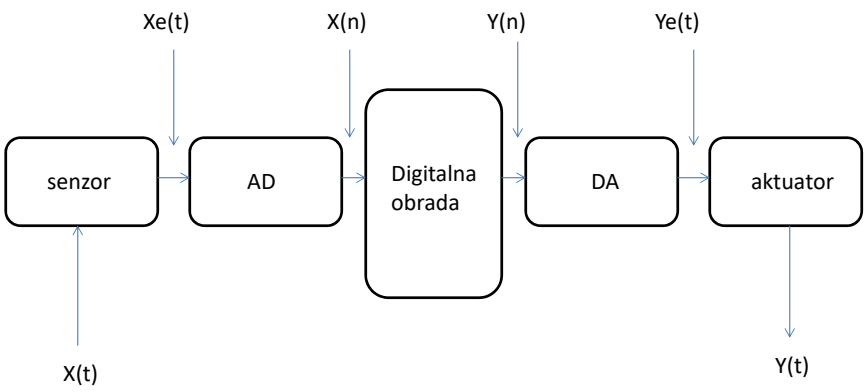
Digitalna elektronika
AD i DA konverzija



Digitalna elektronika
AD i DA konverzija

Analogno digitalna konverzija

AD Konvertori A/D Konvertori ADC

Ulaz - analogni napon

Izlaz – digitalna (binarna) vrednost srazmerna ulaznoj veličini

1. Odabiranje u vremenu, diskretizacija u vremenu
2. Diskretizacija po amplitudi

Ograničen signal na izlazu: broj mogućih vrednosti predstave brojeva
Ograničen signal na ulazu

Digitalna elektronika
AD i DA konverzija

Digitalno analogna konverzija

DA Konvertori D/A Konvertori DAC

Ulaz – digitalna (binarna) vrednost

Izlaz – analogni napon srazmeran ulaznoj veličini

1. Diskretan po amplitudi
2. Kontinualan u vremenu

Ograničen signal na ulazu: broj mogućih vrednosti predstave brojeva
Ograničen signal na izlazu

Digitalna elektronika
AD i DA konverzija

Linearni uniformni konvertor

"Moguće" vrednosti ulaznog napona su linearno raspoređenje

AD diskretizacija po amplitudi

$$V_{\min} \to B_{\min}, \quad (V_{\min}+\Delta) \to (B_{\min}+1), \quad ..., \quad (V_{\max}-\Delta) \to (B_{\max}-1), \quad (V_{\max} \to B_{\max})$$

"Moguće" vrednosti izlaznog napona su linearno raspoređenje

DA diskretizacija po amlitudi

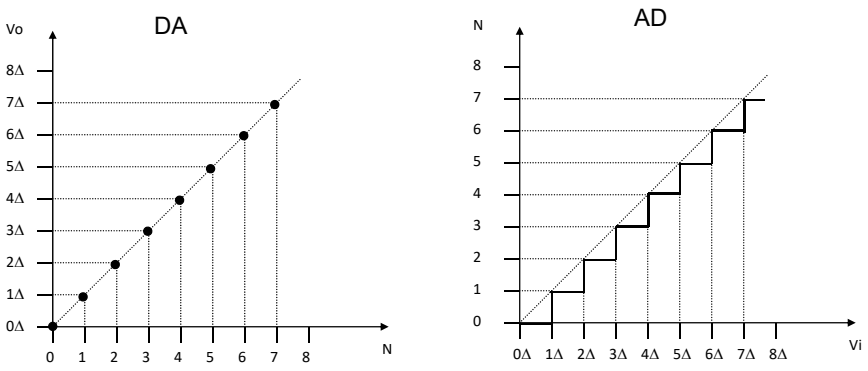
$$B_{\min} \to V_{\min}, \quad (B_{\min}+1) \to (V_{\min}+\Delta), \quad ..., \quad (B_{\max}-1) \to (V_{\max}-\Delta), \quad (B_{\max} \to V_{\max})$$

UNIPOLARNI $V_{\min}, V_{\max} > 0 \quad ili \quad V_{\min}, V_{\max} < 0$

BIPOLARNI $V_{\min} < 0 \quad V_{\max} > 0$

Digitalna elektronika
AD i DA konverzija

Karakteristika konverzije



Δ= vrednost koja odgovara vrednosti 1LSB

Najmanja promena koja može da se "detektuje", "generiše"

Digitalna elektronika
AD i DA konverzija

Karakteristika konverzije

Napon pune skale - *full scale - FS*

$$FS = V_{\max} - V_{\min}$$

Δ= vrednost koja odgovara vrednosti 1LSB

Konvertor konvertuje sa rezolucijom od Δ(volti, milivolti, ...)

