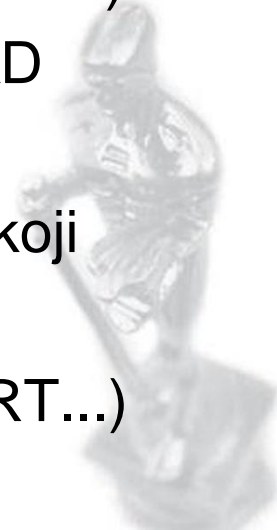
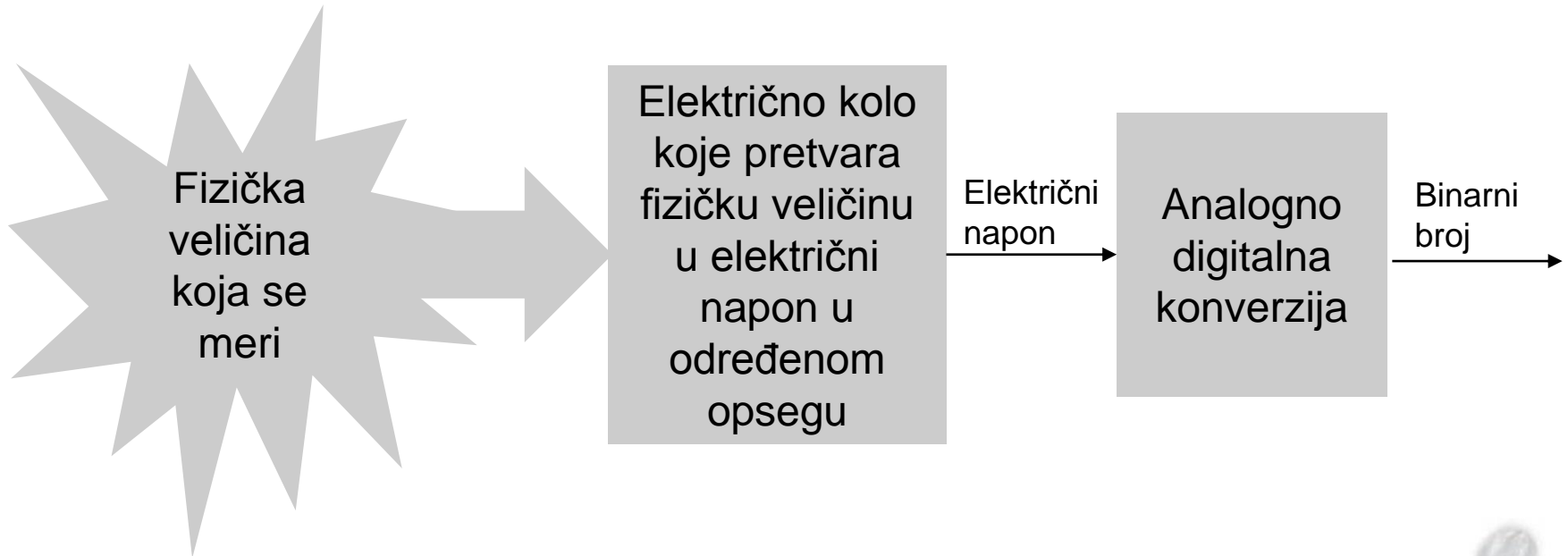


Definicija senzora

- **Senzori** su uređaji koji mogu meriti različite fizičke veličine kao što su temperatura, vlažnost, brzina, ubrzanje, položaj, intenzitet svetlosti, itd. I dati merljiv prikaz merene fizičke veličine u obliku električnog signala ili promene u električnim karakteristikama električne komponente (npr. napona, struje, otpora, induktivnosti, itd.)
- Komercijalno dostupni senzori mogu biti analogni ili digitalni
 - Analogni senzori daju analogne izlaze (napon, otpornost...)
Analogni izlaz senzora čita mikrokontroler uz pomoć AD konvertora
 - Digitalni senzori direktno daju digitalne binarne izlaze koji odgovaraju merenoj veličini. Najčešće komuniciraju sa mikrokontrolerem preko magistrale (npr. I2C, SPI, UART...) a mogu i direktno preko digitalnih pinova



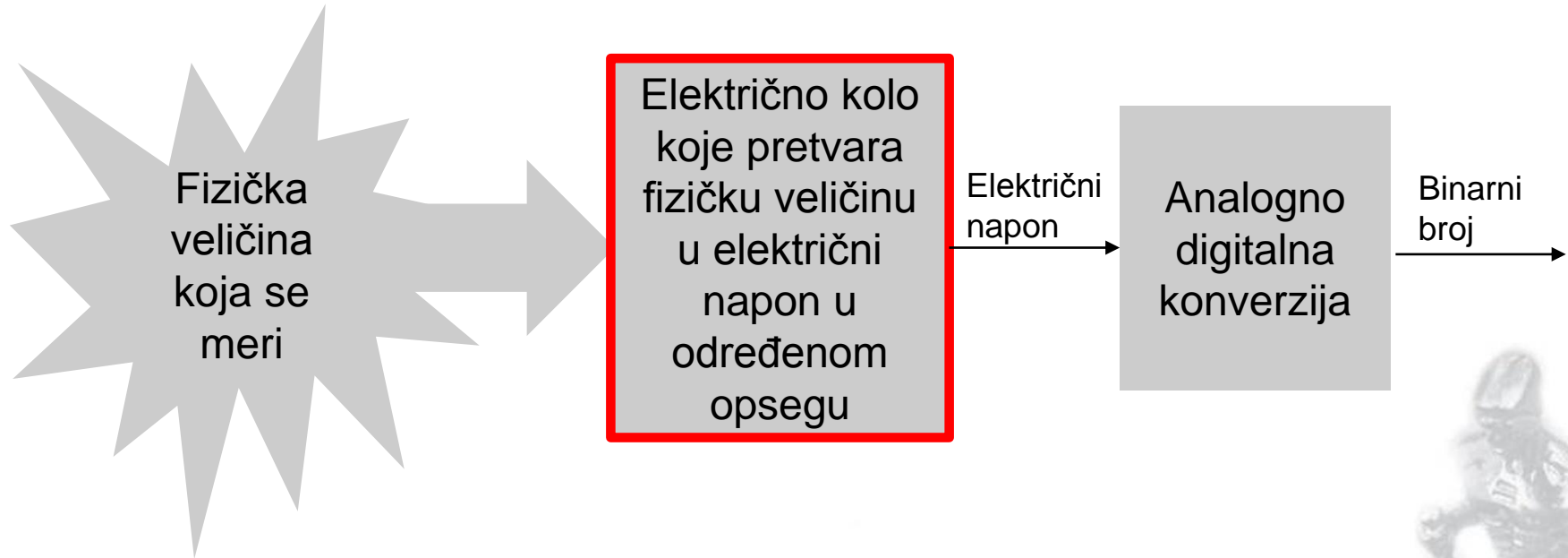
Struktura senzora



- Digitalni senzori sadrže i elektroniku za pretvaranje fizičke veličine u naponsku, i analogno digitalni konverter, a često pored toga i elektroniku za komunikaciju sa kontrolerom
- Analogni senzori sadrže čitavu ili deo elektronike za konverziju, dok se analogno digitalna konverzija odvija u samom mikrokontroleru



Struktura senzora



Konverzija fizičke veličine u električni napon (primer merenja temperature)

- Postoje materijali koji menjaju svoju otpornost usled promene temperature (merena fizička veličina izaziva promene električnih karakteristika)
- Otpornici koji menjaju otpornost usled promene temperature zovu se termistori
- Postoje dve vrste termistora:

PTC – Positive Temperature Coefficient termistori čija otpornost raste sa porastom temperature

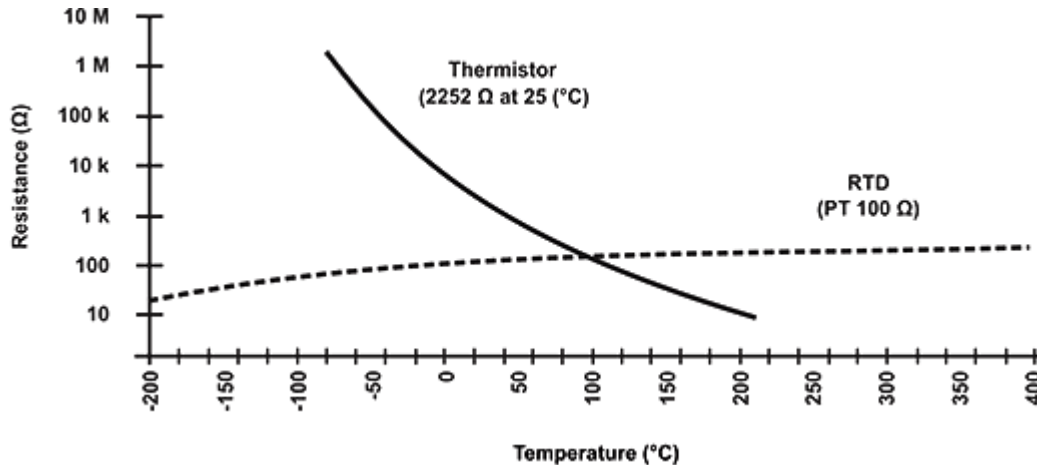
NTC – Negative Temperature Coefficient termistori čija otpornost opada sa porastom temperature.



