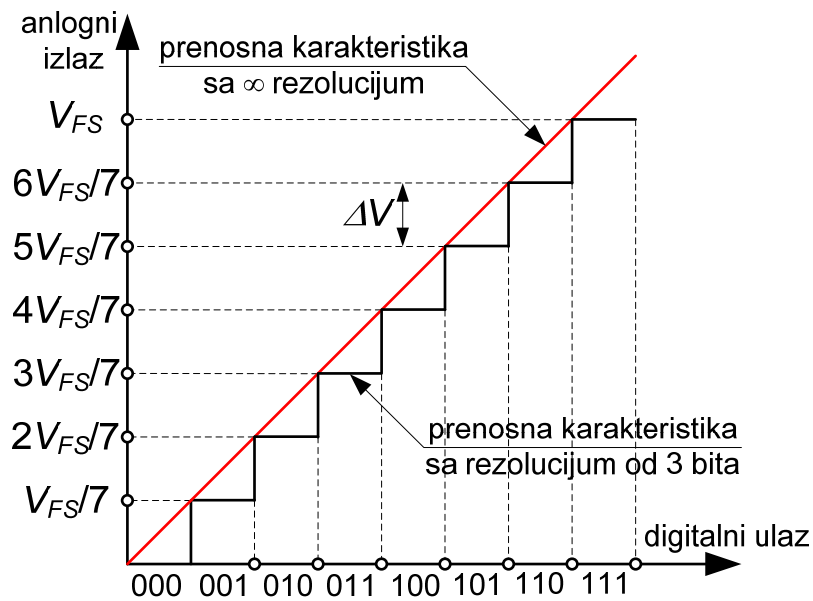
$$V_{FS} = V_{out}(b_0 = 1, b_1 = 1, b_2 = 1, \dots, b_{n-1} = 1) \quad (3.1)$$

- Najmanja promjena analognog napona V_{out} na izlazu digitalno-analognog konvertora uzrokovana promjenom kombinacije bita $b_0, b_1, b_2, \dots, b_{n-1}$ na ulazu digitalno-analognog konvertora naziva se naponom kvanta ΔV (rezolucioni napon, osjetljivost digitalno-analognog konvertora). Za digitalno-analogni konvertor čija je ulazno-izlazna karakteristika prikazana na slici 3.2 napon kvanta ΔV izračunava se prema sljedećem izrazu

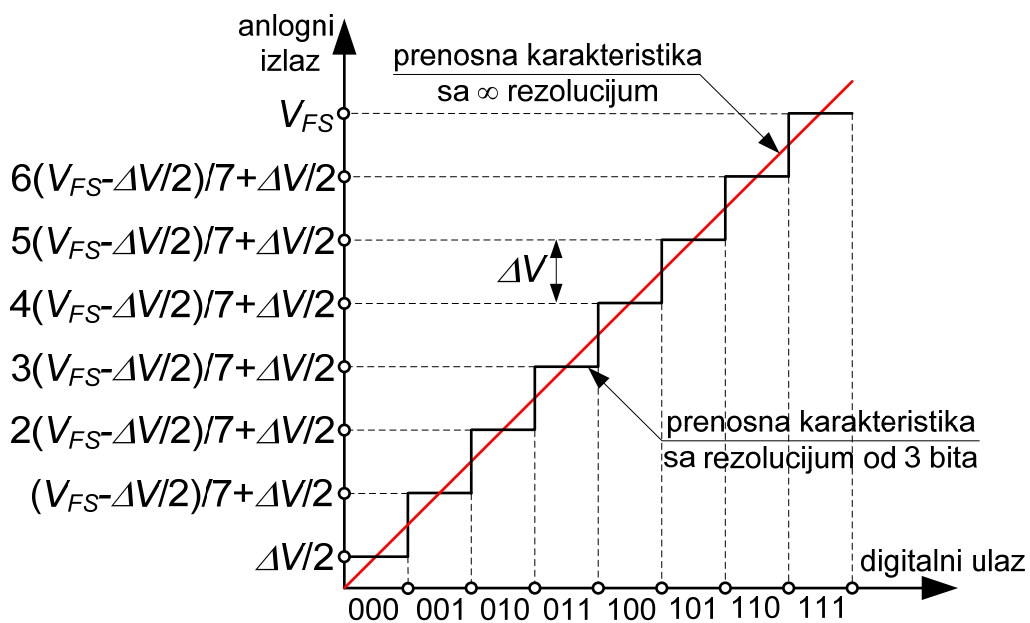
$$\Delta V = \frac{V_{FS}}{2^n - 1}, \quad (3.2)$$



