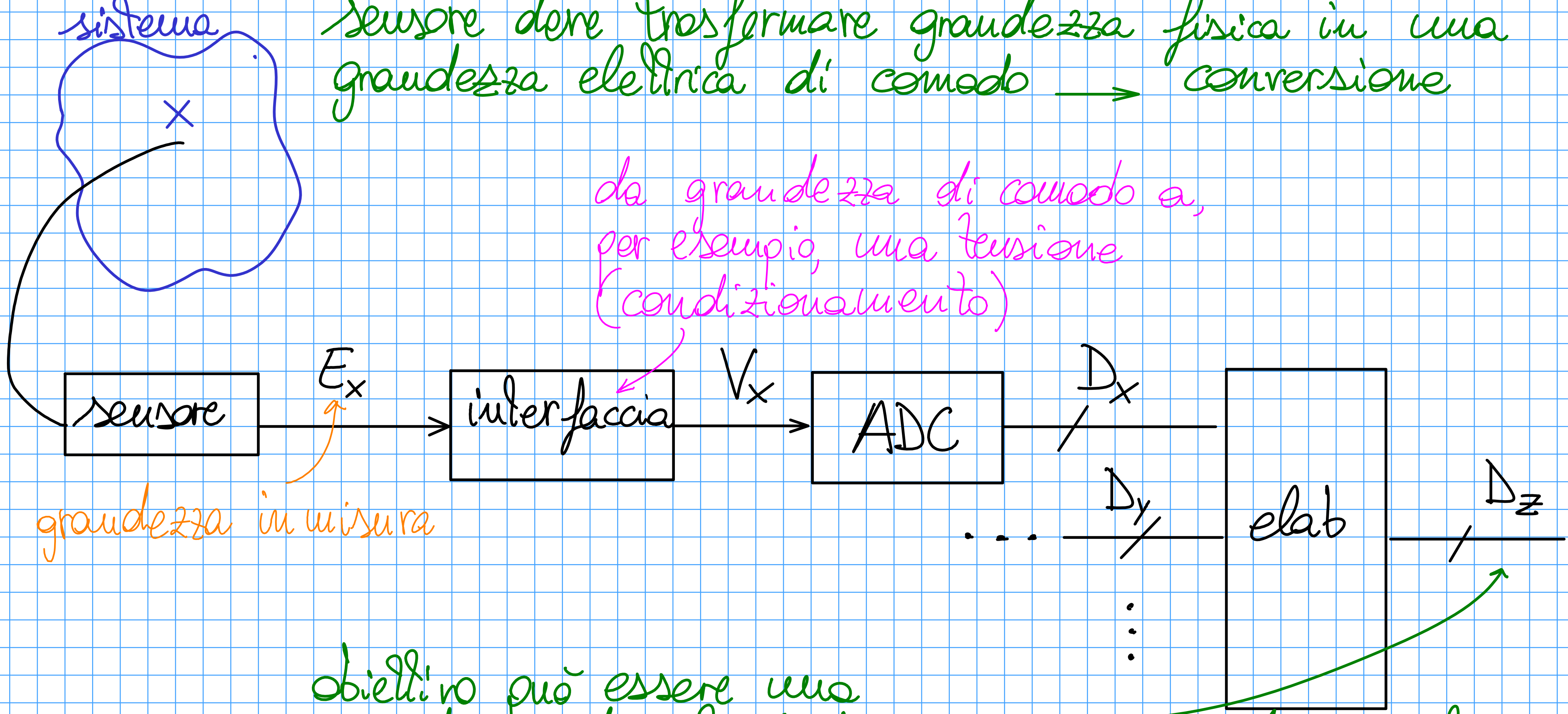
Sensori e specifiche

sensore deve trasformare grandezza fisica in una grandezza elettrica di comodo ⟶ conversione



da grandezza di comodo a, per esempio, una tensione (condizionamento)

obiettivo può essere una grandezza derivata (ad esempio un angolo a partire da coordinate x, y)

vedremo poi come si valuta errore sulle grandezze derivate (dipendenza di D_z da z, considerando errore su x, y)