Zavisnost otpornosti od temperature

- Otpornost nelinearno zavisi od temperature

$$R(T) = R(T_0) * e^{\beta * (\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0})}$$



$R(T_0)$ → Otpornost izmerena na nekoj specifičnoj temperaturi T_0

β → Koeficijent koji zavisi od materijala

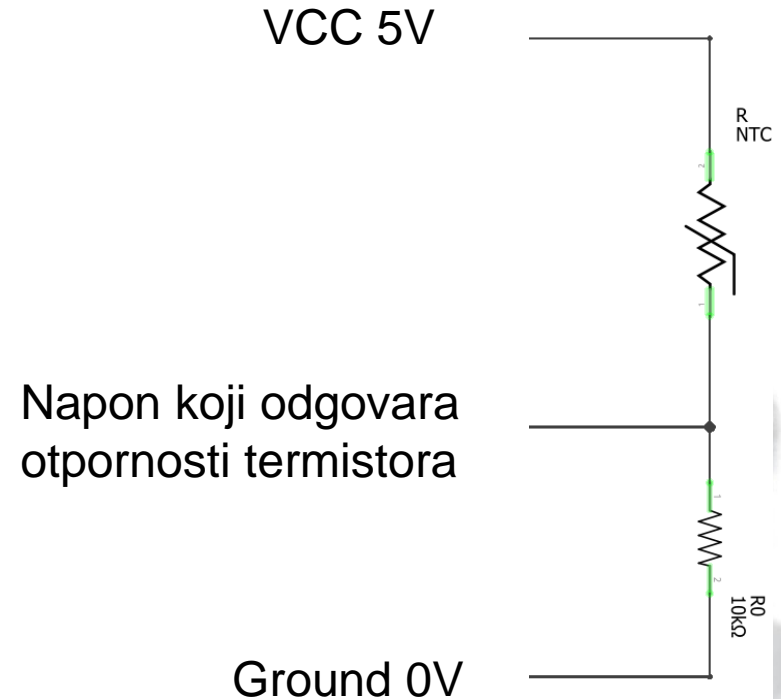
- Ukoliko znamo otpornost termistora, možemo izračunati temperaturu:

$$T(R) = \frac{1}{\frac{1}{T_0} + \frac{\ln \frac{R}{R(T_0)}}{\beta}}$$

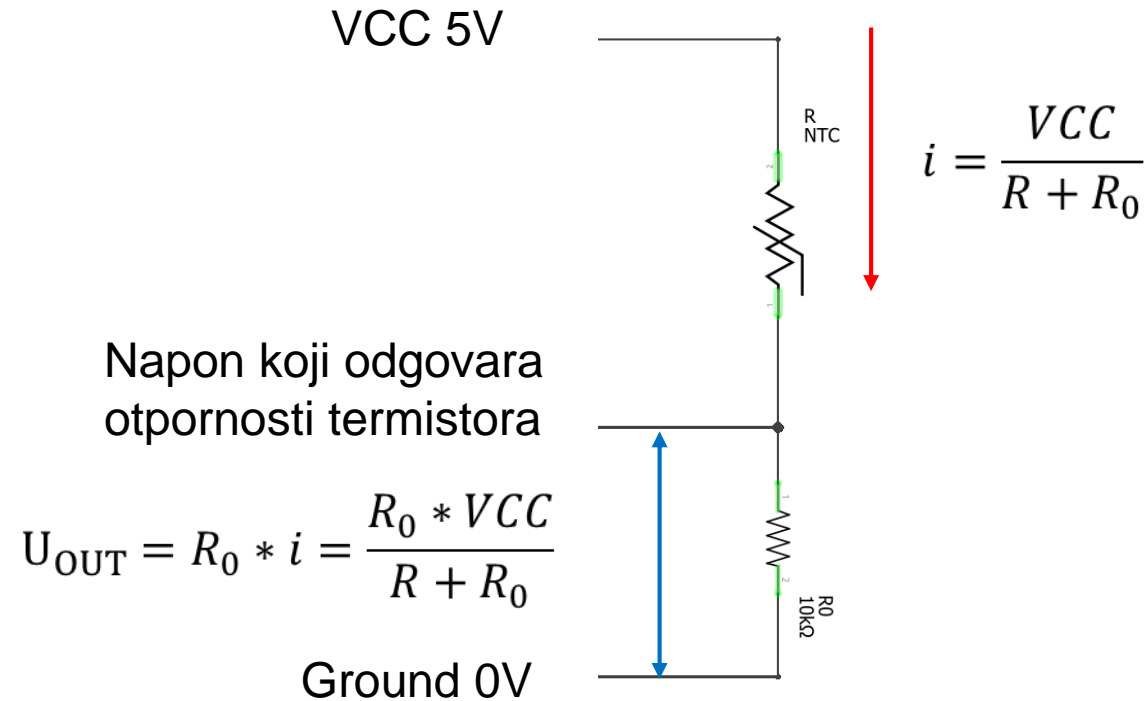


Od otpornosti do napona

- Otpornost se indirektno može meriti uz pomoć razdelnika napona
- Poznati napon napajanja se deli između otpornika poznate i fiksne otpornosti i termistora
- Napon na otporniku fiksne otpornosti zavisi od otpornosti termistora, pa tako indirektno i od temperature koja se meri



Od otpornosti do napona



- Ukoliko znamo napon na otporniku R_0 , možemo izračunati otpornost termistora:

$$R(U_{OUT}) = \frac{R_0 * VCC}{U_{OUT}} - R_0$$



Temperatura koja se meri kao funkcija napona na izlazu kola

- Temperatura kao funkcija otpornosti termistora:

$$T(R) = \frac{1}{\frac{1}{T_0} + \frac{\ln \frac{R}{R(T_0)}}{\beta}}$$

- Otpornost termistora kao funkcija napona na fiksnom otporniku

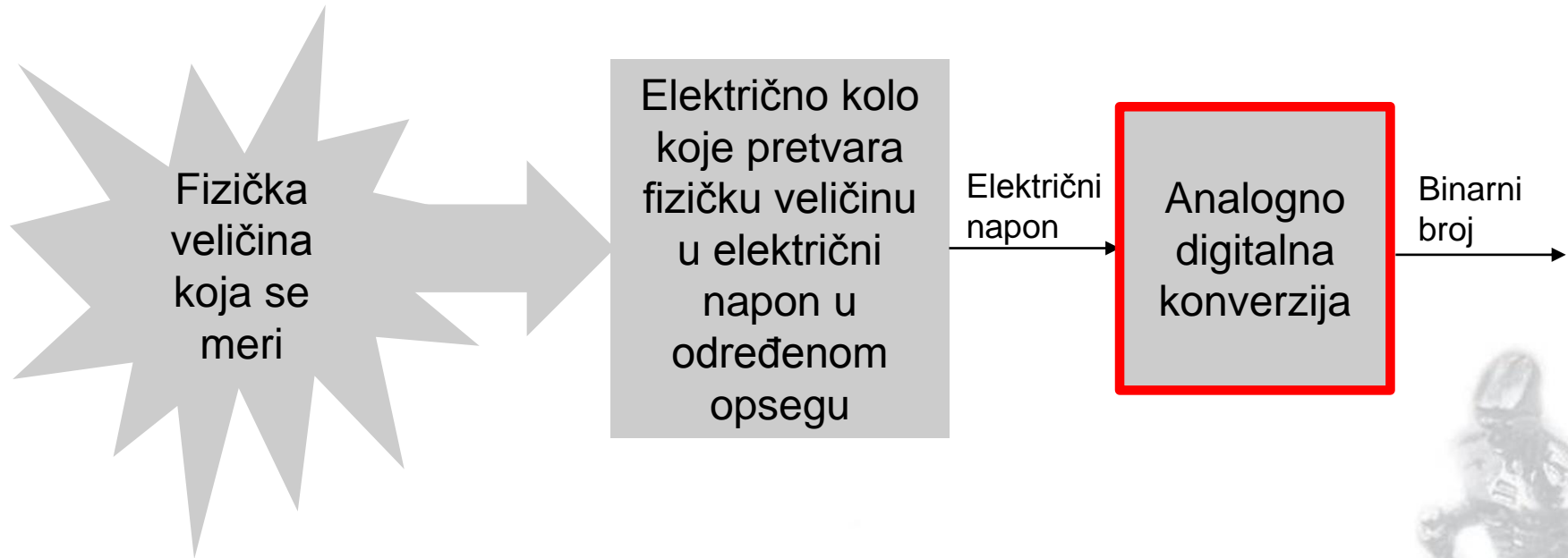
$$R(U_{OUT}) = \frac{R_0 * VCC}{U_{OUT}} - R_0$$

- Kombinovanjem izraza dobijamo zavisnost

$$T(U_{OUT}) = \frac{1}{\frac{1}{T_0} + \frac{\ln \left(\frac{\frac{R_0 * VCC}{U_{OUT}} - R_0}{R(T_0)} \right)}{\beta}}$$



