

# Misure

## 1 Errori

**Incertezza Tipica:**  $\pm(\%lettura + \%fondo - scala)$

**Strumento di classe x:** lo strumento ha una precisione pari ad x% del fondo-scala

**Errore Qualunque (Derivate Parziali):**  $y = f(x_1, x_2, \dots) \rightarrow \delta y = \sum_i \left| \frac{\partial f(\vec{x})}{\partial x_i} \right|_{x=x_{mis}} \delta x_i$

**Errore Relativo:**  $y \text{ misura} \rightarrow \epsilon_r = \frac{\delta y}{y}$  ( $\epsilon_{r,\%} = 100 \cdot \epsilon_r$ )

**Somma/Differenza:**  $y = a \pm b \rightarrow \delta y = \delta a + \delta b$

**Prodotto/Divisione:**  $y = a \cdot b^{\pm 1} \rightarrow \epsilon_y = \epsilon_a + \epsilon_b$

**Potenza/Radice:**  $y = x^{\pm n} \rightarrow \epsilon_y = n^{\pm 1} \epsilon_x$

## 2 Attrezzature

**Errore di Lettura (Parallasse):** valore di una "tacchetta"

**Prodotto Banda Guadagno:**  $B \cdot t_{salita} = 0.35$  (varia col modello dell'oscilloscopio)

**Relazione Salita-Visualizzato:**  $t_{s,visualizzato}^2 = t_{s,segnale}^2 + t_{s,circuito}^2 + t_{s,oscilloscopio}^2$

Solitamente il  $t_{so}$  è trascurabile.

**Valor-Medio:**  $v_m = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} v(t) dt$  **Valore Efficace:**  $v_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} v^2(t) dt}$

**Duty-Cycle:**  $D = \frac{t_{alto}}{T}$

**Sensibilità:** ( $k_v$ ) "altezza", solitamente in mV, di un "quadrato".

**Lettura:**  $V_{pp}$  del segnale, ottenuta come  $k_v \cdot n_{div}$ ,  $n_{div}$  altezza del segnale in "quadrati"

**Voltmetro a Doppia Rampa:**  $V_x = -\frac{T_2}{T_1} V_{rif}$  **Incertezza di Quantizzazione:**  $\delta f_q = \frac{1}{T_{mis}}$

**Frequenzimetro a Misura Diretta:**  $f_x = \frac{1}{t_x} = \frac{n}{T_c}$ ,  $T_x = nT_c$

**Risoluzione:**  $\delta f_x = \frac{1}{T_c}$  **Risoluzione Relativa:**  $\frac{\delta f_x}{f_x} = \frac{1}{n}$

**Scelta di  $T_1$ :**  $n(t)$  rumore di periodo  $T \rightarrow T_1 = T$  (spesso 50 Hz)

**Riscaldamento di un Resistore:**  $T_{fin} - T_{amb} = R_{termica} \cdot P_{dissipata}$

**Ponte di Wheatstone:** All'equilibrio, la ddp ai due nodi centrali è nulla

**Potenza  $P$**   $= \frac{v_{eff}^2}{R}$ , per segnali sinusoidali  $v_{eff} = \frac{A}{\sqrt{2}}$

**Costante Strumentale:**  $k_s = 1.11$  (semionda doppia) —  $k_s = 2.22$  (semionda singola)

Gli strumenti spesso riportano il valore efficace di un segnale. Questo valore è pari alla costante strumentale moltiplicata per valor medio del segnale.

! Nel calcolo del valor medio con voltmetro a semionda semplice della semionda semplice la parte negativa del segnale viene azzerata.

**Condensatore in ingresso / Voltmetri TRMS:** I voltmetri TRMS restituiscono la lettura reale del valore efficace di un segnale. Tuttavia vengono spesso **accoppiati in AC** (filtro sulla componente DC), riportando così il **valore efficace del segnale originale traslato in basso del suo valor medio**.

**Valori Efficaci noti:** solo per ampiezze **simmetriche** ( $-V_p \rightarrow V_p$ ,  $-5V \rightarrow 5V$ , ...):

**Onda Quadra:**  $v_{eff} = V_p$      **Sinusoidi:**  $v_{eff} = \frac{V_p}{\sqrt{2}}$      **Triangolari:**  $v_{eff} = \frac{V_p}{\sqrt{3}}$

**Circuito equivalente d'ingresso DSO:** è rappresentato dal parallelo tra un condensatore (decine di  $pF$ ) e una resistenza (solitamente  $1M\Omega$ ).