Interfaccia a sensore

da mondo fisico sensore estrae una grandezza elettrica, rappresentabile sotto due diverse categorie:

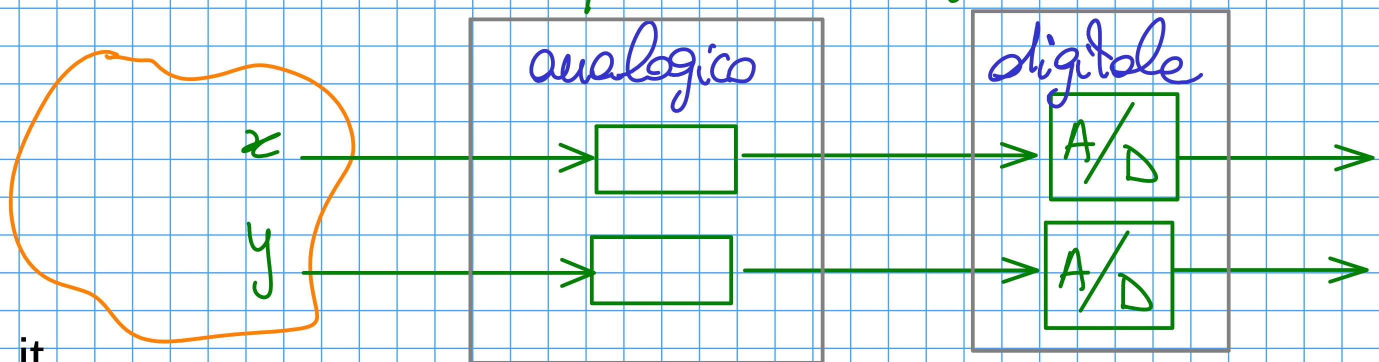
→ **segnale analogico**

può assumere con continuità un valore all'interno di un intervallo; si distinguono due diverse categorie:

- analogico tempo continuo
  validità del segnale ad un qualunque istante temporale
- analogico tempo discreto
  assume valore informativo solo in corrispondenza di determinati istanti temporali

→ **segnale digitale**

assume un numero discreto di valori in corrispondenza di istanti temporali di riferimento



esempio di catena di acquisizione

Parametri necessari come strumento di confronto e sintesi

Risoluzione → minima variazione della variabile di ingresso x discriminabile dal sistema

nel caso analogico la risoluzione è limitata dal rumore sulle misura

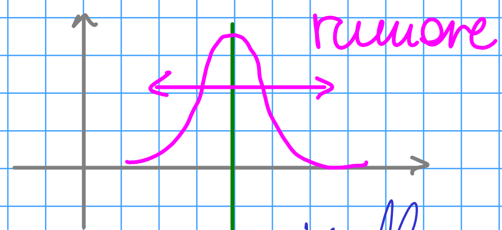
nel caso digitale la risoluzione è limitata dal passo di discretizzazione
anch'esso può essere visto come rumore → rumore di quantizzazione

di per se la risoluzione non fornisce informazioni sulla "fedeltà" del sistema

Precisione → definita come $|x - x_{MIS}|$, indica quanto il valore misurato si discosta dal valore reale

se misurata ripetendo le prove ha validità statistica

il **contributo del rumore alla precisione** provoca uno "stiramento" della distribuzione delle misure attorno a valore reale



nel caso in cui si **escluda il rumore**, la precisione è influenzata dall'affidabilità della legge matematica per ottenere x_{MIS} da $V_{x_{MIS}}$

in base al sistema di misura scelto si definisce l'escursione massima della variabile

Full range definito come $X_{FS} = X_{max} - X_{min}$

e inoltre si definisce

X_{ZERO} condizione stazionaria di riposo del sistema

X_M è il risultato dell'operazione di misura su X, rappresenta un valore stimato

$\hookrightarrow$ si definisce $\mathcal{E} = X_M - X$ errore assoluto

acvin.it

Errori sulla misura

sono dovuti a diverse sorgenti, tra le quali:

→ **errore casuale** . Nel caso in cui il rumore sia ergodico, ovvero la media temporale coincide alla media delle diverse realizzazioni ad un certo istante

