Misure elettroniche

① Misurazione

E32 Conversione in watt

$dB_m \rightarrow W$

2a) $P_{(dBm)} = 10 \log_{10} \left(\frac{P(mW)}{1mW}\right) =$

$$\frac{P_{dBm}}{10} = \log_{10} \frac{P_{mW}}{1mW}$$

$$10^{\frac{P(dBm)}{10}} = \frac{P_{mW}}{1mW} \rightarrow \boxed{P_{(mW)} = 10^{\frac{P_{(dBm)}}{10}}}$$

W

1) $P_{(mW)} = 10^{\frac{-70 dBm}{10}} = 10^{-7}$ $\qquad 10^{-10}$

2) $P_{(mW)} = 10^{\frac{-27}{10}} = 1{,}99 \cdot 10^{-3}$ $\qquad 1{,}99 \cdot 10^{-6}$

3) $P_{(mW)} = 10^{\frac{-3}{10}} = 501 \cdot 10^{-3} = 0{,}5$ $\qquad 0{,}5 \cdot 10^{-3}$

4) $P_{(mW)} = 10^{\frac{6}{10}} = 3{,}98 = 4$ $\qquad 4 \cdot 10^{-3}$

5) $P_{(mW)} = 10^{\frac{24}{10}} = 251$ $\qquad 251 \cdot 10^{-3}$

2b) Tensioni efficaci corrispondenti se le potenze sono dissipate su $R = 50\Omega$

$$P = \frac{V_{eff}^2}{R} \rightarrow V_{eff}^2 = P \cdot R \rightarrow V_{eff} = \sqrt{P \cdot R}$$

1) $V_{1eff} = \sqrt{10^{-10} \cdot 50} = \sqrt{10^{-10} \cdot 5 \cdot 10} = \sqrt{10^{-9} \cdot 5} = 10^{-\frac{9}{2}} \cdot \sqrt{5} = 707 \cdot 10^{-12} =$

$= 70{,}7 \cdot 10^{-6}$

2) $V_{2eff} = \sqrt{50 \cdot 2 \cdot 10^{-6}} = 10^{-3} \cdot \sqrt{100} = 10^{-3} \cdot 10 = 10^{-2}$

3) $V_{3eff} = \sqrt{50 \cdot 5 \cdot 10^{-1} \cdot 10^{-3}} = \sqrt{250} \cdot 10^{-2} = 15{,}8 \cdot 10^{-2}$

4) $V_{4eff} = \sqrt{251 \cdot 10^{-3} \cdot 50} = 10^{-2} \sqrt{250 \cdot 50} = 790 \cdot 10^{-3} = 0{,}79$

2c) $P_1 = 100\,mW \pm 5\,mW$

$\underline{mW \longrightarrow dBm}$

$$P_{(dBm)} = 10\log_{10}\left(\frac{P_{mW}}{1\,mW}\right) = 10\log_{10}\frac{100\cdot\cancel{10^{-3}}}{\cancel{10^{-3}}} = 10\log_{10}100 =$$

$$= 10\log_{10}10^2 = 20\log_{10}10 = +20\,dBm$$

Valore dell'incertezza in dBm

$$P_{1max} = 10\log_{10}\left(\frac{105\cdot10^{-3}}{10^{-3}}\right) = 10\log_{10}105 = 20,21\,dBm$$

$$P_{1min} = 10\log_{10}95 = 19,78\,dBm$$

Quindi

$$P_1 = 20\,dBm \pm 0,22\,dB \quad (?)$$

$\boxed{Es3}$ Sensibilità - rapporto tra la variazione della grandezza in uscita e quella d'ingresso

Incertezza - stima dello non conoscenza del misurando

Stabilità - capacità di ottenere per uno stesso misurando valori di lettura vicini tra loro in un intervallo di tempo ben definito

riproducibilità // // in diverse e specificate condizioni di misura

$\boxed{W \rightarrow dBm}$ $\qquad P_{dBm} = 10\log_{10}\left(\frac{P(mW)}{1\,mW}\right)$

$P_1 = 4\,mW \qquad P_{dBm} = 10\log_{10}\frac{4\,mW}{1\,mW} =$

$= 10\log_{10} 4 = 6\,dBm$

$P_2 = 0{,}5\,W = 0{,}5\cdot 10^{3}\,mW = 500\,mW$

$P_{2(dBm)} = 10\log_{10} 500 = 10\cdot\log_{10} 5\cdot 10^{2} = 27\,dBm$

$P_3 = 1\,nW = 1\cdot 10^{-6}\,W = 1\cdot 10^{-3}\,mW$

$P_{3(dBm)} = 10\log_{10} 10^{-3} = -30\,dBm$

$P_4 = 8\,kW = 8\cdot 10^{3}\,W = 8\cdot 10^{6}\,mW$

$P_{4(dBm)} = 10\log_{10} 8\cdot 10^{6} = +69\,dBm$ ok

$\boxed{\text{Es 4}}$ 4e) $P = 100\,W = 100\cdot 10^{3}\,mW$ $\qquad W \rightarrow dBm$

$P_{dBm} = 10\log_{10} 10^{5} = +50\,dBm$

$P = 20\,kW = 2\cdot 10^{4}\,W = 2\cdot 10^{7}\,mW$

$P_{(dBm)} = 10\log_{10} 2\cdot 10^{7} = +73\,dBm$

$P = 5\,\mu W = 5\cdot 10^{-3}\,mW$

$P_{(dBm)} = 10\log_{10} 5\cdot 10^{-3} = -23\,dBm$

Es5 $n = 12 bit$

$u_r - ?$

Calcolo $N = 2^n$ livelli $= 2^{12} = 4096$ livelli

Risoluzione relativa $\delta = \frac{1}{N} = \frac{1}{4096} = 244,14 \cdot 10^{-6} =$

$= 0,25 \cdot 10^{-3}$

per eccesso

Passo di quantizzazione è $1 \Rightarrow u_q = \frac{1}{\sqrt{12}} = 0,29$

incertezze relative

$u_{r\,min} = \frac{0,29}{4096} = 70,8 \cdot 10^{-6} = 7,1 \cdot 10^{-5}$

$u_{r\,max} = \frac{0,29}{1} = 0,29$

rapporto tra le 2 incertezze

$r = \frac{u_{r\,max}}{u_{r\,min}} = 0,29 \cdot \frac{4096}{0,29} = 4096 = N$

5c) $P_{in} = 2\,mW = 3\,dB_m$

$A_1 = -20 \log_{10} 10 = -20\,dB$

$A_2 = 20 \log_{10} 200 = 20 \log_{10} 2 \cdot 10^2 = 46\,dB$

$P_{out} = P_{in} - 1\,dB - 2\,dB = 0\,dB$

$P_{out\,1} = P_{out} - A_1 = -20\,dB = 10^{-5}\,W$

$P_{out\,2} = P_{out} - A_2 = -46\,dBm$

$P_{dBm} = 10 \log_{10} \frac{P_{mW}}{1\,mW}$

$\frac{P_{dBm}}{10} = \log_{10} \frac{P_{mW}}{1\,mW}$

$10^{\frac{P_{dBm}}{10}} = P_{mW} \rightarrow P_{mW} = 10^{\frac{-20}{10}} = 10^{-2}$

$P = 10^{-2}\,mW = 10^{-5}\,W$

$$P_{out_2} = 10^{\frac{-46}{10}} = 25 \cdot 10^{-6} \ W$$

d-f) $P = 1W =$

$1W \rightarrow dBm$

$1W = 1 \cdot 10^3 \ mW$

$$P_{dBm} = 10 \log_{10} 1 \cdot 10^3 = 30 \, dBm = P_C$$

$$2 \cdot P_s = \frac{P_C}{16} \quad 32 P_s = P_C \rightarrow P_s = \frac{P_C}{32} = \frac{1W}{32} = 31{,}25 \ mW$$

$$P_{s_1(dBm)} = 10 \log_{10} 31{,}25 = +15 \ dBm \qquad P_{s_2} = +15 \ dBm$$

<u>Banda rivelazione $B = 10 \ kHz$</u>, $k = 1{,}38 \cdot 10^{-23} \ J/K$

$$p_N = k \cdot T = 1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 = 4{,}14 \cdot 10^{-21} \ \frac{W}{Hz}$$

$$\boxed{P_N = p_N \cdot B} = 4 \cdot 10^{-21} \ \frac{W}{\cancel{Hz}} \cdot 10 \cdot 10^3 \ \cancel{Hz} = 4 \cdot 10^{-21} \cdot 10^4 =$$

$$= 4 \cdot 10^{-17}$$

potenza noise

$$P_{N(dBm)} = 10 \log_{10} \left(4 \cdot 10^{-17}\right) = -164 \ dBm$$

ES 6 a) $P_1 = +6\,dBm$

$P_2 = -6\,dBm$

$P_3 = -20\,dBm$

$P_{dBm} = 10\log_{10}\frac{P\,mW}{1\,mW}$

$\frac{P_{dBm}}{10} = \log_{10}\frac{P\,mW}{1\,mW}$

$P = 10^{\frac{P_{dBm}}{10}}$

$P_{out} = \frac{P_{in}}{4}$

$P_1 = 10^{+\frac{6}{10}} = 3{,}98\,mW$

$P_2 = 10^{-\frac{6}{10}} = 0{,}251\,mW$

$P_3 = 10^{-\frac{20}{10}} = 10^{-2} = \frac{1}{100}\,mW$

$A_{dB} = 10\log_{10}\left(\frac{1}{4}\right) = -6\,dB$

$P_{out_1} = +6\,dBm - 6\,dB = 0\,dBm = 1\,mW$

$P_{out_2} = -12\,dBm = 63\cdot 10^{-3}\,mW = 63\cdot 10^{-6}\,W$

$P_{out_3} = -26\,dBm = 2{,}51\cdot 10^{-6}\,W$

6 b) $P_{in} = 1\,mW$

$\underline{\Delta P = 0{,}1\,mW}$

↳ risoluzione in potenza

Incertezza tipo e P_{out} con relativa incertezza tipo

Incertezza di quantizzazione $\boxed{u_q} = \boxed{\frac{\Delta P}{\sqrt{12}}} = \frac{0{,}1\cdot 10^{-3}\,W}{\sqrt{12}} = \frac{1\cdot 10^{-4}}{\sqrt{12}} =$

$= \frac{1}{\sqrt{12}\cdot 10^{4}} = \boxed{\pm} 29\cdot 10^{-6}\,W$

$1\,mW = 1\cdot 10^{3}\,\mu W$

$P_{in} = 1000 \pm 29\,\mu W$

$P_{out} = \frac{P_{in}}{4} = \frac{1000 \pm 29\,\mu W}{4} = 250 \pm 7{,}25\,\mu W$

$P_{out(dBm)} = 10\log_{10} 0{,}25 = -6{,}02\,dBm$

$P_{out\,max} = 257{,}25\,\mu W = 0{,}25725\,mW$ $\quad P_{out\,min} = 242{,}75$

$P_{out\,max}(dBm) = 10\log_{10} 0{,}25725 = -5{,}8973\,dBm$

$P_{out\,min}(dBm) = 10\log_{10} 0{,}24275 = -6{,}1475\,dBm$

$+0{,}12\,dB$

$P_{out\,dBm} = -6{,}02\,dBm \quad -0{,}13\,dB$

$\boxed{ES7}$ $R = 50\ \Omega$

$I_1 = 1A$

$I_2 = 1mA$

$V_3 = 5V$

$V_4 = 10\mu V$

$I_5 = 1nA$

$P = V \cdot I$

$V = R \cdot I \rightarrow I = \frac{V}{R}$

$P = R \cdot I^2 = \cancel{R} \cdot \frac{V^2}{R^{\cancel{2}}} = \frac{V^2}{R}$

7a) $P_1 = R \cdot I^2 = 50\Omega \cdot 1A = 50\ W$ $= 50\ W$

$P_2 = 50\Omega \cdot (10^{-3})^2 = 50 \cdot 10^{-6} = 50 \cdot 10^{-6}\ W = 50\ \mu W$