# Elettronica

## 1 Segnali

**Signal-to-Noise Ratio:**  $SNR = \frac{P_{segnale}}{P_{rumore}} = \frac{v^2}{n^2}$

**SNR in dB:**  $SNR_{dB} = 10 \log_{10}(SNR) = 20 \log_{10}(\frac{v}{n})$

**Errore di Quantizzazione:**  $\epsilon_q = \frac{S}{2^{N+1}} = \frac{1}{2} LSB$ , con S dinamica del segnale

## 2 Diodi

**Polarizzazione Diretta:**  $v_D > 0, i_D \rightarrow \infty$ , curva verticale per  $v_D > V_\gamma \simeq 0.6 - 0.7 V$

**Polarizzazione Inversa:**  $v_D < 0, i_D$  satura a valori piccoli e negativi (pA-fA)

**Diodo Reale:**  $i_D = I_s(e^{\frac{v_D}{\eta V_T}} - 1)$

**Diodo Ideale:**  $i_D > 0 \rightarrow v_D = 0, ON \mid v_D < 0 \rightarrow i_D = 0, OFF$  (nel circuito: generatore)

**Diodo Semi-Ideale:**  $i_D > 0 \rightarrow v_D = V_\gamma, ON \mid v_D < V_\gamma \rightarrow i_D = 0, OFF$  (nel circuito: corto)

**Resistenza di un Diodo (Piccolo Segnale):**  $g_D = \frac{1}{r_D} = \frac{I_D}{\eta V_T}$

## 3 Transistors

**Corrente di Gate:**  $i_G = 0$  in condizioni statiche per NMOS e PMOS. (BJT  $> 0$ )

**nMOS:**  $v_{GS}, v_{DS}$      **pMOS:**  $v_{SG}, v_{SD}$

**"Trucco" Mnemonico:** Il **S**ource è sempre dov'è la corrente. Il **G**ate sempre la sbarra.

Il **D**rain il rimanente. Per capire se usare  $v_{GS}$  o  $v_{SG}$ , bisogna posizionare due tensioni verso l'alto, una tra le due "gambe" del transistor (che sarà  $v_{DS}$  o  $v_{SD}$ ) e una tra Gate e Source (che sarà  $v_{GS}$  o  $v_{SG}$ ), ricordando che  $v_{XY}$  è una tensione con la punta in X e la coda in Y.

**Condizioni Saturazione:**  $v_{GS/SG} > V_{TH}, v_{DS/SD} > v_{GS/SG} - V_{TH}$

**Corrente di Drain (xMOS):**

OFF  $\rightarrow i_D = 0$  | ON  $\rightarrow i_D = \beta v_{DS}(v_{GS} - V_{TH} - \frac{v_{DS}}{2})$  | SAT.  $\rightarrow i_D = \frac{\beta}{2}(v_{GS} - V_{TH})^2(1 + \lambda v_{DS})$   
**Resistenze:**  $g_m = \sqrt{2I_D\beta} = \beta(v_{GS} - v_{TH})$   $g_o = \lambda I_D$

## 4 Stadi Amplificatori

**Tensione Ideale:**  $R_{in} \rightarrow \infty$ ,  $R_{out} \rightarrow 0$  **Corrente Ideale:**  $R_{in} \rightarrow 0$ ,  $R_{out} \rightarrow \infty$

**Transconduttanza:** cioè  $i_{out} = g_m v_{gs}$ , **ideale** se  $R_{in} \rightarrow \infty$ ,  $R_{out} \rightarrow \infty$

**Transresistenza:** cioè  $v_{out} = R_m i_s$ , **ideale** se  $R_{in} \rightarrow 0$ ,  $R_{out} \rightarrow 0$

**Efficienza Amplificatore Potenza:**  $\eta = \frac{P_{out}}{P_{al} + P_{in}} \simeq \frac{P_{out}}{P_{al}}$

**Common Source:**  $A_v < 0$ ,  $R_{in} \rightarrow \infty$   $R_{out} = \text{finita}$

**Common Drain:**  $A_v < 1$ ,  $R_{in} \rightarrow \infty$   $R_{out} \simeq \frac{1}{g_m}$

**Common Gate:**  $A_v \simeq g_m(R || r_o)$   $R_{in} \simeq \frac{1}{g_m}$   $R_{out} = R || r_o$

**Effetti di Carico:** Uno stadio si comporta come un amplificatore con generatore pilotato.

Trovata  $R_{in}$  ed  $R_{out}$ , rappresenta il blocco centrale di un circuito di mezzo tra un generatore in ingresso  $v_{in}$  con resistenza  $R_S$  e un'uscita  $v_{out}$  con resistenza  $R_L$ . Si può ricavare l'uscita  $v_{out}$  in funzione dell'ingresso  $v_{in}$  (e quindi la funzione di trasferimento  $A_{v,s}$ ) eseguendo semplici partitori

Esempio: se lo stadio è un partitore di tensione, allora  $v_{out} = v_{in} \frac{R_{in}}{R_{in} + R_S} A_v \frac{R_L}{R_L + R_{out}}$