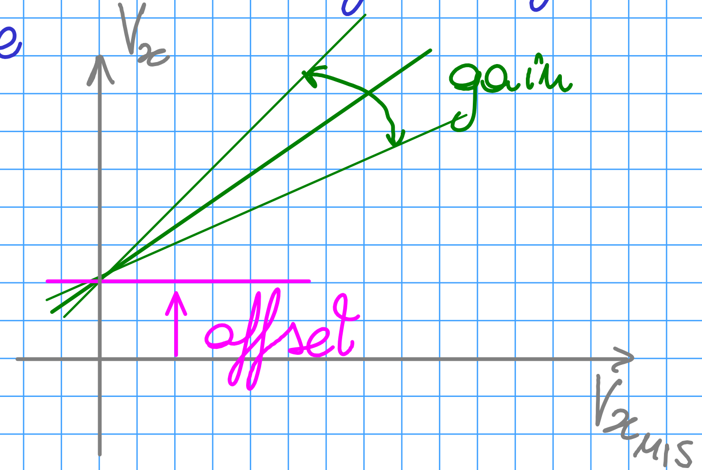
errori sistematici

→ **errore di offset**, ovvero una componente continua presente sulle V_x a prescindere dalla misura dovuta a errori di matching

$$\varepsilon_{off} = X_M(X_{ZERO}) - X_{ZERO}$$

varia con la temperatura

→ **errore di Gain** , ovvero una differenza tra il guadagno del sistema e il valore di guadagno ideale



$$\varepsilon_{gain} = \frac{\left[X_M(X_{MAX}) - X_M(X_{MIN})\right] - X_{FS}}{X_{FS}}$$

errore di guadagno in amplificatore → non riesco a ottenere la V_{IN} originale dividendo V_{OUT} per A, perché A è affetto da errore possiamo definire una funzione f che leghi la X alla V_x e D_x

Nota: la funzione f sarà sicuramente lineare, mentre la risposta del sensore spesso non lo è / il **sistema digitale** a valle opererà anche una **linearizzazione**

Hp **interfaccia capacitiva su X**

$C = KX$ ovvero varia linearmente con X, con un fattore K

e la conversione del tipo $V_x = f_{CK} \cdot RC \cdot V_{ref}$

se sistema fosse ideale con $f_{NOMINALE}$ e $K_{NOMINALE}$ $\longrightarrow$ $X_M = \dfrac{V_x}{f_{CK} \cdot R \cdot K_N \cdot V_{ref}} = X \dfrac{R}{R_N}$

Hp abbiamo $X_{MIN} = 0$, quindi $FS = X_{MAX}$

$$\varepsilon = X_M - X = X\left(\frac{R}{R_N} - 1\right) = \frac{R - R_N}{R_N} X$$

$$\varepsilon_{gain} = \frac{R - R_N}{R_N} \cancel{X_{MAX}} \cdot \frac{1}{\cancel{FS}} = \frac{R - R_N}{R_N}$$

ε_{gain} coincide con errore relativo su R

precisazione su ε_{gain}

il valore trovato nel calcolo di $\varepsilon_{gain} = \frac{R - R_N}{R_N}$ non è un errore di matching sul rapporto ma un semplice errore tra un componente e il valore nominale (ad es. **tolleranza** su resistenze commerciali)

se invece avessimo un'uscita del sensore in tensione

$X \longrightarrow V_{in} = KX$ amplifico con $A \longrightarrow V_z = A V_{in} = AKX$

dove A è ottenuto come rapporto di resistenze, ad es. con operazionale

$$V_z = \frac{R_2}{R_1} KX = r \cdot KX$$

$$X_M = X \frac{r}{r_N}$$

$$\varepsilon_{gain} = \frac{r - r_N}{r_N}$$

formalmente si ottiene il solito risultato di prima **MA**

la riduzione dell'errore ε_{gain} è affidata al rapporto R_2/R_1 che è un **errore di matching**