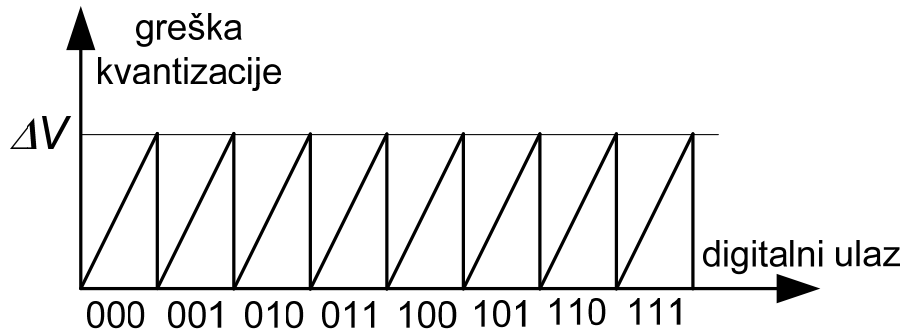
Slika 3.1. Blok-šema digitalno-analognog konvertora n -bitne rezolucije.



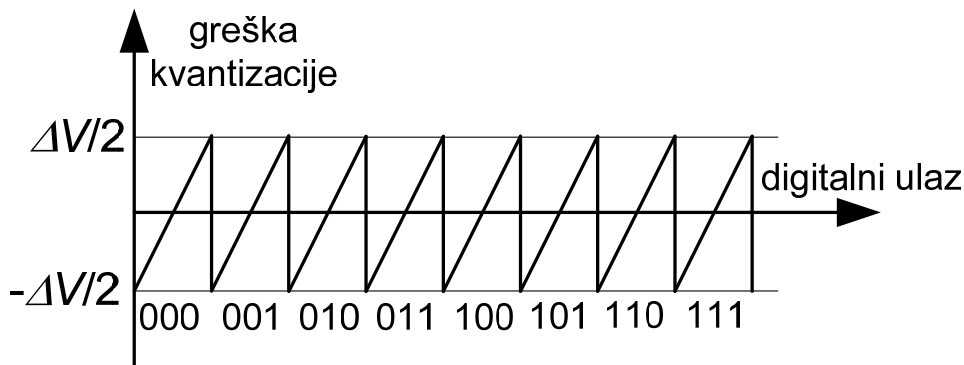
Slika. 3.2. Idealna ulazno-izlazna (prenosna) karakteristika 3-bitnog digitalno-analognog konvertora.



Slika. 3.3. Idealna ulazno-izlazna (prenosna) karakteristika 3-bitnog digitalno-analognog konvertora vertikalno pomjerena za $\Delta V/2$.



Slika 3.4. Greška kvantizacije (kvantizacioni šum) digitalno-analognog konvertora čija je ulazno-izlazna karakteristika prikazana na slici 3.2.

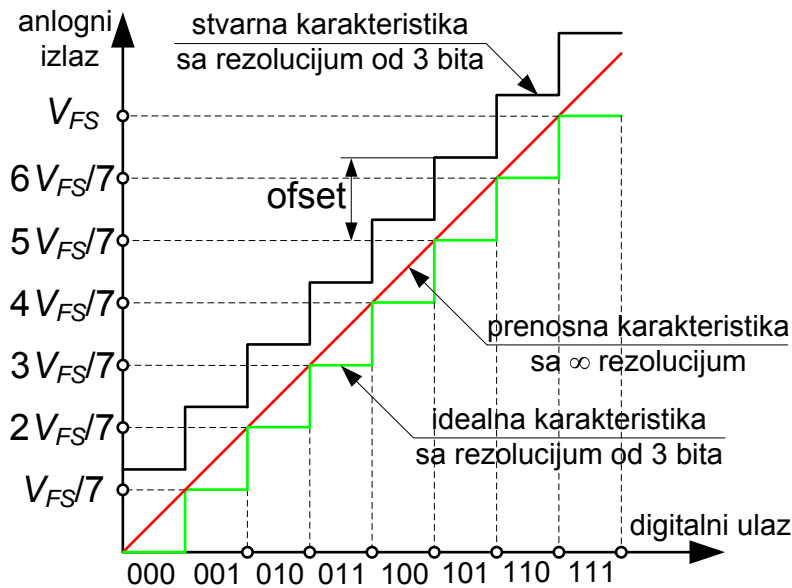


Slika 3.5. Greška kvantizacije (kvantizacioni šum) digitalno-analognog konvertora čija je ulazno-izlazna karakteristika prikazana na slici 3.3.