Struktura senzora



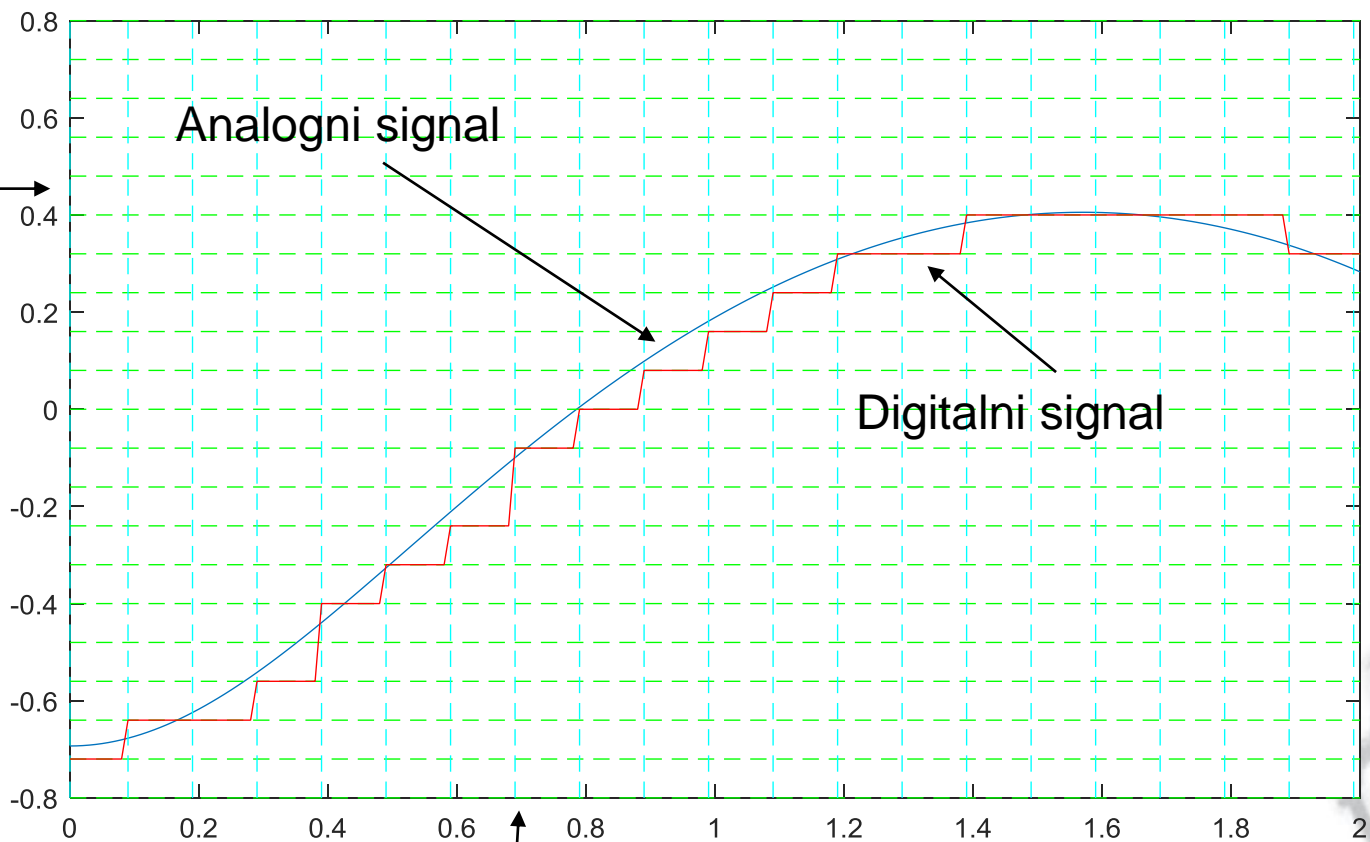
Iz analognog u digitalni signal

- Napon na izlazu iz elektronskog kola senzora je kontinualno promenljivi naponski signal
- Mikrokontroler može da barata samo sa nizovima binarnih brojeva
- Da bi naponski signal na izlazu iz elektronskog kola senzora bio upotrebljiv za mikrokontroler potrebno je:
 - Izvršiti njegovu vremensku diskretizaciju (odabiranje)
 - Izvršiti njegovu diskretizaciju po jačini signala (kvantizacija)

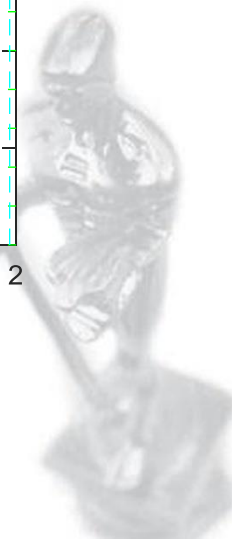


Iz analognog u digitalni signal

Nivoska
diskretizacija

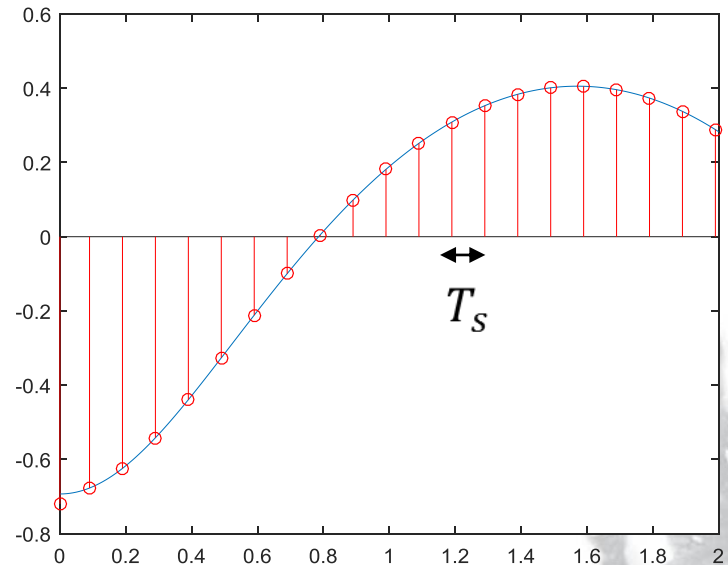
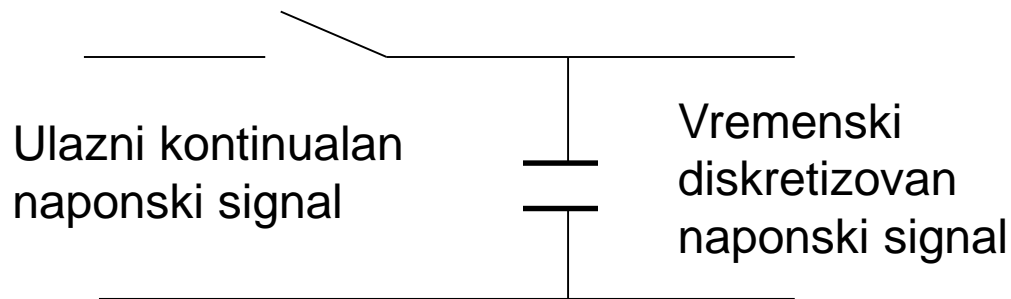


Vremenska
diskretizacija



Vremenska diskretizacija (odabiranje)

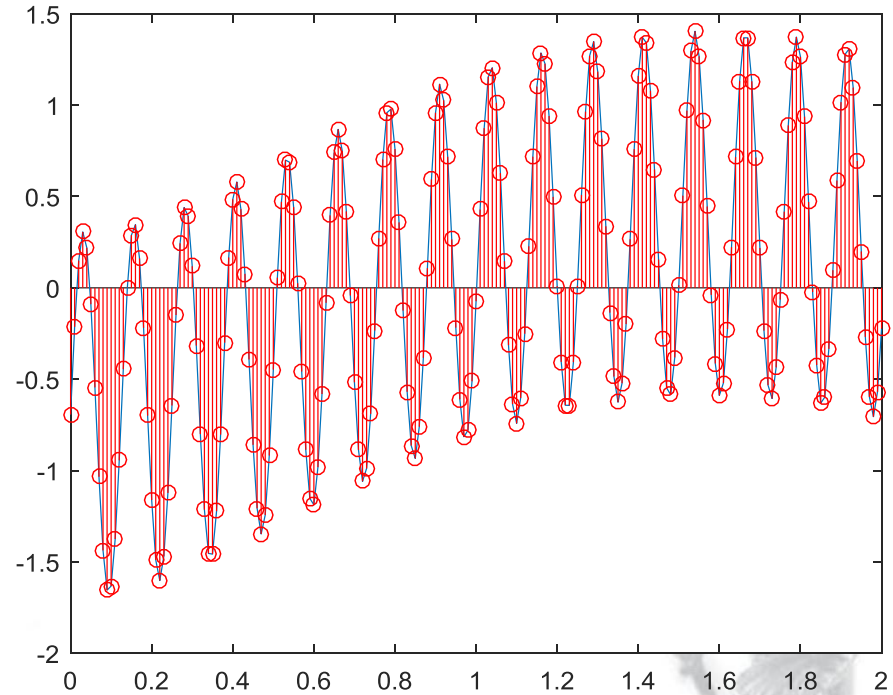
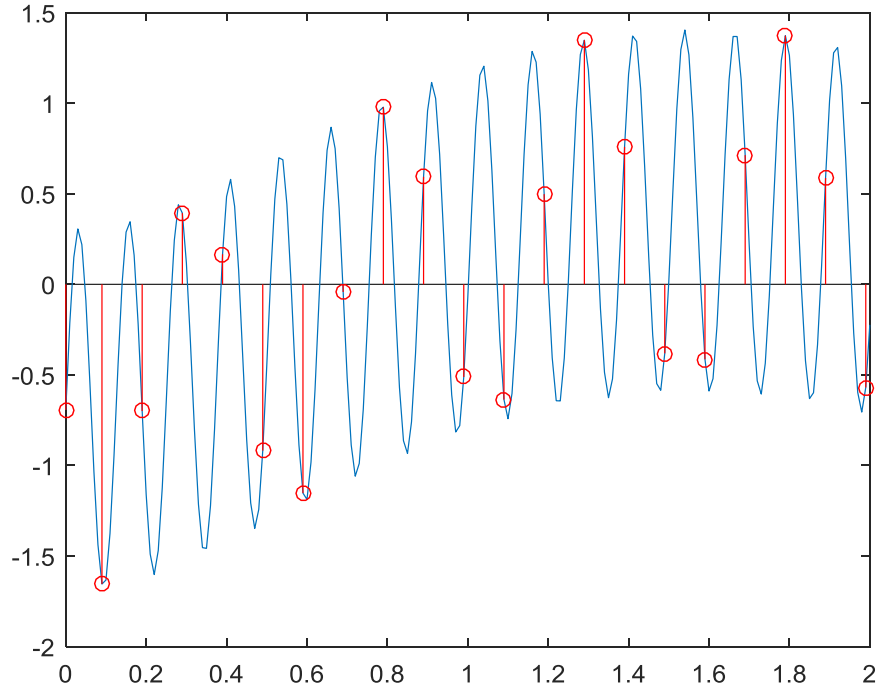
- Uzimanje vrednosti analognog naponskog signala u tačno određenim vremenski ekvidistantnim trenutcima