$50 \cdot 10^{-3}\ mW$

$P_3 = (5V)^2 \cdot \frac{1}{50} = \frac{25}{50} = \frac{1}{2}\ W$ $0,5\ W$ $= 0,5 \cdot 10^3\ mW$

$P_4 = \frac{(10 \cdot 10^{-6}\ V)^2}{50} = \frac{10^{-10}}{50} = 200 \cdot 10^{-10} = 2 \cdot 10^{-8}\ W = 2\ pW$ $= 2 \cdot 10^{-13}\ mW$

$P_5 = 50 \cdot (1 \cdot 10^{-9})^2 = 50 \cdot 10^{-18} = 5 \cdot 10^{-17}\ W$ $= 5 \cdot 10^{-17}\ W$ $= 5 \cdot 10^{-14}\ mW$

7b) $W \rightarrow dBm$

$P_1(dBm) = 10 \log_{10}(50 \cdot 10^3) = +47\ dBm$

$P_2(dBm) = 10 \log_{10}(50 \cdot 10^{-3}) = -13\ dBm$

$P_3(dBm) = 10 \log_{10}(0,5 \cdot 10^3) = 10 \log_{10}(5 \cdot 10^2) = +27\ dBm$

$P_4(dBm) = 10 \log_{10}(2 \cdot 10^{-13}) = -27\ dBm$ X

$P_5(dBm) = 10 \log_{10}(5 \cdot 10^{-14}) = -133\ dBm$

7c) $V_3 = 5V$

$V_4 = 10\ \mu V$

$r_{3,4} = \frac{V_3}{V_4} = \frac{5V}{10 \cdot 10^{-6} V} = \frac{5\ V}{10^{-5}} = 5 \cdot 10^5\ V$ $= 5 \cdot 10^5 \cdot 10^3\ mV$

$\left(\frac{V_4}{V_3}\right)_{dB} = 20 \log_{10} \frac{10\mu V}{5V} = 20 \log_{10}\left(\frac{10^{-5}}{5}\right) = \underline{-114\ dB}$

$\left(\frac{V_3}{V_4}\right)_{dB} = 20 \log_{10}(5 \cdot 10^5) = 114\ dB$

$$R_{3,4} = \frac{P_3}{P_4} = \frac{0{,}5}{2 \cdot 10^{-8}} = \frac{10^8}{4} = 25 \cdot 10^6$$

$$\left(\frac{P_3}{P_4}\right)_{dB} = 10 \log_{10} (25 \cdot 10^6) = 74 \, dB$$

7d) $P_c = 20 \, mW$ $\quad P_{(dBc)} = \left(\frac{P}{P_c}\right)_{(dBc)} = -40 \, dBm - (+13 \, dBm) = -53 \, dB_c$

$P = -40 \, dBm$

$P_N = 40 \, nW = 40 \cdot 10^{-9} \, W = 40 \cdot 10^{-6} \, mW$

$P, P_N \rightarrow dB_c$

$\left(\frac{P}{P_N}\right)_{dB}$ - ?

$P_{c(dBm)} = 10 \log_{10} 20 = +13 \, dBm$

$P_{N(dBm)} = 10 \log_{10} (40 \cdot 10^{-6}) = -44 \, dBm$

$P_{N(dBc)} = -44 \, dBm - (+13 \, dBm) = -57 \, dBc$

Non serve

$$\left(\frac{P}{P_N}\right)_{dB} = 10 \log_{10} \left(\frac{P}{P_N}\right) = 10 \log_{10} ($$

$$P_{(dBm)} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_{mW}}{1 \, mW}\right) \rightarrow \frac{P_{dBm}}{10} = \log_{10} \frac{P_{mW}}{1 \, mW}$$

$$10^{\frac{P_{dBm}}{10}} = P_{mW}$$

$$\frac{P}{P_N} = -40 - (-44) = -40 + 44 = \underline{\underline{+4 \, dB}}$$

$\boxed{Es8}$ $(dBm \to W)$ $P_{(dBm)} = 10 \log_{10}\left(\frac{\quad}{1mW}\right)$

8b)

$$\frac{P_{(dBm)}}{10} = \log_{10} \frac{P(mW)}{(mW)}$$

$$10^{\frac{P_{dBm}}{10}} = P(mW)$$

$P_1 = 10^{\frac{-50}{10}} = 10^{-5} \cdot 1mW = 10^{-8} W$

$P_2 = 10^{\frac{-37}{10}} = 199{,}5 \cdot 10^{-6} mW = 200 \cdot 10^{-9} W = 2 \cdot 10^{-7} W$

$P_3 = 10^{\frac{-13}{10}} = 50 \cdot 10^{-3} mW = 50 \cdot 10^{-6} W = 5 \cdot 10^{-5} W$

$P_4 = 10^{\frac{4}{10}} = 2{,}5 \cdot 10^{-3} W$

$P_5 = 10^{\frac{34}{10}} = 2{,}5 W$

8c) $R = 50\,\Omega$ $P = \frac{V_{eff}^2}{R} \to V_{eff} = \sqrt{P \cdot R}$

$V_{1eff} = \sqrt{10^{-8} W \cdot 50\Omega} = 70{,}7 \cdot 10^{-3} = 7{,}07\,\mu V$

$V_{2eff} = \sqrt{2 \cdot 50 \cdot 10^{-7}} = \sqrt{100 \cdot 10^{-7}} = \sqrt{10^{-5}} = 10^{-\frac{5}{2}} = 3{,}16 \cdot 10^{-3} = 3\,mV$

$V_{3eff} = \sqrt{5 \cdot 10^{-5} \cdot 50} = \sqrt{250 \cdot 10^{-5}} = \sqrt{25 \cdot 10^{-4}} = 5 \cdot 10^{-2} = 0{,}05\,V$

$V_{4eff} = \sqrt{2{,}5 \cdot 50 \cdot 10^{-3}} = \sqrt{2{,}5 \cdot 5 \cdot 10^{-2}} = 7{,}9 \cdot 10^{-1} = 0{,}79\,V$

$V_{5eff} = \sqrt{2{,}5 \cdot 50 \cdot 1} = 11\,V$

8d) $A_{eff} = 0{,}5\,V$
$f = 1\,kHz$

E59 $V_{eff} = 220V$

$P = V \cdot I$

$P = \frac{V_{eff}^2}{R}$

9a) $P = \frac{(220V)^2}{10\Omega} = 4,84 \cdot 10^3 W = 4,84 \cdot 10^6 mW$

$P_{dBm} = 10 \log_{10} 4,84 \cdot 10^6 = +66,8$ dBm

9b) $V = 2L$

$\Delta t = 2 min$

$T = 25°C = 298 K$

$T_{e\,placque} = 100°C$

$$\boxed{P_{term} = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{m \cdot c \cdot \Delta T}{\Delta t}} =$$

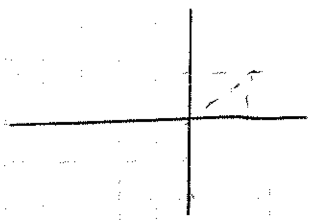
$$= \frac{2L \cdot 1kg \cdot 4,18 \, J/g°C \cdot 75°C}{120 s} = 5225 W = 5225 \cdot 10^3 mW$$

$P_{term}(dBm) = 10 \log_{10} (5225 \cdot 10^3) = +67 dBm$

9c) $A_{rea} = 1 m \cdot 0,5 m$

$I_{rr} = 100 \, mW/cm^2$

$\alpha = 30°$



$$P_{sol} = \frac{100 \, mW/cm^2 \cdot 0,5 \cdot 10^4 cm^2}{\sin 30°} = \frac{1}{2}(100 \cdot 0,5 \cdot 10^4) = 250 \cdot 10^3 mW = 250 W$$

$P_{sol}(dBm) = 10 \log_{10} (250 \cdot 10^3) = +54 dBm$

9d) Ampiezza $= 10 mA$

$f = 1 kHz$

$R = 50 \Omega$

$I_{eff} = \frac{10 mA}{\sqrt{2}}$

$P = V \cdot I = R I^2$

$$P = 50 \cdot \left(\frac{10 \cdot 10^{-3} A}{\sqrt{2}}\right)^2 = 50 \cdot \frac{10^{-4}}{2} = 25 \cdot 10^{-4} = 2,5 \cdot 10^{-3} W = 2,5 mW$$

$P(dBm) = 10 \log_{10} 2,5 = +4 dBm$

9e) $m = 80\,kg$ $\quad P = mg \cdot v = 80^{kg}\, 9{,}8^{m/s^2}\, 2\,m/s = 1568\ W =$

$v = 2\,m/s$ $\quad = 1568 \cdot 10^3\ mW$

$P_{(dBm)} = 10 \log_{10}(1570 \cdot 10^3) = +62\,dBm$

$P_c = P_0 = 1\,W = 1 \cdot 10^3\ mW$

9g) P_{dBc} $\quad P_{0(dBm)} = 10 \log 10^3 = +30\,dBm$

$P_1(dBc) = +66{,}8\,dBm - 30\,dBm = +33{,}8\,dBc$

$P_2(dBc) = +67\,dBm - 30\,dBm = +37\,dBc$

$P_3(dBc) = +54\,dBm - 30\,dBm = +24\,dBc$

$P_4(dBc) = +4\,dBm - 30\,dBm = -26\,dBc$

$P_5(dBc) = +62\,dBm - 30\,dBm = 32\,dBc$

$\boxed{Es\,10}$

10f) Ampiezza $= 50\,mA$ $\quad I_p = 50\,mA$

- sinusoidale $\quad R = 200\,\Omega$

- quadra $\quad V_{eff} - ?$

· sinusoidale

$$V_{eff} = \frac{V_p}{\sqrt{2}} = \frac{R \cdot I_p}{\sqrt{2}} = \frac{200\,\Omega \cdot 50\,mA}{\sqrt{2}} = 7{,}07\,V$$

$$P_{sin} = \frac{V_{eff}^2}{R} = \frac{(7{,}07)^2}{200\,\Omega} = 250 \cdot 10^{-3}\,W = 250 \cdot 10^{-6}\ mW$$

$P_{sin}(dBm) = 10 \log_{10}(250 \cdot 10^{-6}) = \quad dBm$

· quadra $\quad V_p = V_{eff} = R\,I_p = \quad V$

$$P_{quadra} = \frac{V_{eff}^2}{R} = \frac{\quad}{200} = \frac{\quad}{2 \cdot 10^2} = \frac{\quad}{2} = \frac{\quad}{2} = \quad 18/$$

$P_{q.}(dBm) = 10 \log_{10}(\quad) = 7\,dBm$

ok no calcoli

10g) $P_c = 20\ mW = 10 \log_{10} 20 = +13\ dBm$

densità spettrale $= \underline{\underline{P \cdot B}}$

$$P_N = P_c - 83\ \frac{dBc}{Hz} = +13\ dBm - 83\ \frac{dBc}{Hz} = -70\ \frac{dBc}{Hz}$$

$$-70\ dB = 10^{-10}\ \frac{W}{Hz}$$

$$P = 10^{\frac{P_{dBm}}{10}} = 10^{\frac{-70}{10}} = 10^{-7}\ mW = 10^{-10}\ W$$

$\boxed{ES 11}$ densità di potenza $\left[\frac{dBm}{Hz}\right] = \frac{100\ nV}{\sqrt{Hz}}$