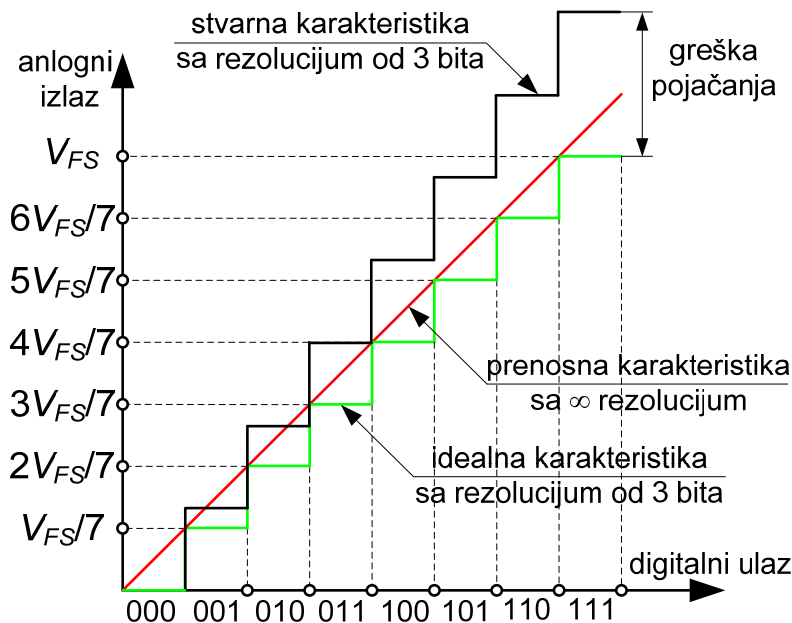
dok se za digitalno-analogni konvertor čija je ulazno-izlazna karakteristika prikazana na slici 3.3 napon kvanta ΔV izračunava kao

$$\Delta V = \frac{V_{FS} - \Delta V/2}{2^n - 1} \Rightarrow \Delta V = \frac{2}{2^{n+1} - 1} V_{FS}. \quad (3.3)$$

- Greška ofseta digitalno-analognog konvertora je konstantna razlika između stvarne ulazno-izlazne karakteristike digitalno-analognog konvertora i idealne ulazno-izlazne karakteristike digitalno-analognog konvertora. Greška ofseta kod 3-bitnog digitalno-analognog konvertora prikazana je na slici 3.6.
- Greška pojačanja digitalno-analognog konvertora je razlika između stvarne ulazno-izlazne karakteristike digitalno-analognog konvertora i idealne ulazno-izlazne karakteristike digitalno-analognog konvertora za digitalnu kombinaciju bita na ulazu $b_0=b_1=b_2=\dots=b_{n-1}=1$ koja odgovara naponu pune skale V_{FS} . Greška pojačanja kod 3-bitnog digitalno-analognog konvertora prikazana je na slici 3.7.



Slika 3.6. Greška ofseta kod 3-bitnog digitalno-analognog konvertora.