T_s - Perioda odabiranja

$f_s = \frac{1}{T_s}$ - Frekvencija odabiranja

Kako odabrati period odabiranja



Senonova teorema odabiranja

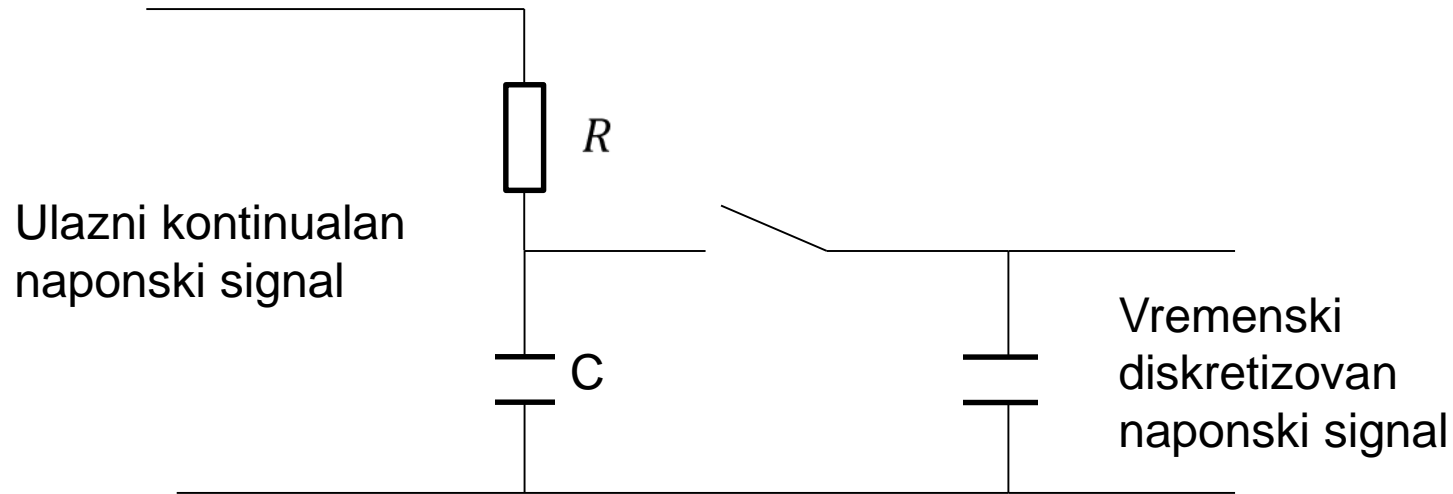
- Frekvencija odabiranja mora biti najmanje 2 puta veća od očekivane najveće frekvencijske komponente u signalu koji se odabira

$$f_s \geq 2f_{max}$$

- U praksi obično se uzima oko 10x veća frekvencija odabiranja
- Da bi se obezbedilo da najveća frekvencija u spektru ulaznog signala ostane ispod f_{max} , ulazni signal se najčešće filtrira pre odabiranja



Filtriranje ulaznog signala



- Niskopropusni (Low Pass) filter realizovan uz pomoć otpornika i kondenzatora propušta učestanosti do

$$f_{max} = \frac{1}{2\pi RC}$$



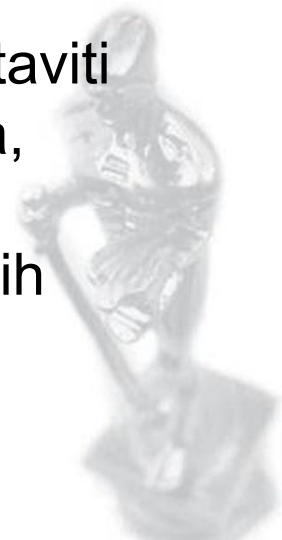
Pozadina Šenonove teoreme odabiranja – frekvencijski spektar signala

- Furijeova transformacija

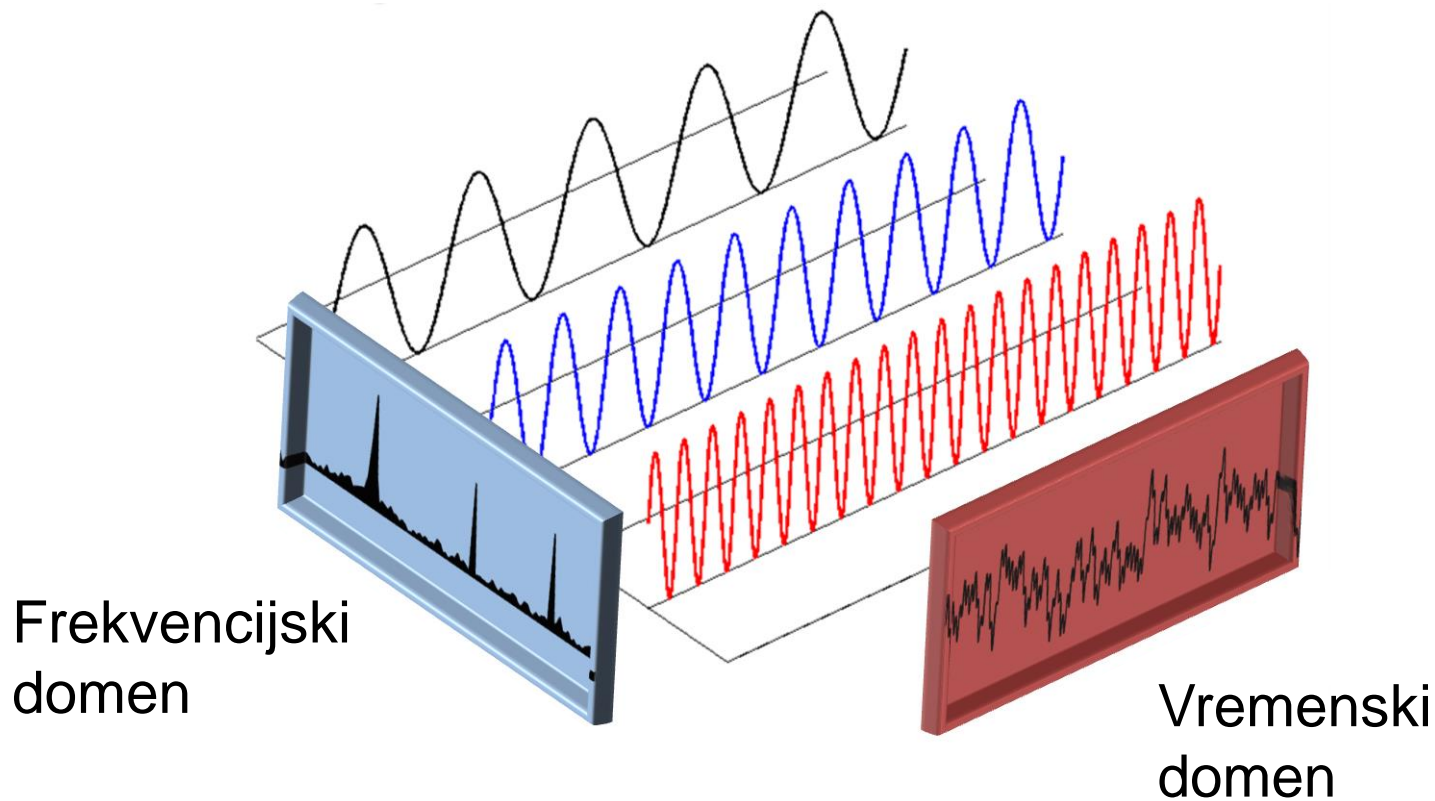
$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} F(\omega) e^{i\omega t} d\omega$$

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) e^{-i\omega t} dt$$

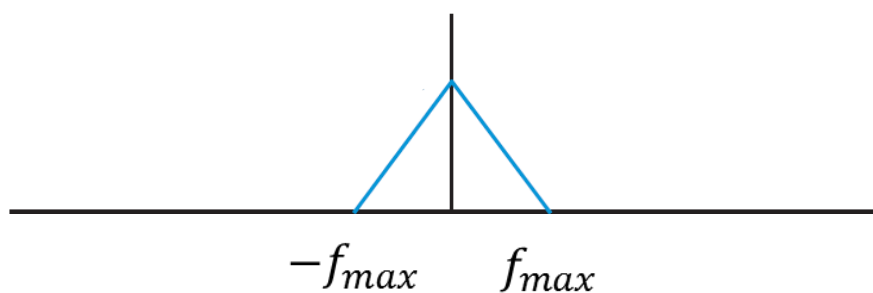
- Svaki signal u vremenskom domenu može se predstaviti beskonačnom sumom sinusoida različitih frekvencija, amplituda i faza
- Amplitudski spektar – amplitude za sinusoida različitih frekvencija
- Fazni spektar – faze sinusoida različitih frekvencija