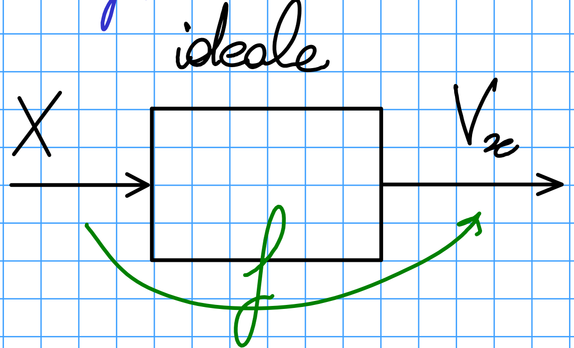
Non siamo interessati ai valori di R_1 e R_2 (e neppure ai valori nominali) ma alla **precisione del loro rapporto**

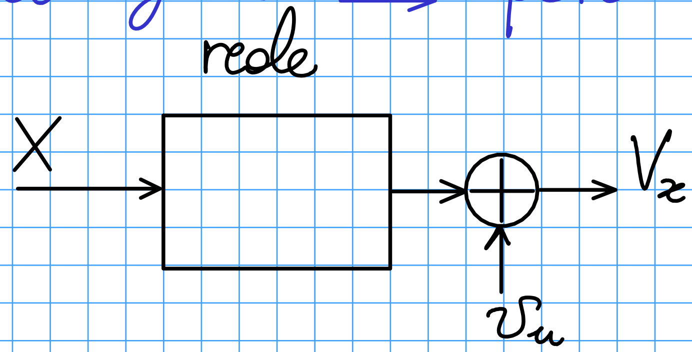
acvin.it

Sensibilità → capacità del sistema di distinguere due valori vicini

offset e errore di gain non incidono sulla sensibilità perché introducono un errore sistematico stabile nel tempo

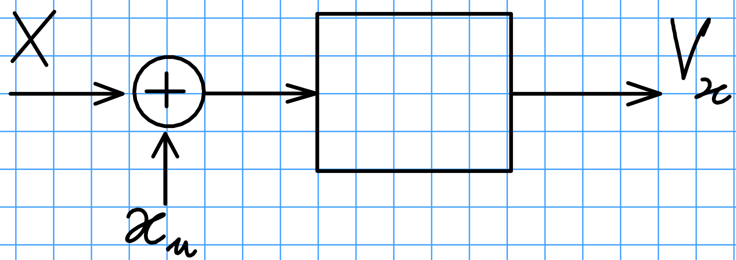
il rumore costituisce un limite alla sensibilità perché introduce fluttuazioni aleatorie del segnale → perché?





con v_n indico sia offset che rumore e le separo con la sovrapposizione degli effetti

riporto il rumore in ingresso



esiste una relazione tra x_n e v_n: ΔV_x dovuta a x_n deve essere uguale alla ΔV_x prodotta da v_n

$$\Delta V_x(x_n) = \frac{\partial V_x}{\partial X} x_n$$ dove $S = \frac{\partial V_x}{\partial X}$ si definisce sensibilità

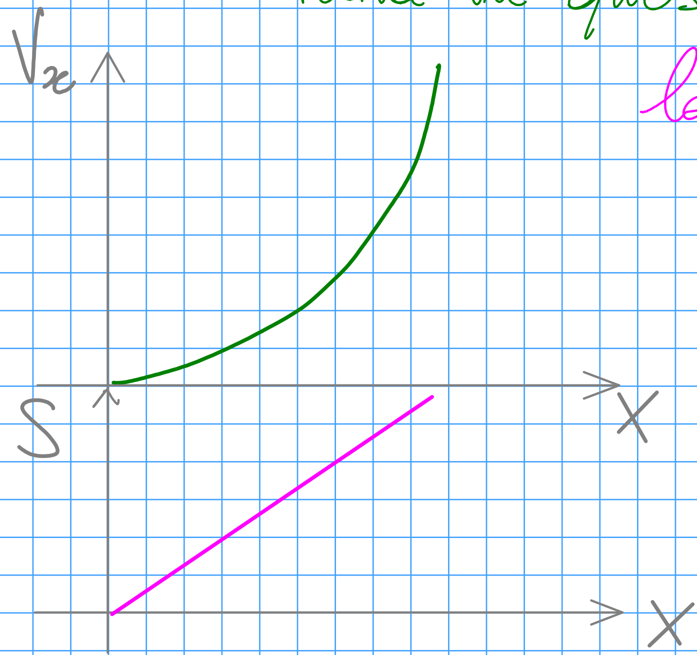
$$\Delta V_x(v_n) = v_n$$

si ottiene quindi:

$$\Delta V_{x}(v_n) = \Delta V_{x}(x_n) \longrightarrow \boxed{v_n = \frac{1}{S} x_n}$$

a parità di x_n, il rumore in tensione di uscita decresce nei punti a sensibilità più elevata!