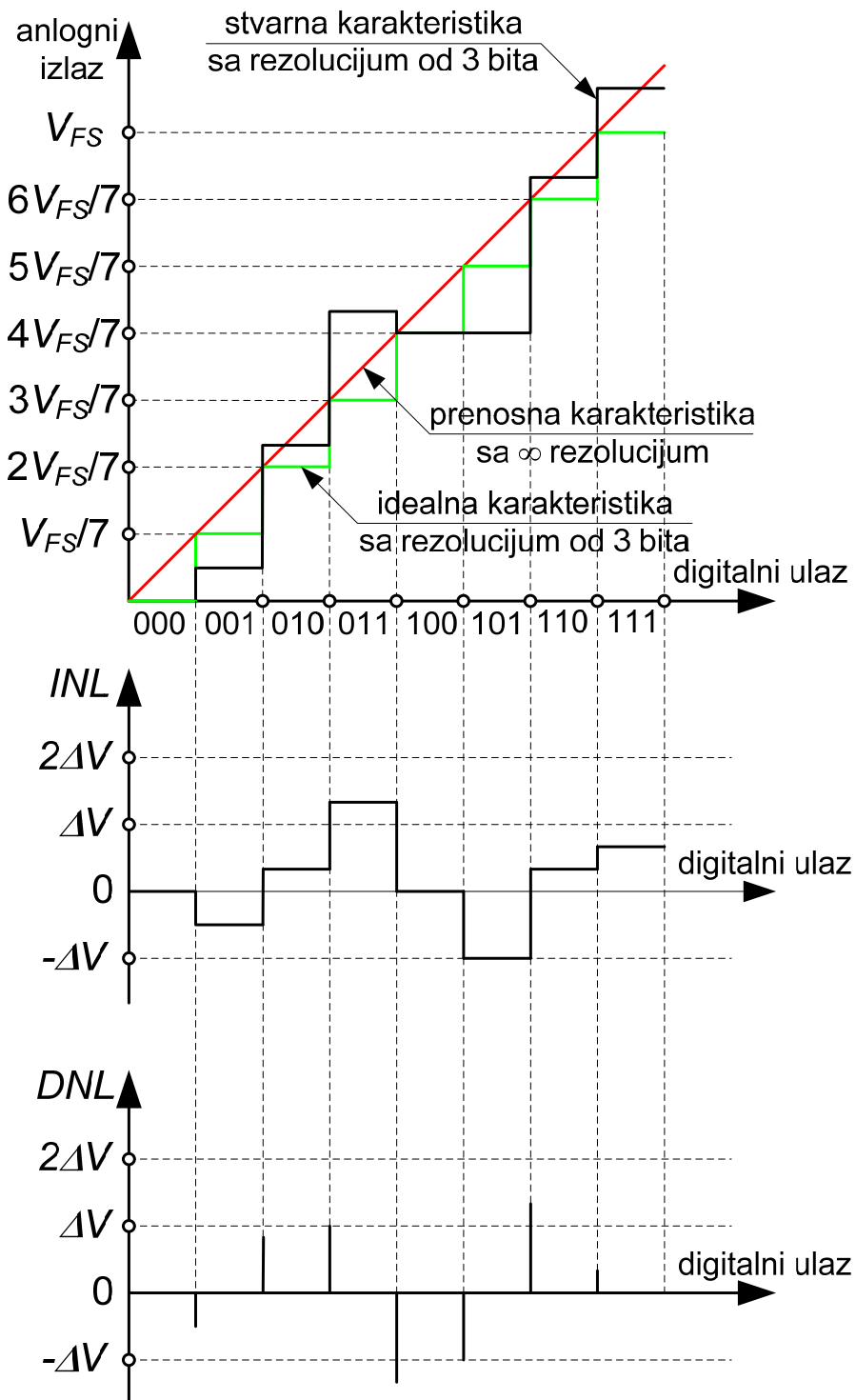
Slika 3.7. Greška pojačanja kod 3-bitnog digitalno-analognog konvertora.

- Integralna nelinearnost INL predstavlja razliku između stvarne ulazno-izlazne karakteristike digitalno-analognog konvertora i idealne ulazno-izlazne karakteristike digitalno-analognog konvertora. Može biti pozitivna i negativna, a izražava se u procentima u odnosu na napon pune skale V_{FS} , ili u naponima kvanta ΔV . Integralna nelinearnost kod 3-bitnog digitalno-analognog konvertora prikazana je na slici 3.8.
- Diferencijalna nelinearnost DNL predstavlja razliku između promjene stvarne ulazno-izlazne karakteristike digitalno-analognog konvertora i promjene idealne ulazno-izlazne karakteristike digitalno-analognog konvertora prilikom promjene digitalne kombinacije bita na ulazu digitalno-analognog konvertora. Diferencijalna nelinearnost kod 3-bitnog digitalno-analognog konvertora prikazana je na slici 3.8. Ako je stvarna promjena napona na izlazu digitalno-analognog konvertora ΔV_{actual} , diferencijalna nelinearnost DNL može se izraziti kao

$$DNL = \Delta V_{actual} - \Delta V, \quad (3.4)$$

gdje je ΔV napon kvanta.

- Monotonost digitalno analognog konvertora podrazumjeva da je nagib ulazno-izlazne karakteristike digitalno-analognog konvertora uvijek pozitivan. Drugim riječima, ulazno-izlazna karakteristika digitalno-analognog konvertora uvijek je rastuća funkcija. Ukoliko to nije slučaj, digitalno-analogni konvertor prikazuje nemonotonost, što je prikazano na slici. 3.8.



Slika 3.8. Integralna nelinearnost, diferencijalna nelinearnost i nemonotonost kod 3-bitnog digitalno-analognog konvertora.

Primjer: Integralna i diferencijalna nelinearnost 4-bitnog digitalno-analognog konvertora.