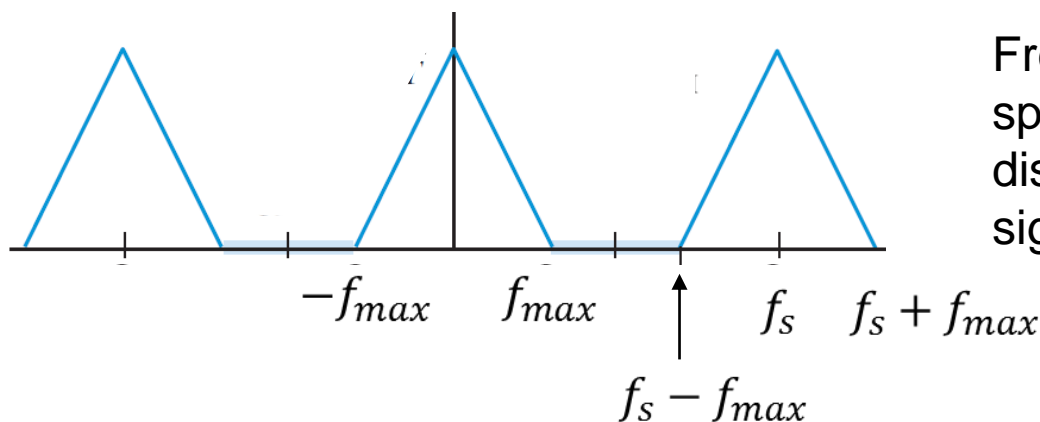
Pozadina Šenonove teoreme odabiranja – frekvencijski spektar signala



Pozadina Senonove teoreme odabiranja – odabiranje u vremenskom domenu, modulacija u frekvencijskom



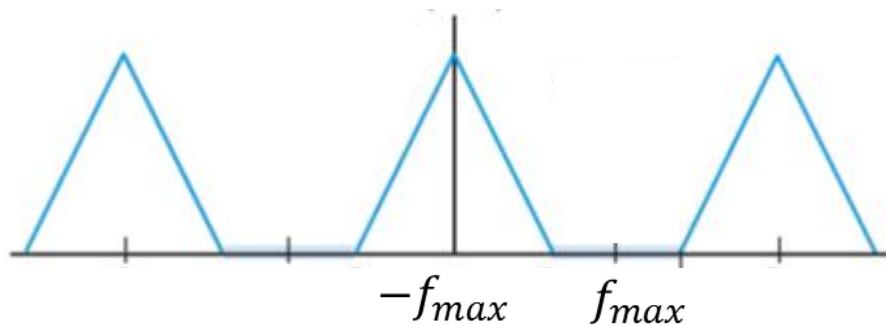
Frekvencijski
spektar
kontinualnog
signala



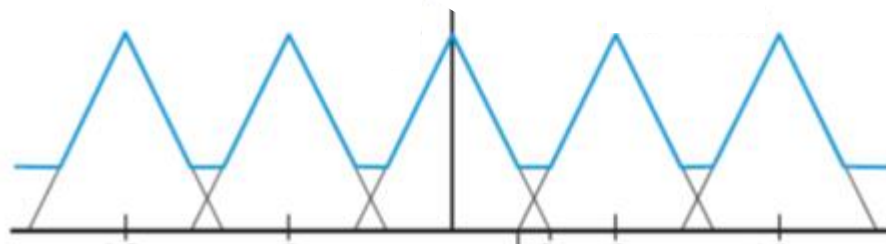
Frekvencijski
spektar
diskretnog
signala



Pozadina Senonove teoreme odabiranja – odabiranje u vremenskom domenu, modulacija u frekvencijskom