$R = 50\,\Omega$

$P_c = 10\ mW$

$$P_N = \frac{V_{eff}^2}{R} = \left(\frac{100\ nV}{\sqrt{Hz}}\right)^2 \cdot \frac{1}{50\,\Omega} = \frac{(10^2 \cdot 10^{-9})^2}{Hz} \cdot \frac{1}{50} =$$

$$= \frac{10^{-14}}{50}\ \frac{W}{Hz} = 200 \cdot 10^{-18} = 2 \cdot 10^{-16}\ \frac{W}{Hz}$$

$$P_N = 2\ 10^{-16}\ \frac{W}{Hz} = 2 \cdot 10^{-13}\ \frac{mW}{Hz}$$

$P_{N(dBc)} = 10 \log_{10} (2 \cdot 10^{-13}) = -127\ \frac{dBm}{Hz}$ (densità di potenza)

$$P_c = 10\ mW = 10 \log_{10} 10 = +10\ dBm$$

$$\frac{P_N}{P_c} = -127\ \frac{dBm}{Hz} - 10\ dBm = -137\ \frac{dBc}{Hz}$$

TEST 2 a) $P_s = 10\ mW$

$$P_N = -70\ \frac{dBc}{Hz}$$

$$P_{s(dBm)} = 10 \log_{10} 10 = +10\ dBm$$

$$P_{N(dBm)} = -70\ \frac{dBc}{Hz} + 10\ dBm = -60\ \frac{dBm}{Hz}$$

$-60\,dB \rightarrow W$

$$\frac{P_{dBm}}{10} = \log_{10}\left(\frac{P_{mW}}{1mW}\right) \qquad \frac{P_{mW}}{Hz} = 10^{\frac{P_{dBm}}{10}} = 10^{-\frac{60}{10}} = 10^{-6}\ \frac{mW}{Hz} = 10^{-9}\ \frac{W}{Hz}$$

b) $R = 50\Omega$
$B = 1\ kHz$
V_{Neff} ?
$V_{s\,eff}$?

$$P_N = 1\ kHz \cdot 10^{-9}\ \frac{W}{Hz} = 10^3 \cdot 10^{-9} = 10^{-6}\ W$$

$$P_N = \frac{V_{Neff}^2}{R} \rightarrow V_{Neff} = \sqrt{P_N \cdot R} = \sqrt{10^{-6} \cdot 50} = 7{,}07 \cdot 10^{-3}\ V$$

$$P_s = \frac{V_{seff}^2}{R} \rightarrow V_{seff} = \sqrt{P_s \cdot R} = \sqrt{10 \cdot 10^{-3} W \cdot 50} = 70{,}7 \cdot 10^{-3}\ V$$

2) Incertezze di misura

Es1 $B_{max} = 100\,\mu T$

$B_c = 94 \pm 6\,\mu T$ con probabilità 99,7 %

$B_{M,i} = 94{,}8 \quad 97{,}7 \quad 99{,}9 \quad 96{,}8 \quad 98{,}4 \quad 99{,}2 \quad 98{,}6 \quad 100{,}6$
$95{,}5 \quad 99{,}5 \quad \mu T$

$n = 10$ misure

1a) Valore del campo magnetico e la corrispondente inc. tipo

Calcolo il valore medio:

$$\overline{B_M} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} B_{M,i} = \frac{1}{10}\cdot \cancel{1996{,}5}\ 981 = 98{,}1$$

la varianza campionaria:

$$s^2(B_M) = \frac{1}{n-1}\sum_{k=1}^{n}(B_{M,k} - \overline{B}_M)^2 = \frac{1}{9}\sum_{k=1}^{10}(B_{M,k} - \overline{B}_M)^2 =$$

$$= \frac{1}{9}\big(10{,}89 + 0{,}16 + 3{,}24 + 1{,}69 + 0{,}09 + 1{,}21 + 0{,}250 +$$

$$+ 6{,}25 + 6{,}76 + 1{,}96\big) = 3{,}61\ (\mu T)^2$$

Varianza del valor medio:

$$s^2(\overline{B_M}) = \frac{s^2(B_M)}{N} = \frac{3{,}61}{10} = 0{,}361\ (\mu T)^2$$

$$\underline{u_A(B_M)} = s(\overline{B_M}) = \sqrt{0{,}361} = 600\cdot 10^{-3} = 0{,}6\,\mu T$$

la misura presenta un'inc. (B) dovuta all'errore della sonda

$$\underline{u_B = \frac{4\,\mu T}{\sqrt{24}}} = 0{,}816\,\mu T = 0{,}82\,\mu T$$

$$\boxed{u_c = \sqrt{u_A^2 + u_B^2}} = \sqrt{(0{,}6)^2 + (0{,}82)^2} = 1{,}01 \cong 1\,\mu T$$

(c.d)

$$\boxed{B_M = 98{,}1 \pm 1\ \mu T}$$

1b) Compatibilità fra le 2 misure

$$\boxed{|B_c - B_M| \leq k\sqrt{u^2(B_c)+u^2(B_M)}}$$

prob. 99,7% per $B_c \Rightarrow k=3$

$$u(B_c) = \frac{6\ \mu T}{3} = 2\ \mu T$$

$$|-4{,}1| = |94 - 98{,}1| \leq 3\sqrt{4+1} = 3\sqrt{5} = 6{,}7$$

compatibili

$(4{,}1 < 6{,}7)$

Il valore stimato è allora:

$$\boxed{B = \frac{\frac{B_c}{u^2(B_c)} + \frac{B_M}{u^2(B_M)}}{\frac{1}{u^2(B_c)} + \frac{1}{u^2(B_M)}}} = \frac{23{,}5 + 98{,}1}{1{,}25} = 97{,}28$$

con l'incertezza $\boxed{u(B) = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{u^2(B_c)} + \frac{1}{u^2(B_M)}}}} = \sqrt{\frac{1}{1{,}25}} = 0{,}89\ \mu T = 0{,}9\ \mu T$

1c) Vedi eserciziario pg 27

Es2

$$R = R_0 + kP$$

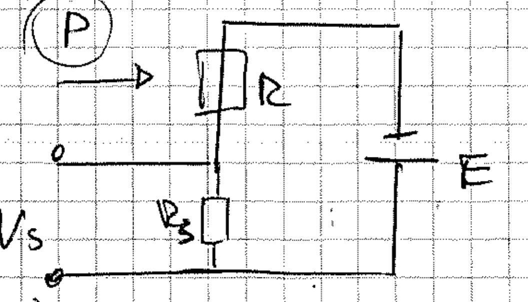
$R_0 = 1\ k\Omega$

$u_r(R_0) = 0{,}1\%$

$k = 10\ \frac{\Omega}{mW}$

$V = 9V \pm 0{,}1V$

$R_s = 1000\ \Omega$



a) Determinare la relazione funzionale = determinare P,

$$V_s = \frac{R_s}{R+R_s} E \longrightarrow \frac{V_s}{1} = \frac{R_s \cdot E}{R+R_s} \rightarrow (R+R_s)V_s = R_s \cdot E$$

$$R + R_s = \frac{R_s \cdot E}{V_s} \rightarrow \boxed{R = \frac{R_s}{V_s}E - R_s}$$

ma $R = R_0 + kP$ allora

$$\frac{R_s}{V_s}E - R_s = R_0 + kP \rightarrow kP = \frac{R_s}{V_s}E - R_s - R_0$$

$$\boxed{P = \frac{R_s E}{k \cdot V_s} - \frac{R_s}{k} - \frac{R_0}{K}} = $$

$$= \frac{R_s E}{k V_s} - \frac{R_s + R_0}{k}$$

b) Determinare la sensibilità di P rispetto a V_s

$$S = \frac{\partial P}{\partial V_s} = \frac{\partial}{\partial V_s}\left(\frac{R_s E}{k V_s} - \frac{R_s + R_0}{k}\right) =$$

$$\left(\frac{1}{x}\right)' = -\frac{1}{x^2}$$

$$= \frac{R_s E}{k}\frac{\partial}{\partial V_s}\left(\frac{1}{V_s}\right) = \boxed{-\frac{R_s E}{k V_s^2}}$$

c) Valor medio $\bar{V} = \frac{1}{n} \sum_{i=1} V_i = \frac{1}{7}(35,14) = \underline{5,02} - 0,1 = \underline{5,01}$

(in questo caso la lettura andava corretta)

la potenza del laser è

$$P = -\frac{E \cdot R_s}{\bar{V}_s^2 \cdot k} + \frac{R_0 + R_s}{k} = \frac{1k\Omega + 1000\Omega}{10\frac{\Omega}{mW}} - \frac{9V \cdot 1000}{5,01 \cdot 10\frac{\Omega}{mW}} =$$

$$= \frac{1000\Omega + 1000\Omega}{10 \cdot 10^3 \frac{\Omega}{W}} - \frac{9V \cdot 1000}{5,01 \cdot 10 \cdot 10^3 \frac{\Omega}{W}} = \frac{2000}{10^4} - \frac{9000}{5,01 \cdot 10^4} =$$

$$= 0,02036\ W = 20,36 \cdot 10^{-3}\ W$$

l'inc. della misura indiretta — k, R_s - inc trascurabile

$$u^2(P) = \left[\frac{\partial P}{\partial \bar{V}_s}\right]^2 \cdot u^2(\bar{V}_s) + \left[\frac{\partial P}{\partial R_0}\right]^2 \cdot u^2(R_0) + \left[\frac{\partial P}{\partial E}\right]^2 \cdot u^2(E) =$$

$$= \left[\frac{E R_s}{\bar{V}_s \cdot k}\right]^2 \cdot u^2(\bar{V}_s) + \left[\frac{1}{k}\right]^2 \cdot u^2(R_0) + \left[\frac{R_s}{\bar{V}_s k}\right]^2 \cdot u^2(E) =$$

$u(R_0) = 1 \Rightarrow u^2(R_0) = 1\ \Omega^2$

$u(E) = 0,1 \rightarrow u^2(E) = 0,01$

$$u^2(P) = \left[\frac{E^2 \cdot R_s^2}{U_s^2 \cdot k^2}\right] \cdot 0,01 + \frac{1}{k^2} \cdot 1 + \frac{R_s^2}{\bar{V}_s^2 \cdot k^2} \cdot 0,01 =$$

$u^2(\bar{V}_s) = u_A^2(\bar{V}_s) + u_B^2(\bar{V}_s)$

Varianza valor medio

$S^2(V_s) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n} (V_{s_i} - \bar{V}_s)^2 = 5,16 \cdot 10^{-4}$ $\quad S^2(\bar{V}_s) = \frac{S^2(V_s)}{n} = 7,37 \cdot 10^{-5}$

$u_A(\bar{U}_s) = S(\bar{V}_s) = \sqrt{7,37 \cdot 10^{-5}} = 8,59 \cdot 10^{-3}$

$u_B(\bar{V}_s) = 0,01$

$u^2(\bar{V}_s) = 8,59 \cdot 10^{-3} + 0,01 = 1,65 \cdot 10^{-4}$

NB $\boxed{u_D^2 = \frac{1}{N} \cdot \frac{1}{N-1} \sum (V_i - \bar{V}_s)^2}$

$$u(P) = \left(\frac{9 \cdot 1000}{(5{,}01)^2 \cdot 10^9}\right)^2 \cdot 1{,}65 \cdot 10^{-9} + \left(\frac{1}{10^9}\right)^2 \cdot 1 + \left(\frac{1000}{5{,}01 \cdot 10^9}\right)^2 \cdot 0{,}01 =$$

$$= 2{,}357 \cdot 10^{-11} + 10^{-8} + 3{,}984 \cdot 10^{-6} = 3{,}994 \cdot 10^{-6} \simeq 4 \cdot 10^{-6}$$

$$u(P) = \sqrt{4 \cdot 10^{-6}} = 2 \cdot 10^{-3}\ W = 2\ mW$$

2d) P calcolata allora è

$$P_1 = 20{,}4 \pm 2mW$$

Una misurazione ha dato il valore di $P_2 = 20\ mW \pm 1mW$

Verifico se le 2 misure sono compatibili

$$|P_1 - P_2| \leq k\sqrt{u^2(P_1) + u^2(P_2)}$$

$$u(P_2) = \frac{1mW}{3} = 3{,}3 \cdot 10^{-4}$$

$$\sqrt{u^2(P_1) + u^2(P_2)} = 2{,}02 \cdot 10^{-3}$$

$|P_1 - P_2| = 0{,}04$ per $k = 3$ non sono compatibili

$$k \geq \frac{|P_1 - P_2|}{\sqrt{u^2(P_1) + u^2(P_2)}} = \frac{0{,}04}{2{,}02 \cdot 10^{-3}} = 1{,}98 \cdot 10^{-5}$$