se per esempio l'andamento V_x in funzione di X varia in questo modo (non lineare)

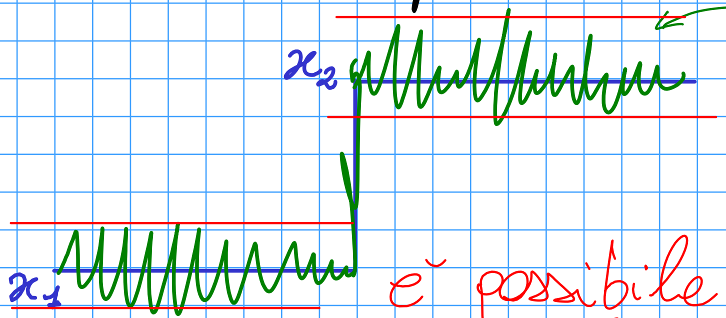


la sensibilità è calcolabile come $S = \frac{\partial V_x}{\partial X}$

il sensore avrà una maggiore reiezione del rumore in corrispondenza dei tratti a maggior sensibilità

→ evidente se si riporta in ingresso il rumore presente sull'uscita

Come influisce il rumore sui parametri?



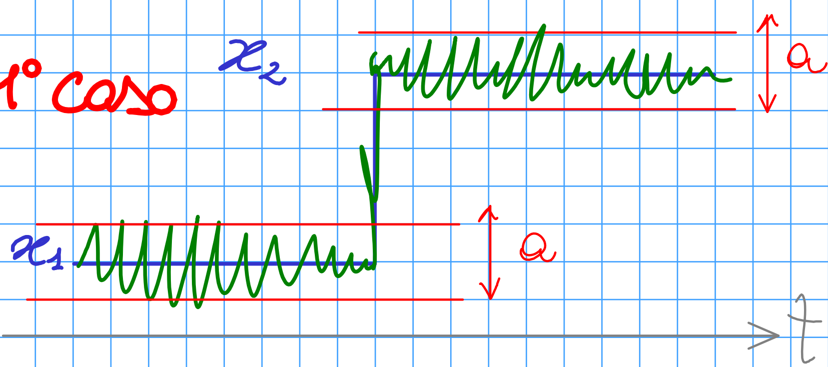
sul segnale misurato è presente rumore, a valor medio nullo e varianza σ^2

è possibile definire, utilizzando il **valore quadratico medio**, un intervallo di valori che il rumore assume con elevata probabilità ($\sim 95\%$) $\longrightarrow$ si dice **fascia di rumore**

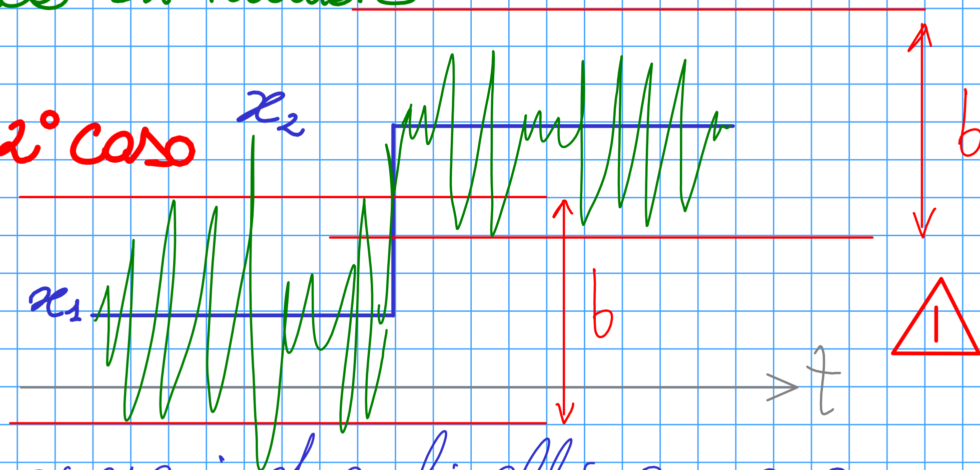
l'uso pratico della fascia di rumore è descritto qui sotto:

prendiamo una variazione del segnale da x_1 a x_2 considerando due fasce di rumore