## 5 Amplificatori Operazionali

**Relazione Fondamentale (ideale):**  $v_d = 0 \rightarrow v^+ = v^-$   $i^+ = i^- = 0$

**Amplificatore di Tensione:**  $A_v = 1 + \frac{R_2}{R_1}$ ,  $R_{in} \rightarrow \infty$ ,  $R_{out} \rightarrow 0$

**Amplificatore di Transconduttanza:**  $G_m = \frac{1}{R}$  (quella in retroazione),  $R_{in} \rightarrow \infty$ ,  $R_{out} \rightarrow \infty$

**Amplificatore di Transresistenza:**  $R_m = R$  (quella in retroazione),  $R_{in} \rightarrow 0$ ,  $R_{out} \rightarrow 0$

**Amplificatore di Corrente:**  $A_i = 1 + \frac{R_2}{R_1}$ ,  $R_{in} \rightarrow 0$ ,  $R_{out} \rightarrow \infty$

**Voltage-Follower:**  $v_{out} = v_{in}$ ,  $R_{in} \rightarrow \infty$ ,  $R_{out} \rightarrow 0$

**Invertente:**  $A_v = -\frac{R_2}{R_1}$ ,  $R_{in} = R_1$ ,  $R_{out} \rightarrow 0$

**Esponenziale:** Diodo su  $R_1$  **Logaritmico:** Diodo su  $R_2$  **Integratore:** Condensatore su  $R_2$

**Derivatore:** Condensatore su  $R_1$  (Per tutti e 4:  $R_{out} = 0$ )

**Sommatore Generalizzato:**  $v_{out} = \frac{\sum_{i=0}^M G_{i-} + G_f}{\sum_{i=0}^N G_{i+}} \sum_{i=1}^N \frac{G_{i+}}{G_f} v_{i+} - \sum_{i=1}^M \frac{G_{i-}}{G_f} v_{i-}$

(Non usare questa formula, meglio sovrapposizione e/o Millman)

**Common-Mode Rejection Ratio (CMRR):**  $\left| \frac{A_d}{A_{cm}} \right|$ ,  $v_{cm} = \frac{v^+ + v^-}{2}$ ,  $v_d = v^+ - v^-$

## 6 Limiti Amplificatori Operazionali

**Circuito Eq. in Linearità:**  $v_{out} = A_d v_d + A_{cm} v_{cm} + A_{ps} v_{ps}$

**Amplificazione Differenziale Finita:**  $A_v = \frac{\beta A_d}{1 + \beta A_d} \frac{1}{\beta} = \frac{1}{\beta}$  se  $A_d \rightarrow \infty$

**Prodotto Banda-Guadagno**  $B = \beta f_T$  **Parametro Beta:**  $\beta = -\frac{v_d}{\hat{e}} = -\frac{v_d}{A_d v_d + A_{cm} v_{cm} + \dots}$

**Casi Particolari:** Ad esempio operazionale ideale con parametri canonici

( $A_{cm} \simeq 0$ ,  $R_{in} \rightarrow \infty$ , ...) allora  $\beta = 1 + \frac{R_2}{R_1}$ , per invertenti e non-invertenti.

(Esempio: se invertente con  $A_d = -9$ , allora  $\frac{R_2}{R_1} = 9$  da cui  $\beta = 1 + \frac{R_2}{R_1} = 10$ )

**Slew-Rate:**  $\left| \frac{dv}{dt} \right|_{max} \leq |SR|$ . Ipotezziamo sinusoidi in ingresso amplificata all'uscita.

$\left| \frac{\partial}{\partial t} V_{in} A_v \sin(\omega t) \right|_{max} \leq |SR|$ . Quindi:  $\left| \omega A_v V_{in} \right| = \left| 2\pi f A_v V_{in} \right| \leq |SR|$

**Offset di Tensione:**  $V_{OFF}$  collegata al morsetto +

**Correnti di Polarizzazione:** Corrente  $I^+/I^- = I_{BIAS} + \frac{I_{OFF}}{2}$  ai due morsetti, uscente

$$I_{BIAS} = \frac{I^+ + I^-}{2}, \quad I_{OFF} = I^+ - I^-$$

## 7 Comparatori

Ottenuti con retroazione positiva.

**Soglie (Invertente):**  $V_{S1} = V_S \frac{R_2}{R_2 + R_1} + V_{OH} \frac{R_1}{R_1 + R_2}$   $V_{S2} = V_{S1}$  ma con OL,  $V_S$  sul '+'

**Soglie (Non Invertente):**  $V_{S1} = V_S \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) - V_{OL} \frac{R_1}{R_2}$ ,  $V_{S2} = V_{S1}$  ma con OH,  $V_S$  sul '-'

**Comparatori Reali:**  $V_{S1/2, reale} = V_{S1/2, ideale} - V_{OFF}$

## 8 Oscillatori

da fare