Rezolucija konvertora

$$R_{2^N} = \frac{FS}{\Delta}$$

Konvertor ima 2^N kvantizacionih nivoa

$$R_N = \log_2 \frac{FS}{\Delta}$$

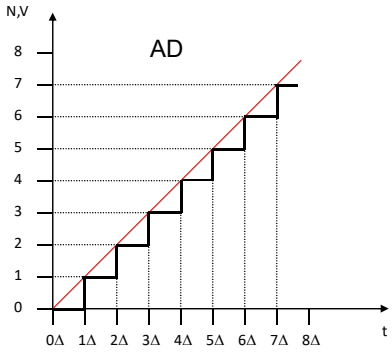
Konvertor je N bitni

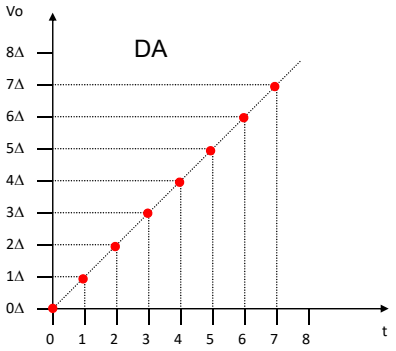
Digitalna elektronika

AD i DA konverzija – Greške konverzije – Šum kvantizacije

Kvantizacija signala

$$x(t) = \Delta \frac{t}{T} \quad za \quad 0 \le t \le 2^n T$$





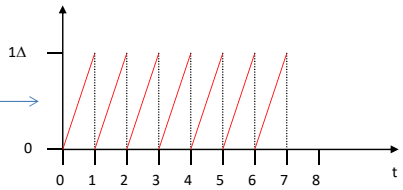
Ne možemo da pravimo delta impulse.
Između 0 i 1 vrednost 0 Δ
Između 1 i 2 vrednost 1 Δ
itd

Digitalna elektronika

AD i DA konverzija – Greške konverzije – Šum kvantizacije

Greška koju smo napravili

Šum kvantizacije →



Umesto $x(t) = \Delta \frac{t}{T} \quad za \quad 0 \le t \le 2^n T$

kao da smo kvantizovali signal

$$x_q(t) = \Delta \sum_{k=0}^{2^N - 1} k\, p_t(t - kT) \quad za \quad 0 \le t \le 2^n T \quad gde\ je \quad p_t = \begin{cases} 1 & 0 \le t \le T \\ 0 & else \end{cases}$$

odnosno, kao da smo na originalni signal “dodali” šum kvantizacije.

Digitalna elektronika

AD i DA konverzija – Greške konverzije – Šum kvantizacije

Šum kvantizacije $n_q(t) = x(t) - x_Q(t)$

Srednja vrednost $\overline{n}_q = \frac{\Delta}{2}$

Snaga šuma kvantizacije

$$P_q = n_{qRMS}^2 = \frac{1}{T}\int_0^T n_q^2(t)dt - \overline{n}_q^2 = \frac{1}{T}\int_0^T \left(\frac{t}{T}\Delta\right)^2 dt - \left(\frac{\Delta}{2}\right)^2 = \frac{\Delta^2}{12}$$

Test signal = sinusoidalan signal maksimalne amplitude

$$P_S = \frac{\left(\Delta\frac{2^N-1}{2}\right)^2}{2} = \frac{\Delta^2}{8}\left(2^N-1\right)^2$$

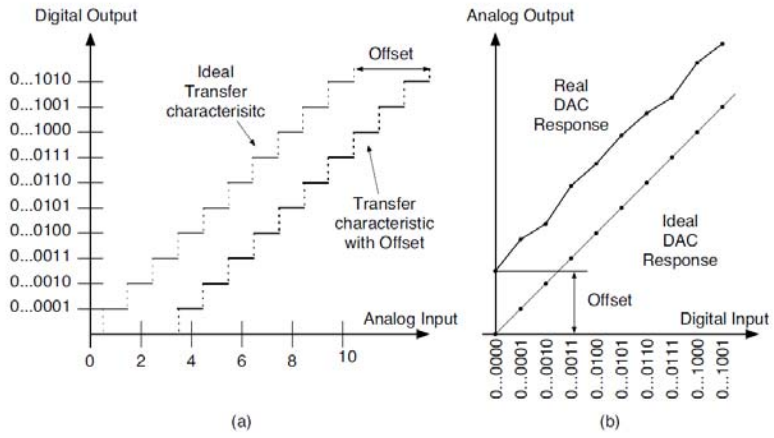
$$SNR = \frac{P_S}{P_q} = \frac{3}{2}\left(2^N-1\right)^2$$