$$f_s > 2f_{max}$$

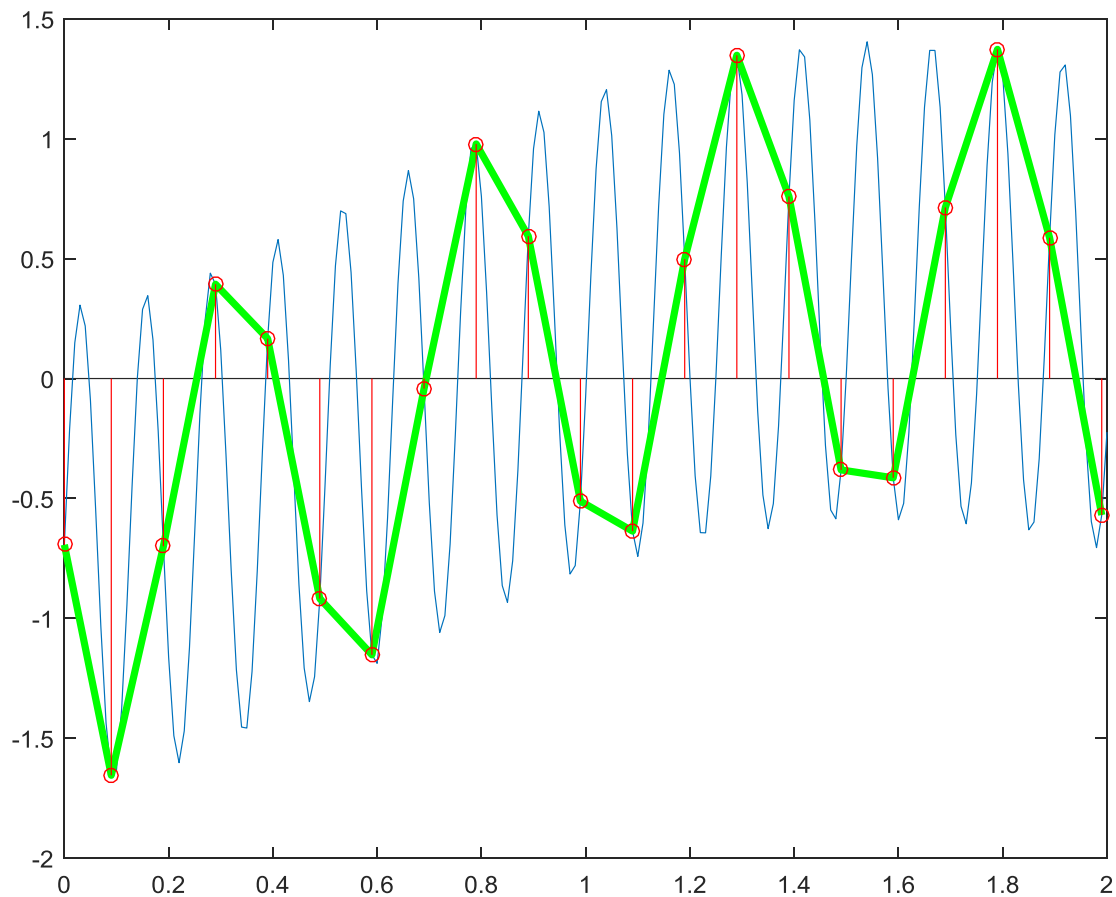


$$f_s < 2f_{max}$$



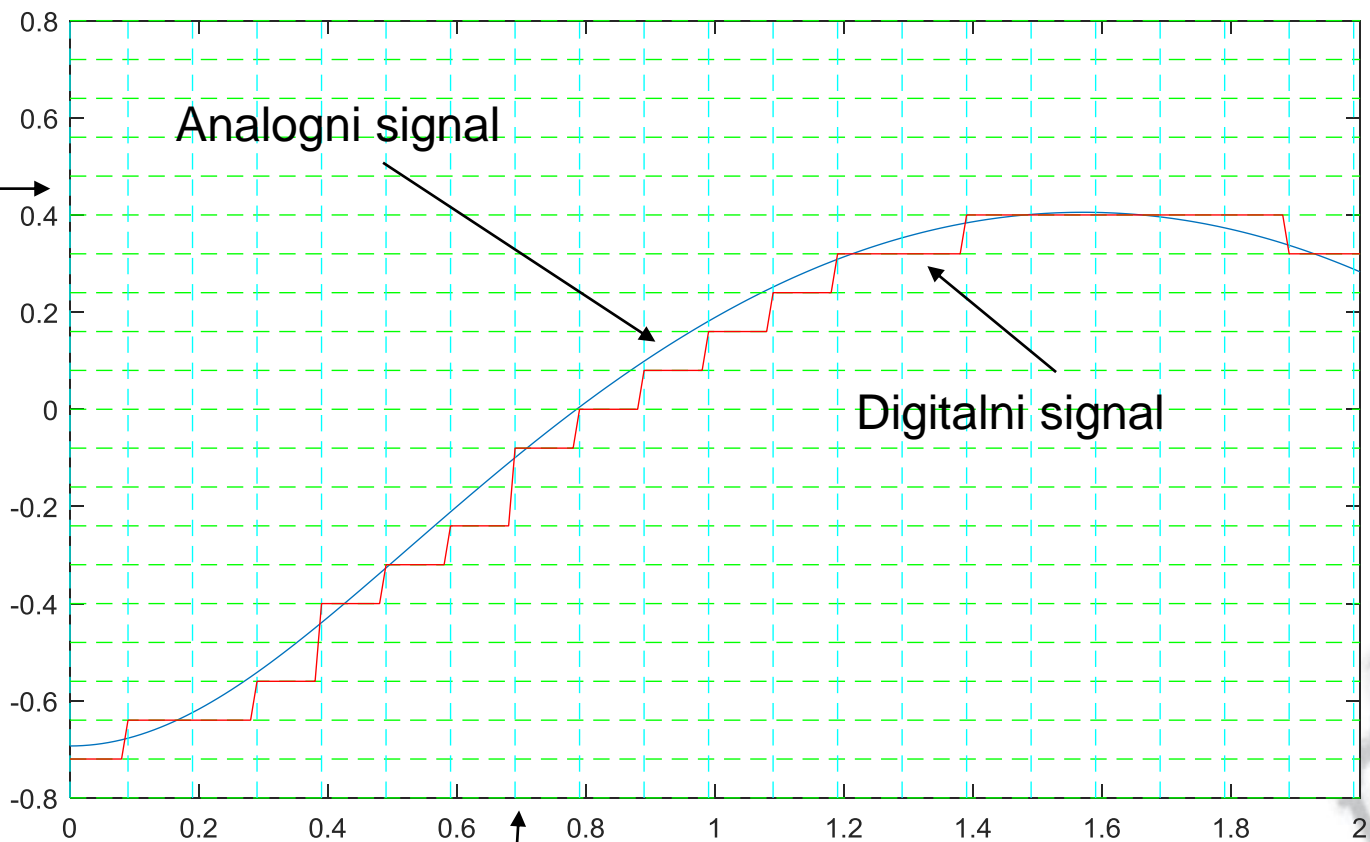
Aliasing efekat

- Promena frekvencijskog sadržaja signala usled odabiranja

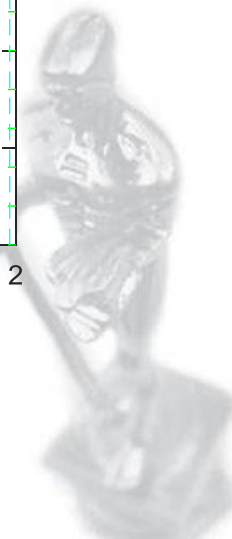


Iz analognog u digitalni signal

Nivoska
diskretizacija

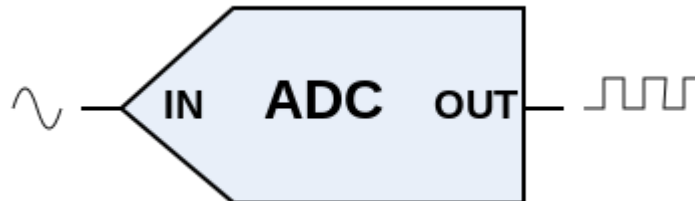


Vremenska
diskretizacija



Kvantizacija

- Kvantizacije je mapiranje beskonačnog seta analognih vrednosti u prebrojiv i ograničen manji set vrednosti
- Kvantizacija je u suštini zaokruživanje
- Greška između ulazne vrednosti i odgovarajućeg izlaza kvantizatora zove se greška kvantizacije
- Uređaj koji vrši kvantizaciju zove se kvantizator – AD konvertor je kvantizator



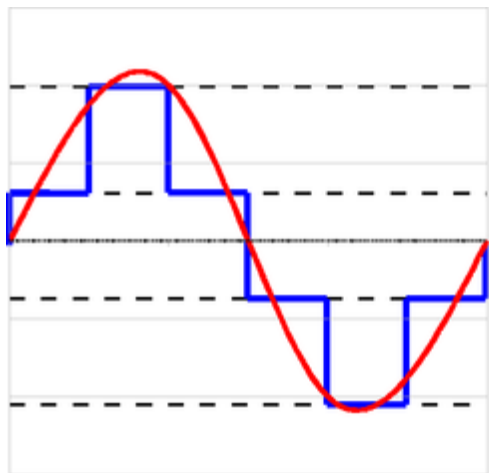
Kvantizacija

- Diskretizacijom analogni naponski signal se pretvara u niz realnih brojeva
- Kvantizacija menja svaki od ovih realnih brojeva vrednošću (nivoom) iz konačnog seta vrednosti koji mu je najbliži – vrši zaokruživanje
- Fiksni (diskretni nivoi) su određeni naponom napajanja AD konvertora i njegovom rezolucijom
- Rezolucija je najčešće stepen broja 2, 8 bitni – 256 nivoa, 16-bitni 65536 nivoa, 32 bitni – 4.3 milijarde nivoa

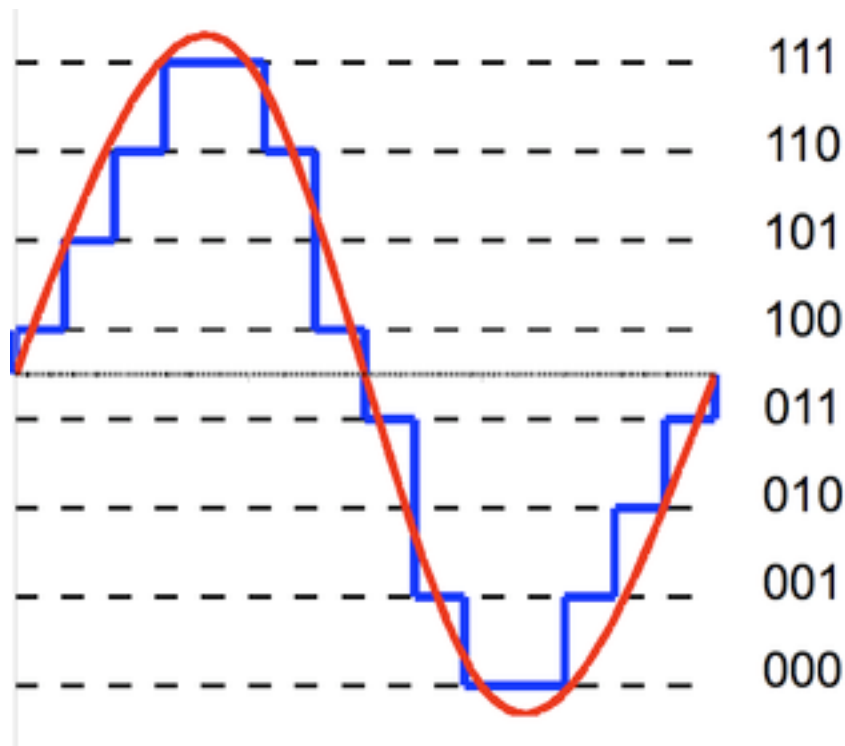


Kvantizacija

Kvantizacija sinusoidalnog signala sa 2-bitnim AD konvertorom



Kvantizacija sinusoidalnog signala sa 3-bitnim AD konvertorom



Greška kvantizacije

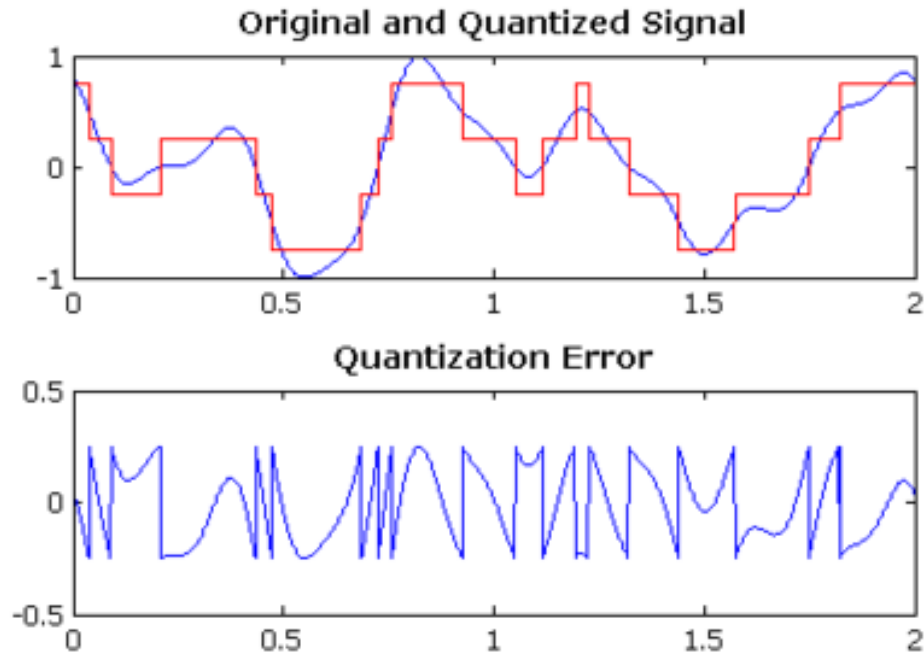
- Kvantizacija je ireverzibilna operacija koja dovodi do gubitka dela informacije
- Primer: Uniformna kvantizacija – zaokruživanje na najbliži celobrojni umnožak intervala kvantizacije:

$$Q(x) = \Delta * \text{floor} \left(\frac{x}{\Delta} + \frac{1}{2} \right)$$

- Δ – interval, odnosno rezolucija kvantizacije, najmanja promena analognog signala koja se vidi posle digitalizacije.
- Sve vrednosti u opsegu $+\Delta$ vide se kao isti binarni broi



Greška kvantizacije



- Greška kvantizacije nema gausovu raspodelu
- Šum usled korelacije nije beo



Od analognog signala do digitalnog broja

- Analogni naponski nivo u opsegu od 0 do VCC se pretvara u digitalni broj kvantizacijom

