

Misure

1 Errori

Media: $\mu = \frac{1}{N} \sum_i x_i$ **Varianza:** $\sigma^2 = \frac{1}{N-1} \sum (x_i - \mu)^2$

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

L'incertezza va riportata con **al più** due cifre significative. (e.g.: $R = (4700 \pm 47)\Omega$)

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

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

Full-Scale Range: $FSR = V_{max} - V_{min}$ **Quantizzazione su N bit:** $N = \log_2(M)$

Uscita Ricostruita: $y = \sum_{i=0}^{n-1} 2^i \cdot B_i$ ($B = 0 \vee B = 1$) **MSB:** B_{n-1} **LSB:** B_0

Teorema del Campionamento (B banda del segnale): $f_c \geq 2 \cdot B$

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: $t_{s,visualizzato}^2 = t_{s,segnale}^2 + t_{s,circuito}^2 + t_{s,oscilloscopio}^2$

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:** $k_v = n \frac{mV}{div}$ **Lettura:** $n_{div} = n \text{ div} \rightarrow V_{pp} = k_v \cdot n_{div}$

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

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

Valor-Medio Segnale Raddrizzato (Singola/Doppia Semionda): $v_m = \frac{2 \cdot V_p}{\pi} \neq v_{rms}$

Valore Efficace Segnale Raddrizzato: $v_{eff} = \frac{V_p}{\sqrt{2}} = k_s \cdot \frac{2 \cdot V_p}{\pi}$

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

Elettronica

1 Segnali

Nota: Convenzionalmente: lettera maiuscola (e.g. V) \rightarrow componente costante, lettera minuscola (e.g. v) \rightarrow componente variabile nel tempo.

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

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

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

2 Diodi

Diodo Reale: $i_D = I_s(e^{\frac{v_D}{\eta V_T}} - 1)$, curva quasi verticale per $v_D > V_\gamma \simeq 0.7 V$

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: $i_G = 0$ sempre per NMOS e PMOS.

Corrente di Drain (nMOS):

$OFF \rightarrow i_D = 0 \mid ON \rightarrow i_D = \beta v_{DS} (v_{GS} - V_{TH} - \frac{v_{DS}}{2}) \mid SAT. \rightarrow i_D = \frac{\beta}{2} (v_{GS} - V_{TH})^2 (1 + \lambda v_{DS})$

Resistenze: $g_m = \sqrt{2 I_D \beta} = \beta (v_{GS} - v_{TH}) \quad g_o = \lambda I_D$

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: $A_v = -g_m (R \parallel r_o), R_{in} \rightarrow \infty R_{out} = R \parallel r_o$

Common Drain: $A_v = \frac{g_m R'}{1 + g_m R'} < 1, R_{in} \rightarrow \infty R_{out} \simeq \frac{1}{g_m}$

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

Sia PMOS che NMOS: il Gate è sempre la "sbarra", il Source sempre dove sta la corrente, il Drain è l'altro per esclusione

5 Amplificatori Operazionali

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

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

Amplificatore di Transconduttanza: $G_m = \frac{1}{R}, R_{in} \rightarrow \infty, R_{out} \rightarrow \infty$

Amplificatore di Transresistenza: $R_m = R, R_{in} \rightarrow 0, R_{out} \rightarrow 0$

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: $v_{out} = \frac{\sum_{i=0}^M G_{i-} + G_f}{\sum_{i=0}^N G_{i+}} \sum_{i=1}^N \frac{G_{i+}}{G_f} v_{i+} - \sum_{i=1}^M \frac{G_{i-}}{G_f} v_{i-}$ (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: $A_v = \frac{\beta A_d}{1 + \beta A_d} \frac{1}{\beta} \rightarrow \frac{1}{\beta} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$ se $A_d \rightarrow \infty$

Banda Amplificazione: $B = \beta f_T$ **Parametro Beta:** $\beta = -\frac{v_d}{\hat{e}} = \frac{v_d}{A_d v_d + [\dots]_{eventualmente}}$

Limitazioni: $\frac{V_{out,min}}{A_d} < v_d(t) < \frac{V_{out,max}}{A_d} \quad \& \quad Slew - Rate^- < \frac{dv_{out}}{dt} < Slew - Rate^+$

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

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

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

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

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

8 Oscillatori

da fare