Riepilogando
1) Relazione funzionale
2) Sensibilità P rispetto a V_s $\boxed{S = \frac{\partial P}{\partial V_s}}$
3) $\bar{V}_s$, P in funzione di $\bar{V}_s$
4) $u(P) = \sum \left[\frac{\partial}{\partial(\text{ogni grandezza})}(\text{della relaz funz.})\right]^2 \cdot u^2(\text{ogni grandezza})$

5) Compatibilità tra misure per quale k

$$|P_1 - P_2| \leq k\sqrt{u^2(P_1) + u^2(P_2)}$$

ES 3) A) $\Delta m_A = 10g$; $m_A = 600g$
risoluzione

a) risultato di misura con l'incertezza

Alessandro → misura diretta
si ha un'incertezza di quantizzazione →

$$u(m_A) = \frac{\Delta m_A}{\sqrt{12}} = \frac{10}{\sqrt{12}} = 2,9\,g$$

risultato di misura è quindi $m_A = (600 \pm 2,9)g$

B) $m_G = 512g$ $u_r(m_G) = 1\%$

$$u_r = \frac{512 \cdot 1}{100} = 5,12$$

Il risultato di misura è quindi $m_G = (512 \pm 5,12)g$

S) $\rho_{av} = 1,22(12) \frac{kg}{dm^3}$

$n=5$ $D_i = 10,1\ cm$ $10,4$ $10,2$ $10,5$ $9,9$

$$m = \rho \cdot V = \frac{\pi}{6} \cdot r^3 \cdot \rho = D^3 \frac{\pi}{6} \rho$$

$$\bar{D} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} D_i = 10,22\,cm = 1,022\,dm \qquad u_A^2(D) = \frac{1}{n}\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(D_i - \bar{D})^2 =$$

$$= \frac{1}{5} \cdot \frac{1}{4}(0,2396) = 0,01198 = 1,2 \cdot 10^{-2}\ cm$$

$$u(D) = u_A(D) = \sqrt{1,2 \cdot 10^{-2}} = 0,11\ cm = 0,11 \cdot 10^{-1}\ dm$$

$$\rho_{av} = 1,22 \frac{kg}{dm^3} \quad u(\rho_{av}) = 0,12 \frac{kg}{dm^3}$$

$$m_s = \frac{\pi}{6} \cdot \rho_{av} \cdot \bar{D}^3 = \frac{3,14 \cdot 1,22 \frac{kg}{dm^3} \cdot (1,022)^3}{6} = 0,682\ kg = 682\,g$$

Δ dice $u(m_G) = 0,71\,g$

b) Compatibilità tra i diversi risultati di misura

1) $|m_A - m_G| \leq k\sqrt{u^2(m_A) + u^2(m_G)}$

$$k_{AG} \geq \frac{|m_A - m_G|}{\sqrt{u^2(m_A) + u^2(m_G)}} = \frac{|600 - 512|}{\sqrt{(2,9)^2 + (5,12)^2}} = 15$$

$$k_{GS} \geq \frac{|m_G - m_S|}{\sqrt{u^2(m_G) + u^2(m_S)}} = \frac{|512 - 682|}{\sqrt{(5,12)^2 + (0,71)^2}} = 33$$

$$k_{AS} \geq \frac{|m_A - m_S|}{\sqrt{u^2(m_A) + u^2(m_S)}} = \frac{|600 - 682|}{\sqrt{(2,9)^2 + (0,71)^2}} = 27$$

3c) <u>la miglior stima</u> Vedi eserciziario

Es 4

$$C = k v^2 \qquad v\left(\frac{km}{h}\right) \qquad c\left(\frac{\ell}{km}\right)$$

$L = 500 km$

$t = 5h \pm 5 min$

$C = \text{consumo} = 100(2) \frac{ml}{km}$

) Unità di misura di k

$$k = \frac{C}{v^2} = \frac{1}{km} \cdot \frac{h^2}{km^2} = \frac{\ell}{km^3} \cdot h^2$$

b) $v = \frac{L}{T} = \frac{500 km}{5 h} = 100 \, km/h$

$100 \, ml =$
$= 10^2 \, ml = 10^{-1} \ell$

$$k = \frac{C}{v^2} = \frac{100 \frac{ml}{km}}{(100 \, km/h)^2} = 100 \frac{ml}{km} \cdot \frac{1}{10^4 \frac{km^2}{h^2}} = \frac{10^{-1} \ell}{10^4 \frac{km^3}{h^2}} =$$

$$= 10^{-5} \frac{\ell \cdot h^2}{km^3}$$

$$u_r(k) = \sqrt{u_r^2(C) + u_r^2(v)} \qquad u_r(C) = \frac{\Delta C}{C}$$

$$u_r(C) = \cancel{\frac{2 ml/km}{1{,}00 \, ml/km}} = 0{,}02$$

$$\underline{u_r(v)} = \sqrt{u_r^2(L) + u_r^2(t)} = \sqrt{(0{,}29)^2 + (0{,}016)^2} = 0{,}29$$

$$u_r(L) = \frac{\Delta L}{\sqrt{12}} = \frac{1}{\sqrt{12}} = 0{,}29$$

$$u_r(t) = \frac{\Delta t}{t} = \frac{5 \, min}{5 \cdot 60} = 0{,}016$$

$$u_r(k) = \sqrt{(0{,}02)^2 + 4(0{,}016)^2} = 0{,}0378$$

Es8

8a) $u_1(m_v) = 10g$

$u_2(m_v) = \frac{0,3\,kg \cdot 2\%}{100\%} = 6 \cdot 10^{-3}\,kg = 6\,g$

$u_c(m_v) = \sqrt{u_1^2(m_v) + u_2^2(m_v)} = \sqrt{100+36} = \sqrt{136} = 11,66\,g$

$h = 20cm$

$u_{estesa}(h) = 4cm$

$2\sigma = 95\% \Rightarrow k=2$

$u(h) = \frac{4cm}{2} = 2cm = 0,2\,dm$

$u_q(D) = \frac{2mm}{\sqrt{12}} = 0,58\,mm = 0,058\,cm = 0,0058\,dm$

$\Delta D = 2mm$

$D = 50mm$

8b) $\rho_M = 13,6 \pm 0,2\,kg/dm^3$

$m_p - ?$

$h = 20cm = 2dm$

$D = 50mm = 5cm = 0,5dm$

$m_M = \rho \cdot V = \rho \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot h = 13,6 \cdot \frac{\pi \cdot (0,5)^2 \cdot 2}{4} = 5,34\,kg$

$m_T = m_m + m_v = (5,34 + 0,3)\,kg = 5,64\,kg$

Calcolo dell'incertezza su m_T

$u(m_v) = 11,66g$

$u(m_M) - ?$

$u^2(m_M) = \left[\frac{\partial m_M}{\partial \rho}\right]^2 u^2(\rho) + \left[\frac{\partial m_M}{\partial D}\right]^2 \cdot u^2(D) + \left[\frac{\partial m_M}{\partial h}\right]^2 u^2(h) =$

Tutto in dm

$= \left[\frac{\pi D^2}{4} \cdot h\right]^2 \cdot u^2(\rho) + \left[\rho \frac{2\pi D \cdot h}{4}\right]^2 \cdot u^2(D) + \left[\rho \cdot \frac{\pi D^2}{4}\right]^2 \cdot u^2(h) =$

$= \frac{\pi^2 D^4 h^2}{16} \cdot 0,04 + \frac{\rho^2 \pi^2 D^2 h^2}{4} u^2(D) + \left[\frac{\rho^2 \pi^2 D^4}{16}\right] \cdot u^2(h) =$

$= 6,16 \cdot 10^{-3} + 2,64 + 0,285 = 2,93$

$u(m_T) = \sqrt{u^2(m_v) + u^2(m_M)} = 11,36$ NO calcoli sbagliati

Es9

$P = 62,38\ \ell$

$R = 4\ \ell$, $\Delta R = 12\ m\ell$

(semiampiezza dell'intervallo di distribuzione di prob. triangolare)

$$\sigma(x) = \frac{\Delta x}{\sqrt{24}}$$

inc. di cat. B

$$u_B(R) = \frac{2\Delta R}{\sqrt{24}} = \frac{2\cdot 12\cdot 10^{-3}\ \ell}{\sqrt{24}} = 4,9\cdot 10^{-3}\ \ell$$

$L_1 = 894,6$ km

$L_2 = 890$ km $\Delta L_2 = 1$ km

$L_3 = 894$ ....

n=12 letture

9a) 2 cifre dopo la virgola $\Rightarrow \Delta P = 0,01\ \ell$

allora $u(P) = \frac{\Delta P}{\sqrt{12}} = \frac{0,01}{\sqrt{12}} = 2,87\cdot 10^{-3}\ \ell$

$P = [62,38 \pm 2,87\cdot 10^{-3}]\ \ell$ $\quad u_r(P) = \frac{u(P)}{P} = 4,6\cdot 10^{-5}$

$R = [4 \pm 4,9\cdot 10^{-3}]\ \ell$ $\quad u_r(R) = \frac{u(R)}{R} = 1,225\cdot 10^{-3} = 1,22\cdot 10^{-3}$

$V_{TOT} = R + P = 62,38 + 4 = 66,38$

$u(V_{TOT}) = \sqrt{u^2(P) + u^2(R)} = \sqrt{(2,87\cdot 10^{-3})^2 + (4,9\cdot 10^{-3})^2} = 5,7\cdot 10^{-3}\ \ell$

$$u_r(V_{TOT}) = \frac{u(V_{TOT})}{V_{TOT}} = \frac{5,7\cdot 10^{-3}}{66,38} = 8,59\cdot 10^{-5}$$

lunghezza della tratta misurata in 3 modi diversi

(L_1) contachilometri $\Rightarrow$ 1 cifra significativa dopo la virgola $\Rightarrow \Delta L_1 = 0,1$

Allora $u_q(L_1) = \frac{\Delta L_1}{\sqrt{12}} = \frac{0,1}{\sqrt{12}} = 0,029$

$$u_r(L_1) = \frac{u(L_1)}{L_1} = \frac{0,029}{894,6} = 3,24\cdot 10^{-5}$$

Per cui $L_1 = (894,6 \pm 0,029)$ km

(L_2) $u_q(L_2) = \frac{\Delta L_2}{\sqrt{12}} = \frac{1}{\sqrt{12}} = 0,29$ km $\quad u_r(L_2) = \frac{u(L_2)}{L_2} = \frac{0,29}{890} = 3,26\cdot 10^{-4}$

Per cui $L_2 = 890 \pm 0,29$ km

$$L_3 = \frac{\sum}{12} L_i = 894{,}75$$

$$s^2(L) = \frac{1}{11}\sum(L_i - \overline{L})^2 = 1{,}295$$

$$s^2(\overline{L}) = \frac{s^2(L)}{n} = \frac{1{,}295}{12} = 0{,}108$$

$$u(L_3) = s(\overline{L}) = \sqrt{0{,}108} = 0{,}329\ km = 0{,}33\ km$$

$$u_r(L_3) = \frac{u(L_3)}{L_3} = \frac{0{,}33}{894{,}75} = 3{,}69 \cdot 10^{-4} = 3{,}7 \cdot 10^{-4}$$

Compatibilità fra misure

$$|L_1 - L_2| \leq k\sqrt{u^2(L_1) + u^2(L_2)}$$

$$4{,}6 \leq k \cdot 0{,}29 \qquad k \geq 16 \quad \text{Non compatibili}$$

$$|L_2 - L_3| \leq k\sqrt{u^2(L_2) + u^2(L_3)}$$

$$4{,}75 \leq k \cdot 0{,}44 \qquad k \geq 11 \quad \text{non compatibili}$$

$$|L_1 - L_3| \leq k\sqrt{u^2(L_1) + u^2(L_3)}$$

$$0{,}15 \leq k \cdot 0{,}33 \qquad k \geq 0{,}5 \quad \text{compatibili } \underline{L_1 \text{ con } L_3}$$

Miglior stima

$$L = \frac{\frac{L_1}{u^2(L_1)} + \frac{L_3}{u^2(L_3)}}{\frac{1}{u^2(L_1)} + \frac{1}{u^2(L_3)}} = 894{,}6$$

$$u(L) = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{u^2(L_1)} + \frac{1}{u^2(L_3)}}} = \sqrt{8{,}35 \cdot 10^{-2}} = 0{,}29\ km$$

Allora $L = [894{,}6 \pm 0{,}29]\ km$

$$u_r(L) = \frac{u(L)}{L} = 3{,}24 \cdot 10^{-4}$$

b) $C = \frac{V}{km} = \frac{V_{TOT}}{L_{TOT}} = \frac{66,38}{899,6} = 0,0742 \frac{L}{km} = 74,2 \frac{mL}{km}$

$u_r(C) = \sqrt{u_r^2(V) + u_r^2(L_{TOT})} = 9,2 \cdot 10^{-5}$

$\boxed{ES10}$ Si vuole misurare la velocità media del suono su diversi materiali.