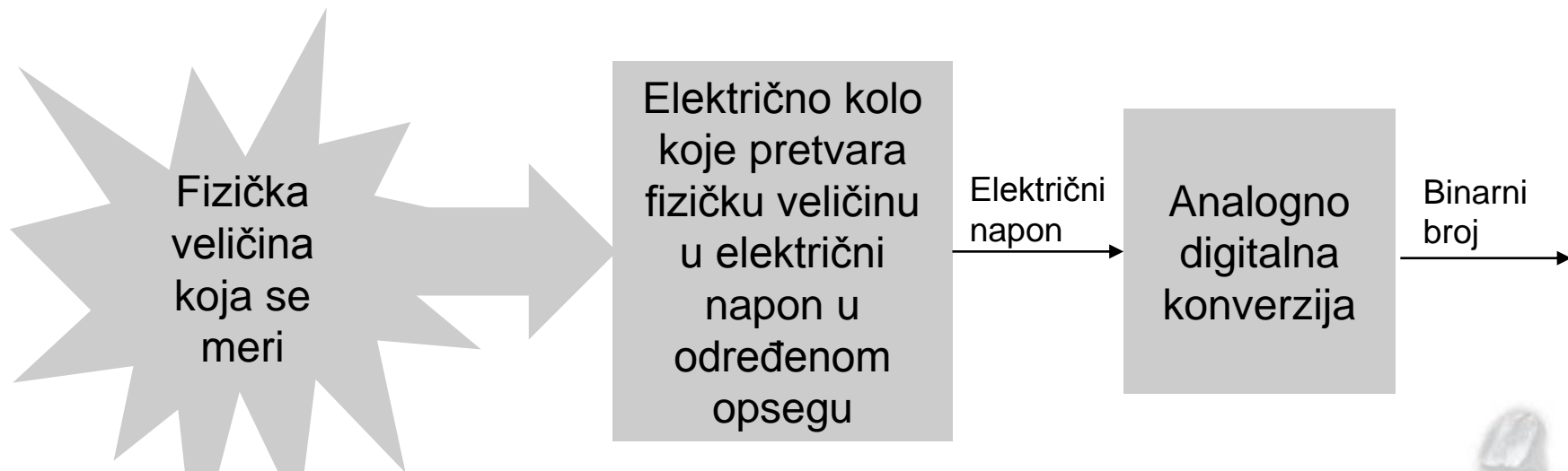
$$d = Q(U_{OUT}) = \Delta * \left(\frac{U_{OUT}}{\Delta} + \frac{1}{2} \right)$$

- Odgovarajući analogni naponski nivo na ulazu AD konvertora (sa greškom usled kvantizacije) može se izračunati iz digitalnog broja:

$$U_{OUT} = d * \Delta$$



Primer senzora temperature – od digitalnog broja sa AD konvertora do vrednosti izmerene temperature



T

$$T(U_{OUT}) = \frac{1}{\frac{1}{T_0} + \frac{\ln\left(\frac{R_0 * VCC}{U_{OUT}} - R_0\right)}{\beta}}$$

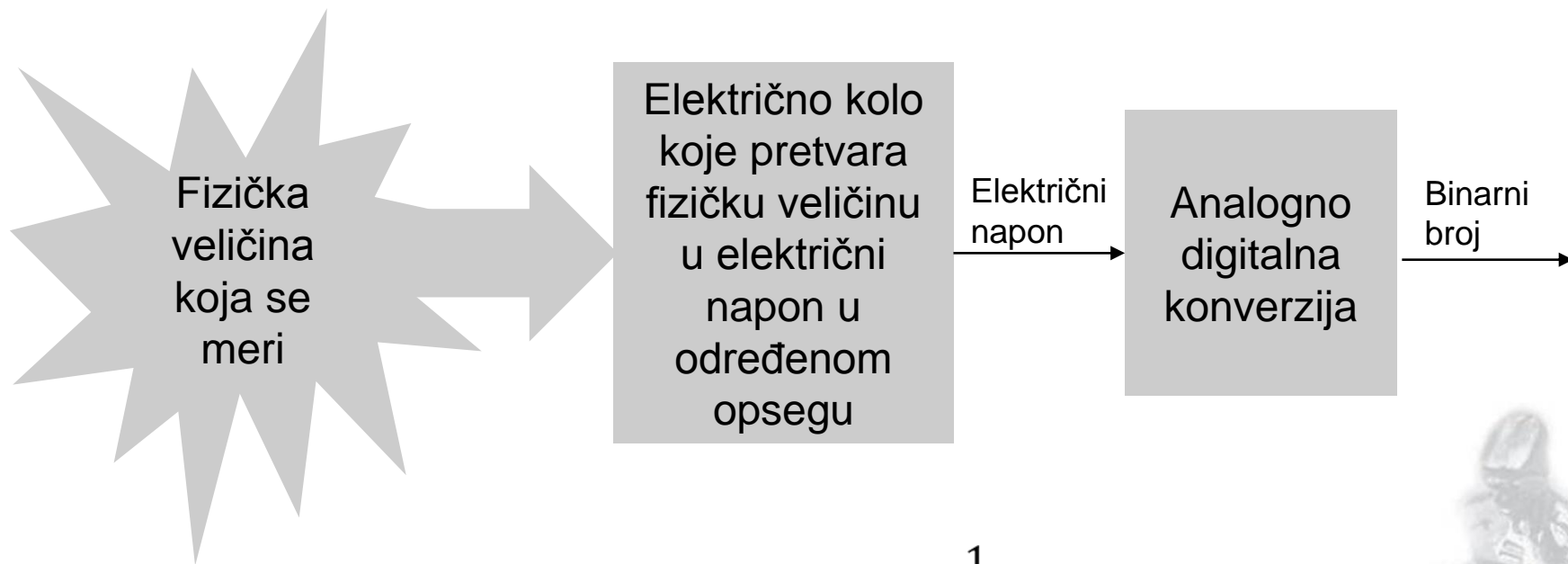
U_{OUT}

$$U_{OUT} = d * \Delta$$

d



Primer senzora temperature – od digitalnog broja sa AD konvertora do vrednosti izmerene temperature



T

$$T(d) = \frac{1}{\frac{1}{T_0} + \frac{\ln\left(\frac{R_0 * VCC}{d * \Delta} - R_0\right)}{\beta}}$$

d



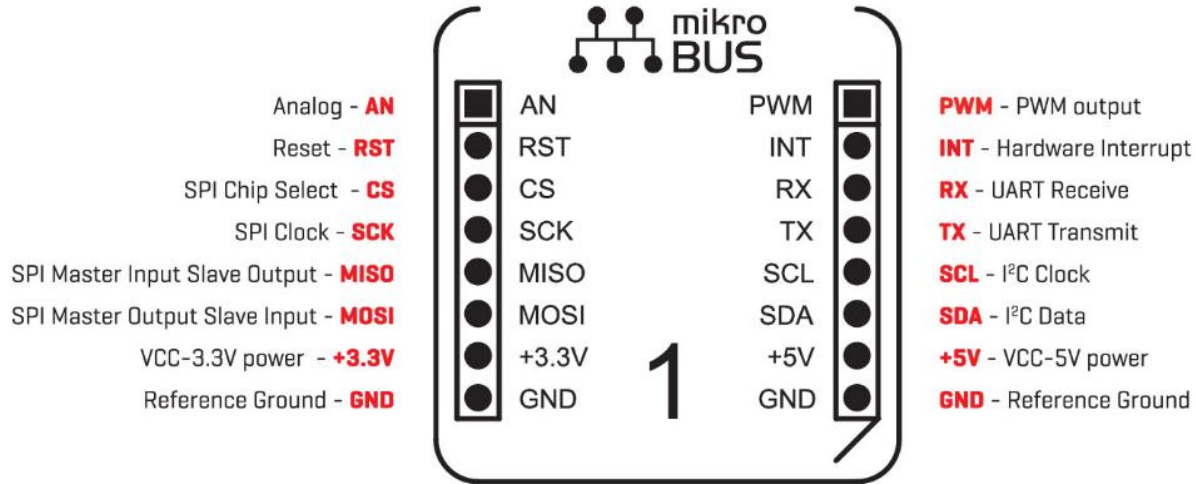
Senzori u praksi

- Light Click
- Pressure Click
- DHT22 Click
- GPS3 Click
- Alcohol Click
- LM35DZ
- ML8511
- ADXL345
- Ultrazvucni sensor PING
- PIR senzor