1° caso

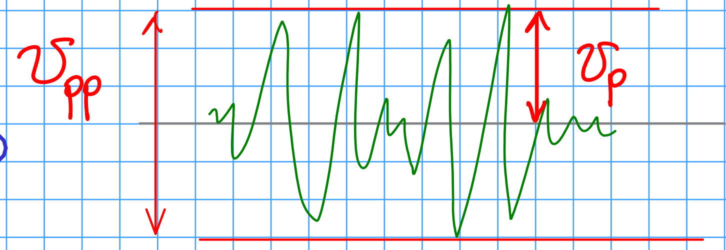


2° caso



nel primo caso riusciamo a distinguere i due livelli x_1 e x_2, mentre nel secondo abbiamo la sovrapposizione delle due fasce di rumore, non si riescono a distinguere i due valori quanto vale la fascia di rumore ?

fascia di rumore = ampiezza picco picco



$v_{pp} = 2 v_p$

rumore gaussiano a media nulla e varianza σ^2

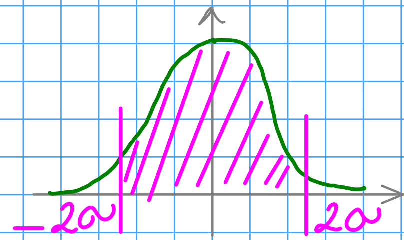
$$VAR\{v_n\} = E\{v_n^2\} - \cancel{\eta^2_{v_n}} = E\{v_n^2\} = \langle v_n^2 \rangle$$

calcolo il **VALORE EFFICACE** come

$$v_{n_{RMS}} = \sigma = \sqrt{\langle v_n^2 \rangle}$$

detto anche deviazione standard o scarto quadratico medio

per la proprietà della gaussiana e della funzione di ripartizione Φ si ha che, con probabilità pari al 95% il segnale è contenuto in una fascia di rumore pari a $(\eta - 2\sigma, \eta + 2\sigma)$ ovvero in un intervallo di 4σ centrato sul valore medio



fascia di rumore
$$\boxed{\begin{aligned} v_{n_{pp}} &= 4\sigma \\ v_{n_p} &= 2\sigma \end{aligned}}$$

Risoluzione $= (x_2 - x_1)_{MIN} = v_{n_{pp}} = 4\sigma$

fattore di cresta

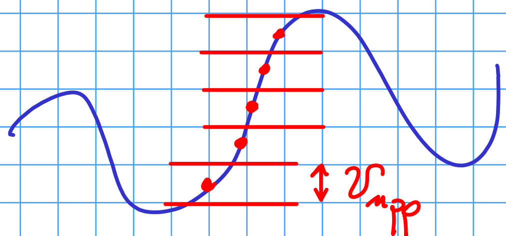
Dynamic Range

$$DR = \frac{X_{FS}}{\text{Risoluzione}} = \frac{X_{FS}}{x_{n_{pp}}}$$

attenzione: spesso nelle notazioni viene utilizzato x_{n_p} in modo da avere un DR più grande a scopo puramente commerciale

Pur avendo un sistema totalmente analogico, a causa del rumore sulla misura, vengono introdotti **livelli di quantizzazione di estensione pari alla fascia di rumore**

→ non è possibile distinguere due segnali se la loro differenza è inferiore alla fascia di rumore