10a) $\overline{T} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^{5} T_i = 1,3932$

$s^2(T) = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^{5} (T_i - \overline{T})^2 = \frac{1}{4} (4,84 \cdot 10^{-6} + 1,444 \cdot 10^{-5} + 7,744 \cdot 10^{-5} + 1,44 \cdot 10^{-6} + 8,464 \cdot 10^{-5}) = 1,828 \cdot 10^{-4}$

$s^2(\overline{T}) = \frac{1,828 \cdot 10^{-4}}{5} = 3,656 \cdot 10^{-5}$

$u(T) = s(\overline{T}) = 6,046 \cdot 10^{-3}\ ms = 6\ \mu s$

$T = 1,3932 \pm 0,0060\ ms$ ok/2 (calcoli)

$u_r(T) = \frac{u(T)}{T} = \frac{0,0030}{1,3932} = 2,15 \cdot 10^{-3}\ ms$

10b) $\Delta L = 1\ mm \rightarrow u(L) = \frac{1 \cdot 10^{-3}\ m}{\sqrt{12}} = 2,89 \cdot 10^{-4}\ m$

$L = 5,479\ m$

$u_r(L) = \frac{2,89 \cdot 10^{-4}}{5,479} = 5,28 \cdot 10^{-5}$

$v = \frac{L}{t} = \frac{5,479\ m}{1,3932 \cdot 10^{3}} = 3929\ m/s$

$u_r(t) = 2,15 \cdot 10^{-3}\ ms = 2,15 \cdot 10^{-6}\ s$

$u_r(v) = \sqrt{u_r^2(L) + u_r^2(t)} \simeq \sqrt{(2,2 \cdot 10^{-3})^2} = 2,2 \cdot 10^{-3}$

$u(v) = u_r(v) \cdot v = 8,7$

ok cifre significative

$v = (3929 \pm 8,7)\ m/s$

10e) $v_{eff} = 3850$ m/s

$u_{est} = 150$ m/s

$3\sigma = 99{,}7\%$

$$u(v_{eff}) = \frac{150 \text{ m/s}}{3} = 50 \text{ m/s}$$

$$|v - v_{eff}| \leq 3\sqrt{u^2(v) + u^2(v_{eff})}$$

$$79 \leq 153 \quad \text{ok}$$

$$v = \frac{\frac{v}{u^2(v)} + \frac{v_{eff}}{u^2(v_{eff})}}{\frac{1}{u^2(v)} + \frac{1}{u^2(v_{eff})}} = 3927$$

$$u(v) = \sqrt{\frac{1}{\frac{1}{u^2(v)} + \frac{1}{u^2(v_{eff})}}} = 8,6$$

$$v = (3927 \pm 8,6) \text{ m/s} \quad \text{ok}$$

$$k \geq \frac{|v - v_{eff}|}{\sqrt{u^2(v) + u^2(v_{eff})}} = \frac{79}{51} = 1,5$$

le misure sono compatibili per $k \geq 2,3$

|ES11| $F_a = \gamma S v^2$

$\gamma = 7{,}81(1)\ \frac{N s^2}{m^4}$ $u(\gamma) = 0{,}01$ $u_r(\gamma) = \frac{u(\gamma)}{\gamma} = \frac{0{,}01}{7{,}81} = 3{,}6 \cdot 10^{-3}$

$D = 4\ m$ $\gamma = 7{,}81 \pm 3{,}6 \cdot 10^{-3}$

$U(D) = 2cm$ al 95% $u(D) = \frac{2cm}{2} = 1cm$

$t = 1\ min$

$h = 300\ m$

$D = 0\ kg$ a $199{,}9\ kg$ $3\frac{1}{2}$ cifre

$m_{eff} = 90{,}0\ kg$

$\Delta m = 0{,}1$

11a) $mg = \gamma S v^2$

$g = \frac{\gamma S v^2}{m}$ relazione funzionale

$S = \pi R^2 = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 = \pi \cdot \frac{D^2}{4}$

$g = \frac{\gamma \cdot \pi D^2 v^2}{4m}$

$u(D) = 1cm$ $u_r(D) = \frac{u(D)}{D} = \frac{1 \cdot 10^{-2} m}{4} = 2{,}5 \cdot 10^{-3}$

$D = 4 \pm 2{,}5 \cdot 10^{-3}\ m$

$v = \frac{h}{t} = \frac{300}{60} = 5\ m/s$, $u_r(v) = u_r(t) = 4{,}8 \cdot 10^{-3}$

$\Delta t = 1s$ $u(t) = \frac{\Delta t}{\sqrt{12}} = \frac{1s}{\sqrt{12}} = 0{,}29$ $t = 60 \pm 0{,}29\ s$

$u_r(t) = \frac{0{,}29}{60} = 4{,}83 \cdot 10^{-3}$

$u(m) = \frac{\Delta m}{\sqrt{12}} = \frac{0{,}1}{\sqrt{12}} = 0{,}029$ $u_r(m) = \frac{0{,}029}{90} = 3{,}2 \cdot 10^{-4}$

$m = 90 \pm 3{,}2 \cdot 10^{-4}\ kg$

$g = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{\gamma \cdot D^2 \cdot v^2}{m} = 9{,}809 = 9{,}81\ m/s^2$

$u_r(g) = \sqrt{u_r^2(\gamma) + 4u_r^2(D) + 4u_r^2(v) + u_r^2(m)} = 0{,}0114 = 11{,}4 \cdot 10^{-3}$

(28) $u(g) = u_r(g) \cdot g = 0{,}11\ m/s^2$

ES 12 $h = 18\ cm = 18 \cdot 10^{-2} m$ $\Delta h = 0{,}5\ mm = 0{,}5 \cdot 10^{-3} m = 5 \cdot 10^{-4} m$

$u(h) = \frac{5 \cdot 10^{-4}}{\sqrt{12}} = 1{,}44 \cdot 10^{-4} = 0{,}14 \cdot 10^{-3} m$

$b = 1\ cm = 10^{-2} m$

$B = 1{,}5\ cm = 1{,}5 \cdot 10^{-2} m$ $\Big\rangle\ u_r = 1\%$

$u_r(b) = 1 \cdot 10^{-4} m$

$u_r(B) = 1{,}5 \cdot 10^{-4} m$

$a = 4{,}24 \quad 3{,}91 \quad 3{,}76 \quad 4{,}15 \quad 4{,}11 \quad 3{,}83$ (mm)

a) $\rho_m = 13{,}6\ kg/dm^3$ $u(\rho_M) = \frac{0{,}012}{3} = 4 \cdot 10^{-3}$

$u_r(\rho_M) = \frac{u(\rho_M)}{\rho_M} = 2{,}94 \cdot 10^{-4} \frac{kg}{dm^3}$

$m(Hg) = \rho \cdot V$

$\boxed{V = b \cdot B \cdot h}$

b) $\bar{a} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^{6} a_i = 4$

$s^2(a) = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^{6} (a_i - \bar{a})^2 = 0{,}03694$

$s^2(\bar{a}) = \frac{s^2(a)}{6} = 6{,}16 \cdot 10^{-3}$

$u(a) = s(\bar{a}) = \sqrt{6{,}16 \cdot 10^{-3}} = 0{,}079\ mm$

Area del trapezio

$A = \frac{B+b}{2} \cdot a = 50\ mm^2$

Incertezza su A (essendo le var. non correlate)

$u(A) = \left[\left(\frac{\partial f}{\partial b}\right)^2 \cdot u^2(b) + \left(\frac{\partial f}{\partial B}\right)^2 \cdot u^2(B) + \left(\frac{\partial f}{\partial a}\right)^2 \cdot u^2(a)\right]^{\frac{1}{2}} =$

$= \left[\left(\frac{a}{2}\right)^2 \cdot u^2(b) + \left(\frac{a}{2}\right)^2 \cdot u^2(B) + \left[\frac{B+b}{2}\right]^2 \cdot u^2(a)\right]^{\frac{1}{2}} = 1{,}1\ mm^2$

Quindi $A = (50 \pm 1{,}1)\ mm^2$ $u_r(A) = \frac{u(A)}{A} = 0{,}022$

$m = A \cdot h \cdot \rho = 0{,}1221\ kg$

$u_r(m) = \sqrt{u_r^2(A) + u_r^2(h) + u_r^2(\rho)} = 3{,}67 \cdot 10^{-4}$

$u_r(A) = 0{,}022\ mm^2 = 0{,}022 \cdot 10^{-6} m^2 = 0{,}022 \cdot 10^{-4} dm^2$

$u_r(h) = \frac{u(h)}{h} = \frac{0{,}14 \cdot 10^{-3}}{18 \cdot 10^{-2}} = 7{,}78 \cdot 10^{-8} m = 7{,}78 \cdot 10^{-8} dm$

$u_r(\rho) = 2{,}94 \cdot 10^{-4} \frac{kg}{dm^3}$

$u(m) = u_r(m) \cdot m = 4{,}49 \cdot 10^{-5}$? calcoli

c) $p = \frac{F}{S} = \frac{F}{A} = \frac{mg}{A} = \frac{A \cdot h \cdot \rho \cdot g}{A} = h \cdot \rho \cdot g = 24 \ kPa$

$u_r(p) = \sqrt{u_r^2(h) + u_r^2(\rho) + u_r^2(g)} = \sqrt{(0{,}29)^2 + (0{,}02)^2 + (0{,}78)^2} = 0{,}83$

$u(p) = u_r(p) \cdot p = 24 \ kPa \cdot 0{,}83 = 19{,}92 \ kPa = 20 \ Pa$

$p = (24000 \pm 20) \ Pa$

d) $p_{mis} = 23{,}2 \ kPa \qquad u(p_{mis}) = 5\% = 1{,}16 \ kPa = 1{,}2 \ kPa$

$|p - p_{mis}| \leq k \sqrt{u^2(p) + u^2(p_{mis})}$

$k \geq \frac{|p - p_{mis}|}{\sqrt{u^2(p) + u^2(p_{mis})}} = \frac{0{,}8}{1{,}2} = 0{,}66$ $k \geq 1$ compatibili per

$k = 1, 2, 3$

ES13) $R = R_0 + \alpha T$

$R_0 = 100\Omega \quad u(R_0) = 10^{-6}$

$\alpha = 0{,}4\ \Omega/°C \quad u(\alpha) = 5\% = 0{,}02$

$F_s = 2V \quad 3\frac{1}{2}$ cifre

$V = 0{,}110\ V$

I_i [mA] 1,003 0,995 1,006 0,998 1,001 0,997

13a) tipi di incertezza → slide

13d) $R = R_0 + aT + bT^2 \quad a = 0{,}39\Omega/°C$ prob. al 99,7% → $k = 3$

$$u_?(a) = \frac{3 \cdot 10^{-9}}{3} = 1 \cdot 10^{-9}$$

$$b = -0{,}0000093\ \Omega/°C = 9{,}3 \cdot 10^{-6}\ \Omega/°C$$

$u(b)$ trascurabile

13b) R-? inc. tipo rel. e assoluta.

