

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: $y = a \pm b \rightarrow \delta y = \delta a + \delta b$ gate

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**.

Onda Quadra: $v_{eff} = V_p$ per **qualsunque** duty-cycle **solo se** le ampiezze sono simmetriche (es. -5V e 5V).

Valori efficaci noti (per segnali compresi tra $-V_p$ e V_p):

- **Onda quadra:** $v_{eff} = V_p$
- **Sinusoide:** $v_{eff} = \frac{V_p}{\sqrt{2}}$
- **Triangolare:** $v_{eff} = \frac{V_p}{\sqrt{3}}$

Elettronica

1 Segnali

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

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

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

2 Diodi

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. ($I_{GT} > 0$)

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

”Trucco” Mnemonico: Il Source è sempre dov'è la corrente. Il Gate sempre la sbarra.

Il Drain 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):

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

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

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

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: $A_v = \frac{\beta A_d}{1 + \beta A_d} \frac{1}{\beta} \rightarrow \frac{1}{\beta} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$ 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: $\frac{V_{out,min}}{A_d} < v_d(t) < \frac{V_{out,max}}{A_d}$ & $Slew - Rate^- < \frac{dv_{out}}{dt} < Slew - Rate^+$

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

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

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

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

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

8 Oscillatori

da fare