$$SNR = 10\log_{10}\frac{P_S}{P_q} \approx 6.02N + 1.76\ dB$$

Svaki dodatni bit poboljšava odnos signal šum za 6dB

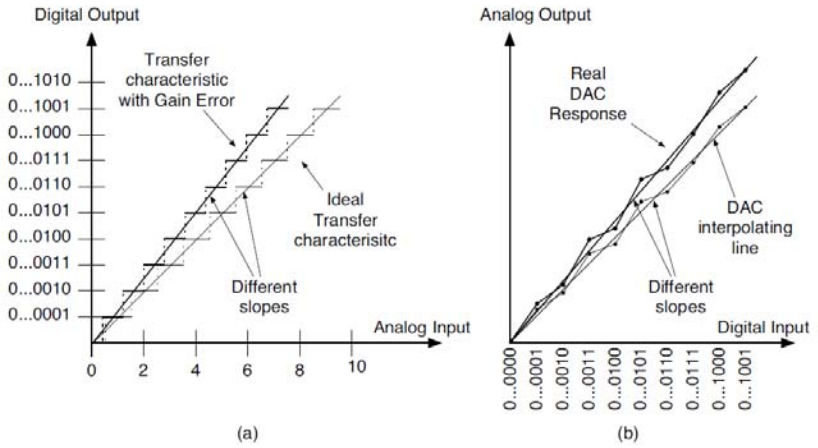
Digitalna elektronika

AD i DA konverzija – Greške konverzije – Greška ofseta



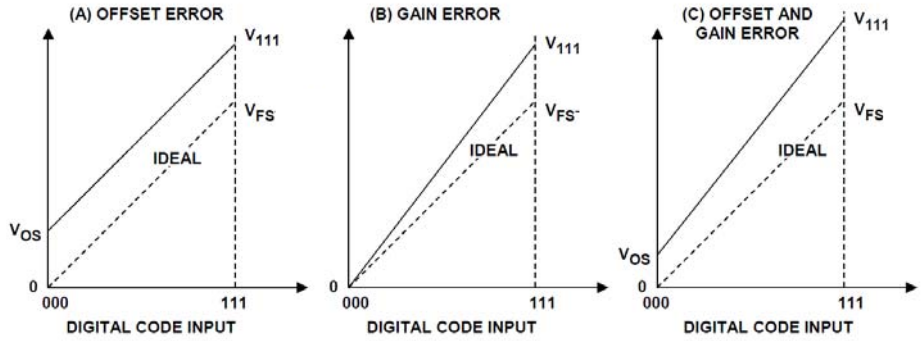
Digitalna elektronika

AD i DA konverzija – Greške konverzije – Greška pojačanja



Digitalna elektronika

AD i DA konverzija – Greške konverzije – Greška ofseta i greška pojačanja



OFFSET ERROR = $V_{000} = V_{OS}$

GAIN ERROR = 0

OFFSET ERROR = 0

GAIN ERROR (%) =

$$100\left[\frac{V_{111}}{V_{FS}} - 1\right]$$

OFFSET ERROR = $V_{000} = V_{OS}$

GAIN ERROR (%) =

$$100\left[\frac{V_{111} - V_{OS}}{V_{FS}} - 1\right]$$

Kompenzacijom ovih grešaka postiže se poklapanje na krajevima intervala

Digitalna elektronika

AD i DA konverzija – Greške konverzije – Greška pojačanja

Sve ovo je bilo pod uslovom da je greška pojačanja linearna.

$$x(t) = A\sin(\omega_0 t + \varphi)$$

Linearno pojačanje ne unosi dodatne harmonijske komponente.