$V = R \cdot I \rightarrow R = \frac{V}{I}$

Calcolo di I

$$\bar{I} = \frac{1}{6}\sum_{i=1}^{6} I_i = 1\ mA \qquad s^2(I) = \frac{1}{5}\sum_{i=1}^{6}(I_i - \bar{I})^2 = 1{,}68 \cdot 10^{-5}$$

$$s^2(\bar{I}) = \frac{s^2(I)}{6} = 2{,}8 \cdot 10^{-6}$$

$$u_A(I) = s(\bar{I}) = 1{,}67 \cdot 10^{-3} = 1{,}7 \cdot 10^{-3}\ mA$$

$$u(V) = \frac{0{,}001}{\sqrt{12}} = 2{,}87 \cdot 10^{-4} = 2{,}9 \cdot 10^{-4}$$

$$u_r(I) = \frac{u(I)}{I} = \frac{1{,}7 \cdot 10^{-3}}{1\ mA} = 1{,}7 \cdot 10^{-3}$$

$$R = \frac{V}{I} = \frac{0{,}110}{1 \cdot 10^{-3}} = 110\Omega$$

$$u_r(V) = \frac{u(V)}{V} = 2{,}64 \cdot 10^{-3} = 2{,}6 \cdot 10^{-3}$$

$$u_r(R) = \sqrt{u_r^2(V) + u_r^2(I)} = 3{,}1 \cdot 10^{-3}$$

$$u(R) = u_r(R) \cdot R = 3{,}1 \cdot 10^{-3} \cdot 110 = 0{,}34$$

$$R = (110 \pm 0{,}34)\Omega$$

13e) $R = R_0 + \alpha T \rightarrow T = \frac{R - R_0}{\alpha} = \frac{110 - 100}{0{,}4} = 25°C$

$$u(\alpha) = 0{,}02 \rightarrow u_r(\alpha) = \frac{0{,}02}{0{,}4} = 0{,}05$$

$$u(R) = 0{,}34 \rightarrow u_r(R) = \frac{0{,}34}{110} = 3{,}1 \cdot 10^{-3}$$

$$u(R_0) = 10^{-6} \rightarrow u_r(R_0) = \frac{10^{-6}}{100} = 1 \cdot 10^{-8}$$

Non essendo le grandezze correlate applico la f-la generale

$$u(T_1) = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial R}\right)^2 \cdot u^2(R) + \left(\frac{\partial f}{\partial (R_0)}\right)^2 \cdot u^2(R_0) + \left(\frac{\partial f}{\partial \alpha}\right)^2 \cdot u^2(\alpha)} =$$

$$= \left[\left(\frac{1}{\alpha}\right)^2 \cdot u^2(R) + \left(\frac{1}{\alpha}\right)^2 \cdot u^2(R_0) + \left(-\frac{(R-R_0)}{\alpha^2}\right)^2 \cdot u^2(\alpha)\right]^{\frac{1}{2}} =$$

$$= \left[\frac{1}{\alpha^2} \cdot u^2(R) + \frac{1}{\alpha^2} u^2(R_0) + \frac{(R_0-R)^2}{\alpha^4} \cdot u^2(\alpha)\right]^{\frac{1}{2}} =$$

$$= \left[\frac{1}{\alpha^2}\left[u^2(R) + u^2(R_0)\right] + \frac{(R_0-R)^2}{\alpha^4} \cdot u^2(\alpha)\right]^{\frac{1}{2}} =$$

$$= \left[6{,}25 \cdot 0{,}1156 + \frac{100}{0{,}0256} \cdot 0{,}02^2\right]^{\frac{1}{2}} = 1{,}51\,°C$$

$$u_r(T_1) = \frac{u(T_1)}{T_1} = \frac{1{,}51\,°C}{25\,°C} = 6\,\%$$

13d) $R = R_0 + aT + bT^2$ $\quad a = 0{,}39\,\Omega/°C \quad u(a) = 1 \cdot 10^{-9}$

$b = 4{,}3 \cdot 10^{-6}\,\Omega/°C \quad u(b)$ trascur.

$$bT^2 + aT + R_0 - R = 0$$

$$T_{1,2} = \frac{-a \pm \sqrt{a^2 - 4b(R_0-R)}}{2b} = \frac{-0{,}39 \pm \sqrt{0{,}39^2 - 4 \cdot 4{,}3 \cdot 10^{-6}\,(-10)}}{2 \cdot 4{,}3 \cdot 10^{-6}} =$$

$$= \frac{-0{,}39 \pm 4{,}56}{8{,}6 \cdot 10^{-6}} = 25{,}6\,°C$$

$$u(T_2) = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial a}\right)^2 \cdot u^2(a) + \left(\frac{\partial f}{\partial R}\right)^2 \cdot u^2(R)} = 0{,}87\,K$$

13e) Compatibilità tra 2 misure

$$|T_1 - T_2| \leq k\sqrt{u^2(T_1) + u^2(T_2)}$$

$0{,}6 \leq k \cdot 0{,}39$ compatibili con $k = 1, 2, 3$

$\boxed{Es2}$ 2b) Si vuole determinare il valore della cost. $k \left[\frac{N}{m}\right]$

x_i	M	(kg)	1	2	5	10
y_i	z	(cm)	0,3	0,5	0,9	1,9 $(\cdot 10^{-2}\ m)$

$\boxed{NB}$ $F = Mg$ $\quad g = 9{,}8\ m/s^2$

$y = m \cdot x + b$

$$m = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - \left(\sum x_i\right)^2}$$

$$b = \frac{\sum y_i - m \sum x_i}{n} = \bar{y} - m\bar{x}$$

$F = -k \cdot z \qquad F = -Mg \Rightarrow Mg = kz \rightarrow k = \frac{M}{z} \cdot g$

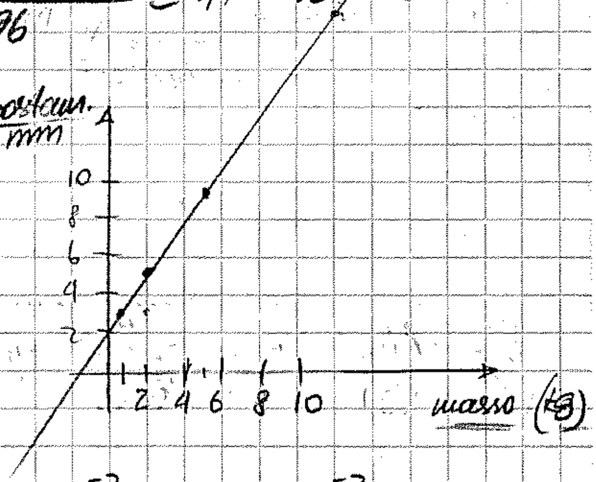
$z = \frac{g}{k} \cdot M$ Considero M var. indipendente e z var. dipendente

$b = \text{cost}$

$$m = \frac{4 \sum M_i z_i - \sum M_i \sum z_i}{4 \sum M_i^2 - \left(\sum M_i\right)^2} = \frac{0{,}992 - 0{,}648}{196} = 1{,}75 \cdot 10^{-3}$$

$$m = \frac{g}{k} = \frac{g}{\frac{M}{z} \cdot g} = \frac{z}{M}$$

$$\frac{0{,}992 - 0{,}648}{196}$$



$b = \bar{y} - m\bar{x} = 9 \cdot 10^{-3} - 7{,}875 \cdot 10^{-3} = 1{,}125 \cdot 10^{-3} = 1{,}13 \cdot 10^{-3}$

$z = 1{,}75 \cdot 10^{-3} M + 1{,}13 \cdot 10^{-3}$ (retta di regressione)

$$k = \frac{M}{z} \cdot g = \frac{g}{m} = \frac{9{,}8\,m/s^2}{1{,}75 \cdot 10^{-3}} = 5600 \frac{kg \cdot m}{s^2}$$

Es3

x_i I [mA]	50	80	100	150	200	300
y_i P [mW]	15	25	39	50	70	105

$n = 6$

$$m = \frac{6\sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{6\sum x_i^2 - \left(\sum x_i\right)^2} = \frac{354900 - 880 \cdot 299}{1028400 - 774400} = \frac{91780}{254000} = 0{,}361$$

$$b = \bar{y} - m\bar{x} = 49{,}83 - 0{,}361 \cdot 146{,}66 = -3{,}11$$

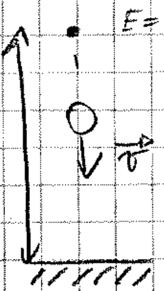
La retta di regressione è $y = 0{,}361x - 3{,}11$

$$P = 0{,}361 \cdot I - 3{,}11$$

Es4 x_i Altezza y_i Energia al suolo

var ind	var dip
1	10,41
2	19,59
5	50,20
10	98,24

$E = Mgh$

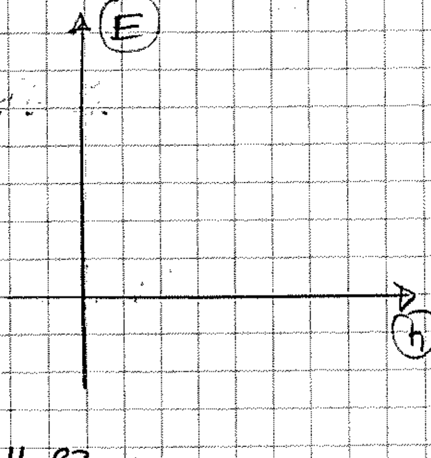


$h = 4$

4a) M_g? $g = 9{,}8\ m/s^2$

Energie al suolo è

$$E = Mgh + \frac{1}{2} M v_0^2 = m h + b$$



$m = M \cdot g$

$$b = \frac{1}{2} M v_0^2 \rightarrow 2b = M v_0^2 \rightarrow v_0^2 = \frac{2b}{M}$$

$$m = \frac{4\sum h_i \cdot E_i - \sum h_i \sum E_i}{4\sum h_i^2 - \left(\sum h_i\right)^2} =$$

$$= \frac{5131{,}96 - 18 \cdot 178{,}44}{520 - 324} = \frac{5131{,}96 - 3211{,}92}{} = 9{,}7961$$

$$b = \bar{y} - m\bar{x} = 44{,}61 - 44{,}1 = 0{,}52$$

$$v_0 = \sqrt{\frac{2 \cdot b}{M}} = 1{,}02\ \frac{m}{s}$$

la retta è $E = 9{,}8 \cdot h + 0{,}51$

$$M = \frac{m}{g} = \frac{9{,}7961}{9{,}8} = 0{,}9996\ kg \simeq 1\ kg$$

ES5 Tensione [V] Posizione [μm]

x_i var. ind.	y_i
0	9,7
5	35,1
10	109,6
15	235,2
20	409,5

$n=5$

Regressione

Ipotizzo una relazione quadratica

$$y = mV^2 + b$$

sia $x = V^2$

$$m = \frac{5\sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{5\sum x_i^2 - \left(\sum x_i\right)^2} = \frac{1142787,5 - \overset{599325}{\overbrace{750 \cdot 799,1}}}{1106250 - 562500} = \frac{543462,5}{543750}$$

$$= 0,9994 = 0,999 \ \frac{\mu m}{V^2}$$

x_i: 0, 25, 100, 225, 400

$$b = \bar{y} - m\bar{x} = 159,82 - 0,999 \cdot 150 = 9,97 \ \mu m$$

ES6 c)

$$m = \frac{4\sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{4\sum x_i^2 - \left(\sum x_i\right)^2} = A$$

$$v = \sqrt{2gh}$$

$y = v$
$x = \sqrt{h}$

x_i:	
3,162	3,16
4,472	4,47
6,325	6,33
8,944	8,94

$$A = \frac{265,72 - 232,21}{599,84 - 529,41} = 0,444 = 0,44$$

$\sum x_i = 22,9$
$\sum y_i = 10,14$

$$b = \bar{y} - m\bar{x} = 2,535 - 0,44 \cdot 5,725 = 2,535 - 2,519 = 0,016$$

la retta è $y = 0,44x + 0,016$

$$\boxed{v = 0,44 \cdot \sqrt{h} + 0,016}$$

ok

DAQ

Es1) Si vogliono misurare contemporaneamente 4 segnali

S_1: analogico, $f_{max_1} = 1\,kHz$ dinamico $D = \pm 2V$

$\Delta V = 5\,mV$ $\qquad \Delta V = \frac{D_{ADC}}{G \cdot 2^n}$ risol. dinamica $\quad 2^n = N$

S_2: sinusoidale ricavato dalla tensione di rete attenuata di un fattore $\frac{1}{100}$ $\qquad V_{rete(eff)} = 220V \cdot \sqrt{2}$

risoluzione $\delta = \frac{1}{100}$ $\qquad \delta = \frac{1}{2^n}$ ris. adim.