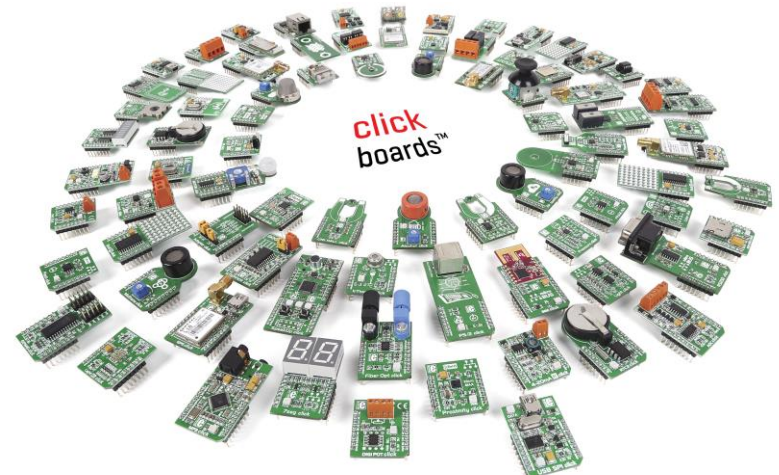


Mikroelektronika click standard

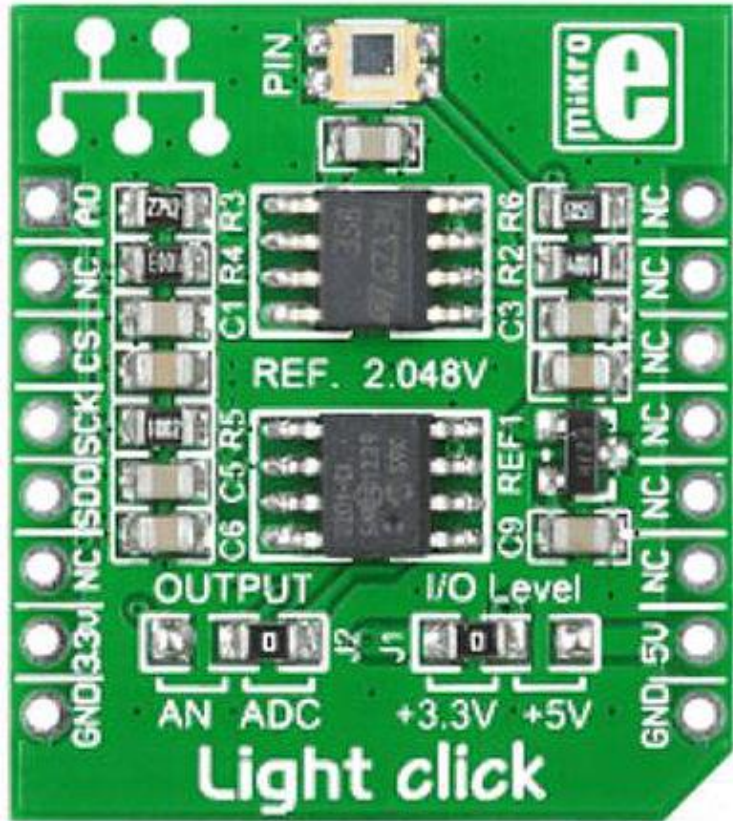
- Isti konektori za vse senzorske pločice



- Veliki asortiman različnih senzora sa istim interfejsom – značajno olakšana izrada prototipskih rešenja



Light Click senzor



- Sluzi za merenje intenziteta ambijentalnog osvetljenja
- Merenje ambijentalnog osvetljenja se ostvaruje pomocu fotodiode PIN
- ADC pretvarac sa SPI interfejsom
- Plocica radi sa 3.3V ili 5V
- Izmereni intenzitet ambijentalnog osvetljenja salje se kao analogni ili digitalni signal na spoljni interfejs



Pressure Click sensor



- Sluzi za merenje atmosferskog pritiska
- Merenje atmosferskog pritiska je moguće izvršiti pomoću digitalnog senzorskog čipa za pritisak
- Pritisak se može meriti u opsegu (260,1260)mbar
- Plocica se napaja naponom od 3.3V
- Pritisak se šalje kao digitalni signal na spoljni interfejs



DHT22 Click senzor



- DHT22 je pločica za merenje pritiska i vlažnosti vazduha
- Merenje se očitava pomocu senzorskog cipa na pločici
- Temperatura se detektuje izmedju $(-40,80) \text{ }^{\circ}\text{C}$ sa pola stepena preciznosti
- Vlažnost vazduha se detektuje opsegom $(0,100)\%$ sa preciznoscu 2%
- Rad pločice je ostvaren sa naponom 3.3V ili 5V
- Digitalni signal se salje na spoljni interfejs

GPS3 Click senzor



- Očitava koordinate lokacije
- Na pločici je ugradjena antena
- GPS informacija se prosledjuje spoljnom interfejsu
- Rad pločice je moguć sa naponom od 3.3V



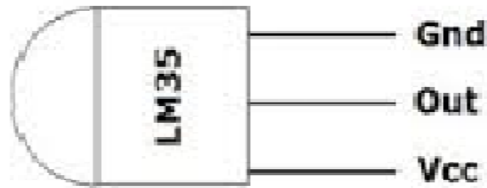
Alcohol Click senzor



- Sluzi za merenje nivoa alkohola
- Alcohol Click pločica sadrži senzorski cip za alkohol
- Senzor može detektovati koncentraciju alkohola opsega (0.04,4)mg/L
- Pločica radi na naponu od 5V i daje analogni napon proporcionalan izmerenom nivou alkohola



LM35DZ senzor



- Sluzi za merenje temperature
- Ovaj 3-pinski senzorski cip se povezuje na digitalni procesor pomocu ADC pretvaraca
- Temperatura se meri u opsegu (-55,150) °C sa tacnoscu od 0.5 °C
- Cip radi sa naponom u opsegu (4,30)V i trosi 60µA struje

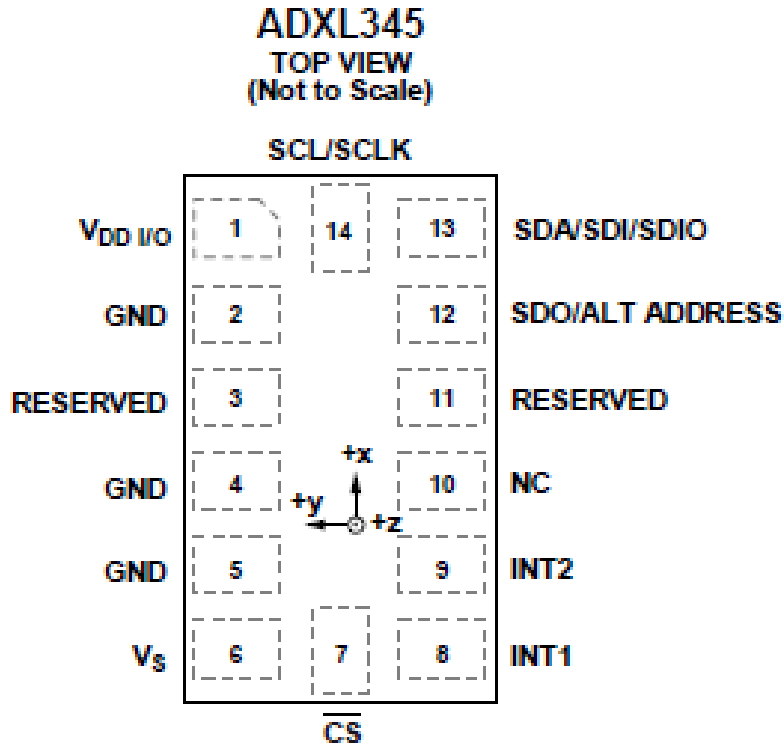
ML8511 senzor



- Meri intenzitet UV-A i UV-B zraka
- Senzor je osetljiv na zrake u opsegu (280,390)nm
- Izlaz je analogni napon i kalibrisan da daje UV intenzitet u mW/m^2
- Senzor radi na 3.3V



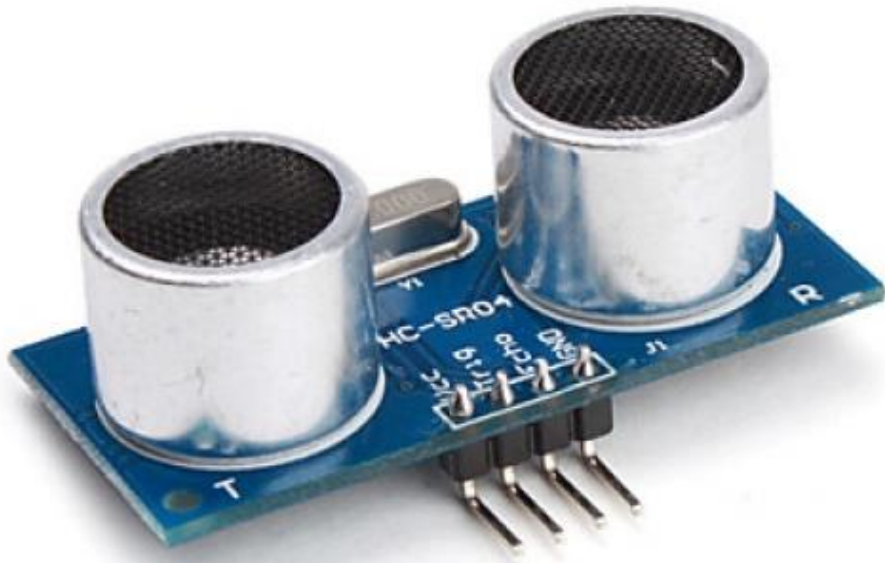
ADXL345 senzor



- Senzor je 3-osni akcelerometarski cip sa 13-bitnom rezolucijom do $|16|g$
- Digitalni izlaz je formatiran na 16-bitni dvokomplementni podatak
- Napon napajanja je (2,3.6)V uz potrošnju struje $23\mu A$



Ultrazvucni PING senzor



- Ovaj senzor omogućava merenje udaljenosti
- Senzorski modul moze da meri razdaljinu od 2cm do 3m
- Ovaj tropinski senzor razmenjuje podatke sa digitalnim procesorom preko jednog pina



PIR senzor



- Senzor detektuje kretanje tako što prepoznaje promenu u infracrvenim nivoima koji detektuju okolni objekti
- Logicki nivo 1 je izlaz kada je objekat detektovan
- Senzor moze detektovati osobe udaljene do 9.144m