$$y(t) = ax(t)$$

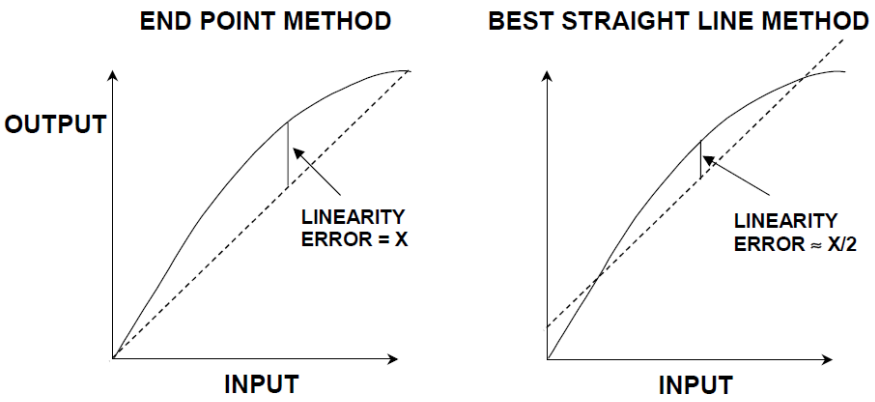
Nelinerano?

$$y(t) = ax(t) + bx^2(t) + \ldots$$

$$y(t) = aA\sin(\omega_0 t + \varphi) + bA^2 \sin^2(\omega_0 t + \varphi) + \ldots$$

Digitalna elektronika

AD i DA konverzija – Greške konverzije – Specifikacija nelinearnosti

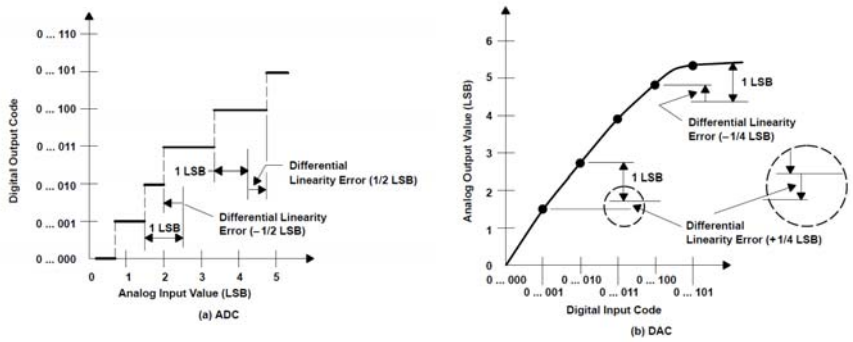


Greške ofseta i pojačanja se mogu kompenzovati

Nelinearnosti se gledaju na kompenzovanoj karakteristici (ofset i pojačanje)

Digitalna elektronika

AD i DA konverzija – Greške konverzije – Diferencijalna i integralna nelinearnost