S_3: segnale in uscita da un sensore a termocoppia

$f_{max_3} = 30\,Hz$

$D = 0 < V_3 < +10\,mV$

$u_q(V) = 2,5\,\mu V$

S_4: impulso di ampiezza $100\,mV$ $\quad T_4 = 200\,\mu s$

Soluzione

$$V_p = \frac{220V \cdot \sqrt{2}}{100} = 3,11V$$

4) Poiché S_3 proviene da termocoppia è necessario operare in modalità differenziale

le caratteristiche della DAQ da determinare sono

$\boxed{2 \cdot nr.\ segnali}$ 1) numero di canali in ingresso $\quad n_{r\,canali}$

2) frequenza di campionamento $\quad f_{sa}$

3) numero di bit $\quad n\ bit$

4) modalità di funzionamento $\quad$ differenziale o single ended

5) Guadagno

- termocoppie
- meno disturbi di modo comune

1) nr canali $\quad 2 \cdot 4$ (segnali) $= 8$ canali d'ingresso analogico

2) frequenza di campionamento $\quad \boxed{f_{sa} > 2\, f_{max}} \quad \frac{Sa}{S}$

S_1: $f_{max} = 1\,kHz$

$f_{sa} > 2 \cdot 1\,kHz = 2\,\frac{kSa}{S}$

S_2: $f_{max2} = 50\ Hz$

$f_{sa} > 2 \cdot 50 = 100 \frac{Sa}{s}$

S_3: $f_{sa} > 2 \cdot 30 = 60 \frac{Sa}{s}$

S_4: $f_{max} = \frac{1}{T_1} = 5000\ Hz$ $\quad T = \frac{1}{f} \rightarrow f = \frac{1}{T}$

$f_{sa} > 2 \cdot 5000 = 10 \frac{kSa}{s}$

la frequenza di campionamento

$\boxed{f_{sa} > 4 f_{max}} = 10 \frac{kSa}{s}$ $\quad \boxed{f_{sa} > n_{cam} \cdot f_{max}}$

3) Guadagno $\quad \boxed{G_{CH_i} = \frac{D_{ADC}}{D_{Si}}}$

$D_{ADC} = \pm 10V$

$G_{CH1} = \frac{D_{ADC}}{D_{S1}} = \left(\frac{20V}{4V}\right) = 5 \frac{V}{V}$

$D_{S2} = \pm 3,1 \quad G_{CH_2} = \frac{20V}{6,2} = 3,2 \frac{V}{V}$

$D_{S3} = \pm 10V \quad G_{CH_3} = \frac{20V}{10 \cdot 10^{-3} V} = 2000 \frac{V}{V}$

$G_{CH4} = \frac{20V}{100mV} = 200 \frac{V}{V}$

4) Numero di bit

Il numero di bit si ricava dalla minima risoluzione relativa

$\boxed{\delta = \frac{1}{2^n}, \quad \delta = \frac{\Delta}{D}}$ $\quad \log_2 2^n = \log_2 \frac{1}{\delta} \rightarrow \boxed{n = \log_2 \frac{1}{\delta}}$

$\delta_1 = \frac{\Delta V}{D} = \frac{5mV}{4V} = 1,25 \cdot 10^{-3}$ $\quad 2^n = \frac{1}{\delta}$;

$\boxed{n = \log_2 \frac{1}{\delta}}$

$n_1 = \log_2 \frac{1}{1,25 \cdot 10^{-3}} = 9,64 \simeq 10\ bit$

$\delta_2 = \frac{1}{100} \quad n_2 = \log_2 100 = 6,64 \simeq 7\ bit$

$\delta_3 = \frac{8,66 \mu V}{10mV} = 8,66 \cdot 10^{-4} \quad n_3 = \log_2 \frac{1}{8,66 \cdot 10^{-4}} \simeq \underline{11\ bit}$

$\delta_4 = \frac{1}{2} = 5 \cdot 10^{-1} \quad n_4 = \log_2 \frac{1}{5 \cdot 10^{-1}} = 1\ bit$

Il bit necessari sono $n = 11$

Con $\boxed{N = 2^n} = 2048$ livelli

$\boxed{\text{Es 1}}$ 3 segnali

S_1: analogico con $f_{max_1} = 50\,kHz$, ampiezza massima $4V$

$\Delta V = 10\,mV$

S_2: digitale con $D = 0$ e $3V$ $\quad f_c = 100\,kHz$

S_3: termocoppia

$S = 40\,\mu V/K \quad T_3 = 1000\,°C \quad T_{amb} = 25\,°C$

$u(T_3) = \frac{200\,mK}{2} = 100\,mK$

1) numero di canali in ingresso $\rightarrow$ 3 canali $\quad$ 3 canali

2) modalità di funzionamento $\rightarrow$ differenziale (termocoppia)

3) frequenza di campionamento f_{sa}

S_1: $f_{sa_1} > 2 f_{max_1} = 100 \frac{kSa}{s}$

S_2: $f_{sa_2} > 100 \frac{kSa}{s}$ $\quad f_c = 100\,kHz \rightarrow f_{sa_2} = \frac{100\,kHz}{1S} = \frac{100\,kSa}{s}$

S_3: non ha problemi di velocità di campionamento

$f_{sa} > 3 f_{max} = 300 \frac{kSa}{s}$

4) Numero di bit richiesto

S_1 $\quad \delta_1 = \frac{\Delta V}{D} = \frac{10\,mV}{4V} = 2{,}5 \cdot 10^{-3} \quad n_1 = \log_2 \frac{1}{\delta_1} = 8{,}64 \simeq 9$ bit

S_2 $\quad$ segnale digitale $\longrightarrow$ basterebbe 1 bit

S_3 $\quad D_3 = (T_{max} - T_{min}) \cdot \text{sensibilità} = (1273{,}3 - 298{,}3) \cdot 40\,\mu V = 0{,}039\ V$

$u(V) = u(V) \cdot \text{sensibilità} = 100\,mK \cdot 40 \frac{\mu V}{K} = 4\,\mu V$

$u(V) = \frac{\Delta V}{\sqrt{12}}$

$\Delta V = u(V) \cdot \sqrt{12} = 14\,\mu V$

$\Delta V = u(V) \cdot \sqrt{12}$

$\delta_3 = \frac{\Delta V}{D} = \frac{14\,\mu V}{0{,}039 V} = 3{,}589 \cdot 10^{-4}$

$\delta = \frac{1}{2^n} \rightarrow n = \log_2 \frac{1}{\delta} \cong 12$ bit $\quad$ 12 bit con $N = 2^n = 4096$ livelli

|ES3| 5 segnali

S_1: V_1 tensione di una batteria transistor (9 V)

S_2: analogico di ampiezza 4V, $f_{max} = 1kHz$, offset 10mV

S_3: segnale di temperatura in uscita da termocoppia

$V_{3min} = -100\,\mu V$ $V_{3max} = +800\,\mu V$

S_4: onda quadra TTL (0 a 5V) a $f_{max} = 10\,kHz$

$D_{ADC} = \pm 1\,V$ bipolare $D = 0 \to +1V$ unipolare

1) Numero di canali minimo → 5 canali

2) modalità di funzionamento → differenziale (si ha la termocoppia)

3) Guadagno

$G_{CH1} = \frac{D_{ADC1}}{D_{S1}} = \frac{+1V}{10V} = 0{,}1\frac{V}{V}$ D_{ADC1} unipolare

$G_{CH2} = \frac{D_{ADC}}{D_{S2}} = \frac{1}{10}\frac{V}{V}$ dinamica bipolare → D_{ADC3} per avere $D_{S3} = \pm 10V$

$G_{CH3} = \frac{D_{ADC}}{D_{S3}} = 1000$ per avere D_{S3} $\pm 10mV$ D_{ADC3} bipolare

$G_{CH4} = \frac{D_{ADC}}{D_{S4}} = \frac{1}{10}$ per avere $D_{S4} = 0 \to 10V$ D_{ADC3} unipolare

$G_{CH5} =$

3) frequenza di campionamento minima

$f_{sa1} > 2 f_{max1}$

$f_{sa2} > 2 f_{max2} = 2\frac{kSa}{s}$

f_{sa3}

Vedi eserciziario

ES 4 - Valore eff di un segnale

S_1: sinusoidale $f_{max} = 9kHz$

$A_{p-p} = 6V$ in AC (alternata)

$\Delta V = 10mV$ con almeno 20 p ti per periodo

S_2: Segnale digitale con livelli 0V e 3,7 V

$f_c = 50kHz$

S_3: segnale di temperatura da un termocoppia

Sensibilità = $40\mu V/K$ $T_{max} = 700°c$

$u(T) = \frac{600mK}{3} \cdot$ sensibilità $= 8 \cdot 10^{-6} V = 8\mu V$

Caratteristiche della DAQ

1) nr canali = 3 canali

2) modalità di funzionamento $\Rightarrow$ differenziale

3) frequenza di campionamento f_{sa}

S_1: $f_{sa} > 2f_{max} = 18k\,Sa/s \cdot 20 = 180\,kSa/s$

$f_{sa} > 3f_{max} = 540\,\frac{kSa}{s}$

S_2: $f_{sa} > 50\,\frac{kSa}{s}$

S_3: non ha problemi di velocità di acquisizione

4) Nr di bit richiesti

S_1 $\boxed{\delta = \frac{\Delta V}{D_{ADC}}}$

$\delta_1 = \frac{10\,mV}{6V} = 1,67 \cdot 10^{-3}$

$n_1 = \log_2 \frac{1}{\delta_1} \simeq 9,23 \simeq 10$ bit

S_2 $n = 1$ bit

S_3 $D_3 = (T_{max} - T_{min}) \cdot$ sensibilità $= 0,027\,V$

$u(V) = 8\,\mu V$

$\Delta V = u(V) \cdot \sqrt{12} = 27,7\,\mu V$

$\delta = \frac{\Delta V}{D} = \frac{27,7\,\mu V}{0,027} = 1,03 \cdot 10^{-3}$

$n_3 = \log_2 \frac{1}{\delta_3} \simeq 9,92 = 10$ bit

[E38] Caratterizzazione DAQ

8 ingressi differenziali

la scheda può essere impostata sulla D bipolare o unipolare

$D = \pm 10V$

$n = 12$ bit

$f_{sa} = 200$ kSa/s

$G = 0{,}5;\ 1;\ 10;\ 100;$

$D_{ADC} = \pm 5V$

Si vogliono misurare:

V_1: tensione di alimentazione positiva $+7V$

V_2: // // negativa $-7V$

V_3: segnale di clock, onda quadra ($0 \to 5V$) a $f = 38400 Hz$

$V_{4,5,6,7,8,9}$ 6 segnali analogici con banda 10 kHz

$D = \pm 1V \quad \Delta V \leq 1 mV$

8a) Si hanno 9 canali, allora la frequenza di camp. di ogni canale è $\frac{200 \text{ kSa/s}}{9} = 22\,222$ Sa/s

frequenze di campionamento

V_1 e V_2 tensioni in continua f_{camp} è sufficiente

$f_{sa_3} > 2 f_{max_3} = 76\,800$ non è suff

$f_{sa_{4\to 9}} \geq 2 \cdot B = 2 \cdot 10 = 20 \frac{\text{kSa}}{\text{s}}$ sufficiente

Guadagni

$G_1 = \frac{10}{20} = 0{,}5$ bipolare G_1 lo imposto a 0,5

$G_2 = \frac{10}{20}$ bipolare $G_2 = G_1 = 0{,}5$

$G_3 = \frac{5}{5} = 1$ unipolare $G_3 = G_1 = G_2 = 1$

? $G_{4\to 9} = \frac{10V}{2} = 5$ bipolare $G_{4\to 9}$ lo imposto su 10

ES41 8 canali single ended
=
4 canali differenziali

Si dispone di una DAQ con G variabile (1, 10, 100, 1000)

$D_{ADC} = \pm 5V$

$f_c = 1\,MHz$

a) Quali segnali possono essere acquisiti contemporaneamente?