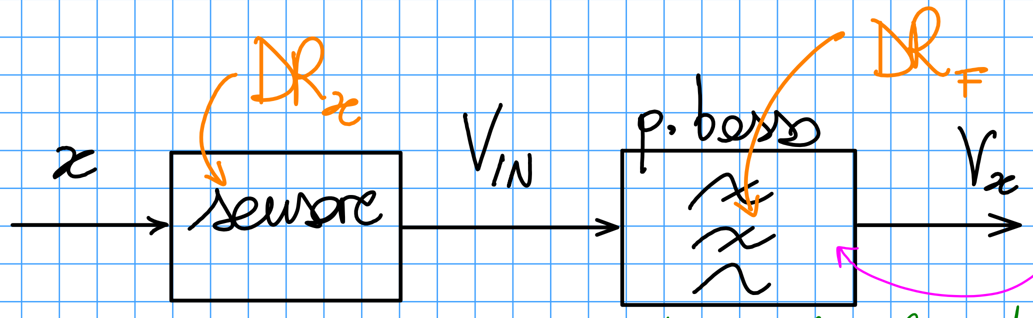


→ il Dynamic Range indica il **numero di livelli** in cui possiamo suddividere l'intera ampiezza del segnale

- non ha senso quindi inserire a valle un convertitore A/D con un numero maggiore di livelli di quantizzazione!

  numero bit AD = $\log_2$ DR

- in una catena, il DR totale è minore del più piccolo DR incontrato esempio di catena di acquisizione



filtro anti aliasing per stringere banda del rumore

calcolo dinamica delle tensioni di uscita

$$V_{u_{FS}} = V_{u_{MAX}} - V_{u_{MIN}} \longrightarrow DR_F = \frac{V_{u_{FS}}}{4\, v_{u_{n\,RMS}}}$$

cerco di esprimere DR come funzione di x

$\longrightarrow$ riporto rumore in ingresso dividendo per la sensibilità

Hp catena lineare $\quad V_x = K_x \cdot x \quad$ con $\quad K_x = S = \dfrac{\partial V_x}{\partial x}$

$$x_n = \frac{1}{S} v_n$$ allo stesso modo per i valori RMS $$x_{n_{RMS}} = \frac{1}{S} v_{n_{RMS}}$$

e calcolo Dynamic range del sensore

$$DR_x = \frac{X_{FS}}{4\, x_{n_{RMS}}}$$

andiamo a studiare i due termini che compaiono nel DR_x

→ catena lineare

→ saturazione filtro su valori $V_{u_{MAX}}$ e $V_{u_{MIN}}$

ipotizziamo che sia il filtro a limitare la dinamica

$$\frac{V_{u_{MIN}}}{K_x} \leq x \leq \frac{V_{u_{MAX}}}{K_x}$$

limite si trasferisce su x

riscrivo disequazione in termini di valori full scale

$$X_{MAX} - X_{MIN} \leq \frac{V_{u_{MAX}} - V_{u_{MIN}}}{K_x} \longrightarrow \boxed{X_{FS} \leq \frac{V_{u_{FS}}}{K_x}}$$

limite a X_{FS}

mentre $x_{n_{RMS}}$, spegnendo gli altri generatori di rumore

$$\boxed{x_{n_{RMS}} = \frac{v_{u_{n_{RMS}}}}{K_x}}$$

$$X_{FS} \leq \frac{V_{u_{FS}}}{K_x}$$

riscrivo $DR_x = \dfrac{X_{FS}}{4 x_{n_{RMS}}}$

$$x_{n_{RMS}} = \frac{v_{u_{n_{RMS}}}}{K_x}$$

$$\boxed{DR_x \leq DR_F}$$

Nota: diverso da legge di Friis, i blocchi "pesano" ugualmente!

DR totale minore dei DR nei vari blocchi

Applicazione in campo audio

per la musica classica è necessario un Dynamic Range enorme (da basso livello a picchi) ~ 100 dB

→ rumore deve poter essere limitato sul limite inferiore mentre al range superiore si deve evitare la saturazione!

suoni di bassa intensità devono essere amplificati fedelmente

picchi non devono portare finali in saturazione

definizione DR in campo audio

$$DR_A = \frac{MAX\left(V_{OUT_{RMS}}\right)}{V_{u_{nRMS}}}$$

massima ampiezza del segnale di uscita tale per cui la distorsione è accettabile (da specifiche)

in pratica è rapporto tra massimo segnale e rumore