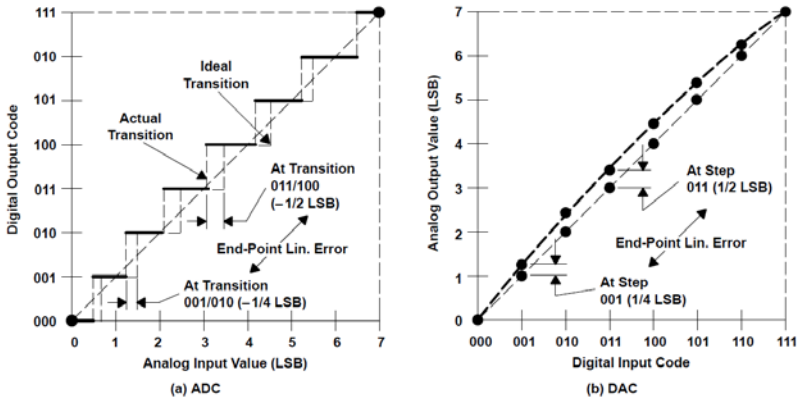
$$DNL_k = A_k - A_{k-1} - \Delta$$

$$DNL = \max_k \left| DNL_k \right|$$

A_k k-ti kvantizacioni nivo kompenzovane realne karakteristike

Digitalna elektronika

AD i DA konverzija – Greške konverzije – Diferencijalna i integralna nelinernost



$$INL_k = A_k - \tilde{A}_k$$

$$INL = \max_k \left| INL_k \right|$$

A_k k-ti kvantizacioni nivo kompenzovane realne karakteristike

$\tilde{A}_k$ k-ti kvantizacioni nivo idealne karakteristike

Digitalna elektronika

AD i DA konverzija – Greške konverzije – Monotonost i nedostajući kodovi

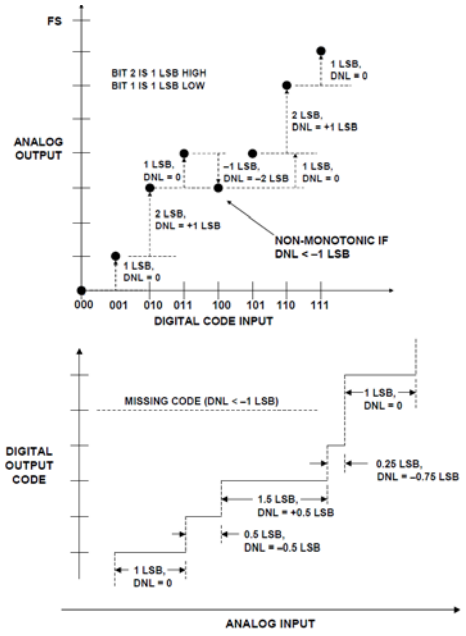
$$DNL_k = INL_k - INL_{k-1}$$

$$INL_k = INL_0 + \sum_{i=1}^{k} DNL_i$$

Monotona karakteristika konverzije
Nema nedostajućih kodova

$$\left|INL_k\right| \leq 0.5LSB$$

$$\left|DNL_k\right| \leq 1LSB$$



Digitalna elektronika

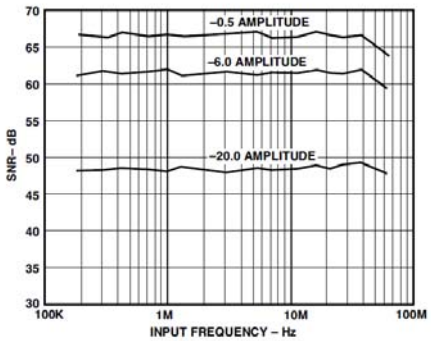
AD i DA konverzija – Frekventne karakteristike

Signal to noise ratio - odnos signal šum

$$SNR = 10\log_{10}\frac{P_S}{P_n}$$

P_S Snaga signala, test sinusoida

P_n Snaga šuma, kvantizacija, šum komponente ...



12-bitni konvertor
50MHz

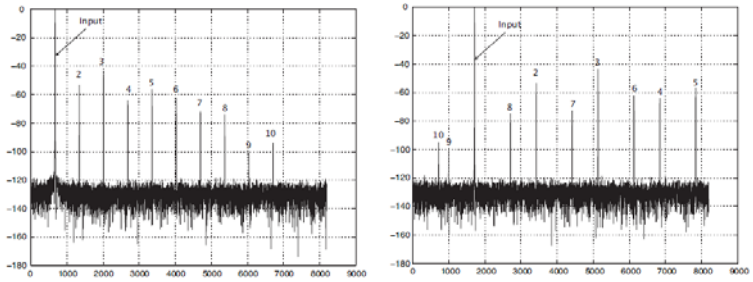
Digitalna elektronika
AD i DA konverzija – Frekventne karakteristike

Harmonic distortion - harmonijsko izobličenje, distorzija

$$HD_k = 10\log_{10}\frac{P_k}{P_1}$$

Total harmonic distortion - totalno harmonijsko izobličenje

$$THD_k = 10\log_{10}\frac{\sum_{k=2}^{\infty} P_k}{P_1}$$



Fs=16.38kHz

Digitalna elektronika
AD i DA konverzija – Frekventne karakteristike

Signal-to-Noise-and-Distortion Ratio = SINAD

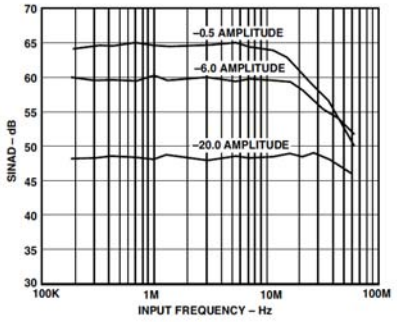
$$SNDR = 10\log_{10}\frac{P_S}{P_n + \sum_{k=2}^{\infty} P_k}$$

P_S Snaga signala, test sinusoida

P_n Snaga šuma, kvantizacija, šum komponente ...

P_k Snaga harmonijskih komponenti

Harmonijske komponente = nelinerano pojačanje, DNL, INL, ...



Digitalna elektronika
AD i DA konverzija – Frekventne karakteristike

Effective number of bits

$$SNDR = 10\log_{10}\frac{P_S}{P_n + \sum_{k=2}^{\infty} P_k}$$

$$SNR = 10\log_{10}\frac{P_S}{P_q} \approx 6.02N + 1.76\ dB$$

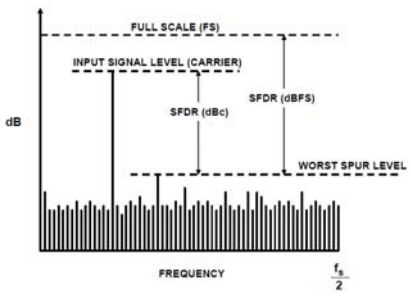
$$ENOB = \frac{SNDR - 1.76}{6.02}$$

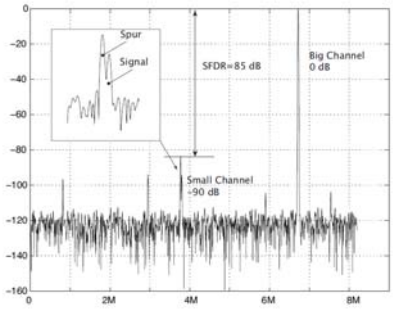
Digitalna elektronika
AD i DA konverzija – Frekventne karakteristike

Spurious free dynamic range

$$SFDR = 10\log_{10}\frac{P_1}{P_x}$$

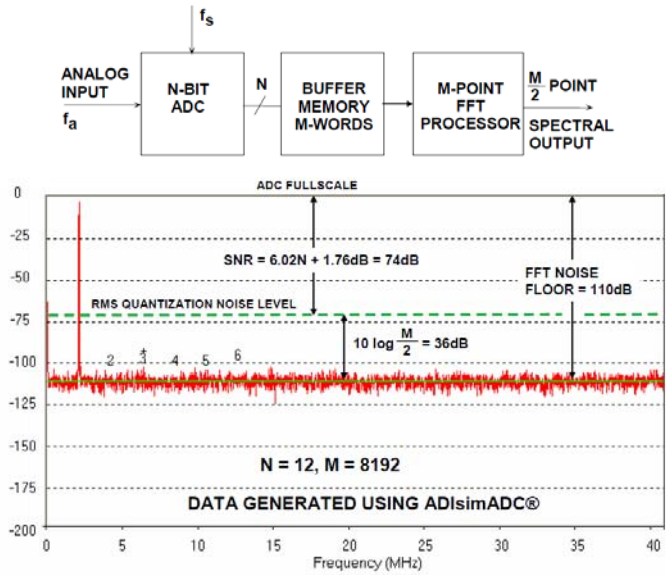
Px snaga signala koji je možda harmonik originalnog signala a možda i posledica nekog drugog efekta. Lažan signal.





Digitalna elektronika

AD i DA konverzija – Frekventne karakteristike

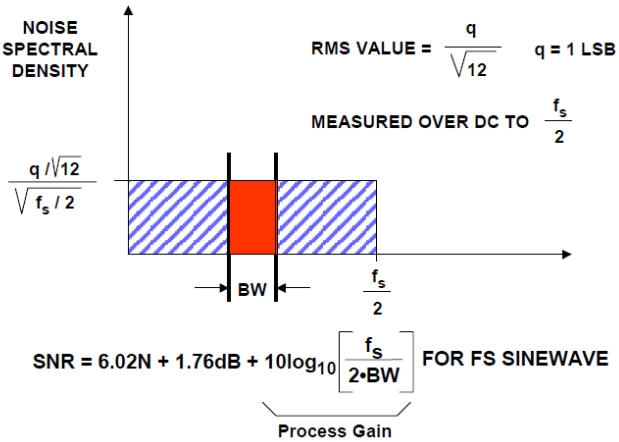


FFT Output for an Ideal 12-Bit ADC, Input = 2.111MHz, f_s = 82MSPS, Average of 5 FFTs, M = 8192,

Digitalna elektronika

AD i DA konverzija – Povećanje SNR-a usled FFT-a

$$\text{SNR} = 6.02\text{N} + 1.76\ \text{dB} + 10\log_{10}\frac{f_s}{2 \cdot \text{BW}}, \text{ over bandwidth BW.}$$



FFT se ponaša kao filtar propusnik opsega

Propusni opseg FFT-a računatog u M tačaka je fs/M