$f_c = 1\,MHz$ per 1 canale in single ended è $f_{sa} = 125\,kHz$

per un canale differenziale $f_{sd} = 125 \cdot 2\,Hz = 250\,kHz$

Tutti i 4 segnali possono essere acquisiti dato che

$$f_{sc} > 2 f_{max} = 100\,kHz$$
$$250\,kHz > 100\,kHz$$

✓

b) Si determini il guadagno ottimale e la risoluzione

Determino il G_i → bipolare è $G = \frac{D_{ADC}}{D_{in}}$

→ unipolare è $G = \frac{D_{ADC}}{2 D_{in}}$

$$G_1 = \frac{10V}{2 \cdot 0{,}05V} = 100\,\frac{V}{V}$$

$$G_2 = \frac{10V}{5 \cdot 10^{-4}V} = 2 \cdot 10^4\,\frac{V}{V}$$

$$G_3 = \frac{10V}{0{,}12} = 50\,\frac{V}{V}$$

$$G_4 = \frac{10V}{2 \cdot 500} = 10\,\frac{V}{V}$$

$$G = \min(G_{1,2,3,4}) = 10\,\frac{V}{V}$$

la risoluzione della scheda con tale guadagno.

$$\Delta V = \frac{D_{ADC}}{2^n \cdot G} = \frac{10V}{2^{12} 10} = 2{,}44 \cdot 10^{-9}$$

c) $\sigma_n = 2mV$ (valore eff)

n_e - ?

ΔV_{eq} - ?

$$n_e = n - \frac{1}{2}\log_2\left(1 + \frac{\sigma^2_{n,ADC}}{\sigma_q^2}\right)$$

σ_q^2 è il rumore di quantizzazione

$$\sigma_q^2 = \frac{q}{12} = \frac{D^2_{ADC}}{2^{24}\cdot 12} = \frac{1\cdot 10^2}{2^{24}\cdot 12} = 4,97\cdot 10^{-7}$$

$$\sigma_n^2 = \overline{V_n}^2 = (2\cdot 10^{-3})^2 = 4\cdot 10^{-6}$$

$$n_e = 12 - \frac{1}{2}\log_2(1+8,05) = 10,41 \simeq 10 \text{ bit equivalenti}$$

$$\Delta V_{eff} = \frac{D_{ADC}}{2^{n_e}\cdot G} = \frac{10V}{2^{10}\cdot 10} = 9,77\cdot 10^{-4}$$

$\boxed{ES8}$ a) $f_{c_{TOT}} = 200\,\frac{kSa}{s}$ $\qquad f_c = \frac{200\,\frac{kSa}{s}}{9} = 22,2\,\frac{kSa}{s}$

V_1; V_2 sono in DC $\Longrightarrow$ ✓

V_3: $f_c \geq 2\, f_{max} = 2\cdot 38400\ Hz = \underline{76800}$ ✗

$V_{4\to 9}$: $f_e \geq 2\underset{\text{banda}}{B} = 2\cdot 10\,kHz = 20\,kHz$ ✓

b) <u>Guadagni ottimali</u> $\qquad G = \frac{D_{ADC}}{D_{segn}}$ $\qquad \boxed{NB}$ il guadagno può assumere 0,5 1 10 100

Dinamica bipolare

$D_{ADC} = \pm 10\,V$

V_1, V_2 $\to$ $D_{ingresso}$ $\pm 10V$ $\qquad G = 0,5$

V_3 $\qquad D_{ingresso}$ $\pm 5V$ $\qquad G = 1$

$V_{4\to 9}$ $\qquad D_{ingresso}$ ± 5 $\qquad G = 1$

$$\Delta V = \frac{D_{ADC}}{2^n\cdot G} \longrightarrow 1mV = \frac{10V}{2^n\cdot G} \to G = \frac{10V}{2^{12}\cdot 1\cdot 10^{-3}V} = 2,44$$

Voltmetri

Ele aditi

$$n_e = n - \frac{1}{2}\log_2\left(\cancel{1+}\frac{\sigma_q^2+\sigma_r^2}{\sigma_q^2}\right) =$$

$$= n - \frac{1}{2}\log_2\left(1+\frac{\sigma_r^2}{\sigma_q^2}\right) = n - \frac{1}{2}\log_2\left(1+2^{2n}\frac{\sigma_r^2}{\sigma_s^2}\right) =$$

$$= n - \frac{1}{2}\log_2\left[1+\frac{2^{2n}}{\frac{S}{N}}\right]$$

$$V_x = -V_r \cdot \frac{N_d}{N_u} = -V_r \cdot \frac{N_d \cdot T_c}{N_u \cdot T_c} = -V_r \cdot \frac{T_d}{T_u}$$

Reiezione disturbo $f_{d,k} = k \cdot \frac{1}{T_I}$ ↳ tempo di integrazione

$$\boxed{n_e = \frac{1}{2}\log_2\frac{\sigma_s^2}{\sigma_N^2}}$$

$$\sigma_s^2 = \frac{D^2}{12}$$

$$\boxed{\sigma_s = \frac{D}{\sqrt{12}}}$$ varianza segnale

varianza del rumore $\sigma_N^2 = \sigma_q^2 + \sigma_{N\,int}^2 + \sigma_{N\,ext}^2$

$\sigma_q = \frac{\Delta V}{\sqrt{12}}$ errore di quantizzazione

$\sigma_q^2 = \frac{\Delta V^2}{12}$ rumore di quantizzazione

ES 4 Voltmetro a doppia rampa

NB portata di uno strumento = valore massimo che può leggere

$V_{x\,max} = 5\,V$

$\Delta V_x = 1\,mV$

$f_d = 50\,Hz$

$V_r = -5\,V$

a) $V_x = -V_r \cdot \frac{T_d}{T_u} = -V_r \cdot \frac{N_d}{N_u}$

la risoluzione del voltmetro è legata alla variazione di 1 singolo conteggio del tempo di discesa

Quindi $N_d = 1$, allora

$$V_x = \frac{|-V_r|}{N_u} \rightarrow N_u = \frac{|V_x|}{|V_r|} = \frac{1 \cdot 10^{-3}\,V}{5\,V} = 5000 \text{ conteggi}$$

la reiezione dei disturbi alla frequenza $f_d = 50\,Hz$ impone che T_u [corrispondente al tempo di integrazione del voltmetro] sia almeno pari all'inverso di 50 Hz.

$$f_d = \frac{1}{T_i} \rightarrow T_i = T_u = \frac{1}{f_d} \quad \text{ma} \quad T_u = N_u \cdot T_c$$

Allora $\frac{1}{f_d} = N_u \cdot T_c \rightarrow \boxed{T_c = \frac{1}{f_d \cdot N_u}} = 4 \cdot 10^{-6}\,s = 4\,\mu s$

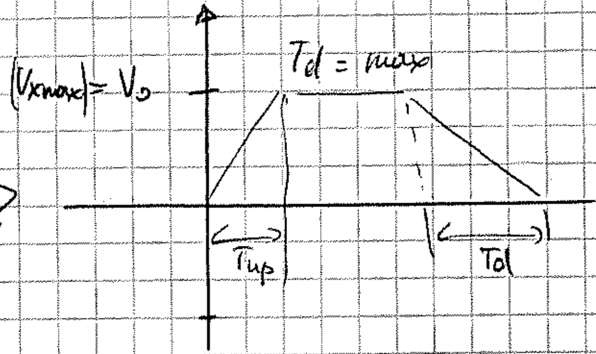
$$f_c = \frac{1}{T_c} = \frac{1}{4 \cdot 10^{-6}\,s} = 250\,kHz$$

NB Quando si chiede di progettare un voltmetro che abbia delle caratteristiche date, si deve determinare T_c e f_c.

b) Determinare la costante di tempo dell'integratore se il valore minimo è $-10V = V_0$

$$V_0 = -V_x \cdot \frac{T_{up}}{R \cdot C} \rightarrow V_0 = \frac{-V_x T_{up}}{RC} \rightarrow RC = \frac{-V_x T_{up}}{V_0}$$

$$RC = \frac{-5}{-10} \cdot 0{,}025 = \underline{0{,}01\ s}$$



$$T_u = N_u \cdot T_c = 0{,}025$$

c) Tempo massimo di conversione?

$$T_{convers} = T_u + T_{down}$$

T_d è massimo quando in ingresso c'è una tensione corrispondente al fondoscala

$$T_{con} = 2\,T_{up} = 40\ ms$$

$\boxed{Es5}$ Convertitore A/D ad approx successive

$n = 12$ bit

$f_{cam} = 10\ \frac{Mse}{s}$, dinamica regolabile

Si acquisisce un segnale sinusoidale $A = 1V$

$f_{segnale} = 4\ MHz \qquad A_N = 140\,\mu V$

e) Velocità minima del convertitore DA?

$f_{camp} \geq 2 f_{max} = 8\ Msa/s$ (freq. sufficiente)

$n = 12$ bit $\Rightarrow$ 12 confronti $\forall$ singole misure

Allora il DA deve avere una velocità superiore di

$$\underline{12 \cdot 10\frac{Mse}{s} = 120\frac{Mse}{s}}$$

d) $u_q(V)$ - ?

$$u_q(V) = \frac{\Delta V}{\sqrt{12}} \qquad \boxed{\Delta V = \frac{D}{N}} = \frac{2V}{2^{12}} = 4{,}88\ 10^{-4}$$

$$u_q(V) = \frac{4{,}88 \cdot 10^{-4}}{\sqrt{12}} = 1{,}41 \cdot 10^{-4}$$

e) N_e - ?

$$N_e = 2^{n_e} \qquad n_e = n - \frac{1}{2}\log_2\left(1+\frac{\sigma_N^2}{\sigma_q^2}\right) =$$

$$\sigma_q^2 = u_q^2(V) = 1{,}99\cdot10^{-8}$$

$$\sigma_N^2 = (140\,\mu V)^2 = 1{,}96\cdot10^{-8}$$

$$= 12 - \frac{1}{2}\log_2\left(1+\frac{1{,}96\cdot10^{-8}}{1{,}99\cdot10^{-8}}\right) = 11{,}5$$

$N_e = 2^{11{,}5} = 2896$ → risoluzione ~~ideale~~ equivalente $\delta_e = \frac{1}{N_e} = 3{,}45\cdot10^{-9}$

$N = 2^{12} = 4096$ → risoluzione ideale $\delta_i = \frac{1}{N} = 2{,}44\cdot10^{-9}$

$\boxed{\text{ES6}}$ $n = 16$ bit portata $P = 1V$ unipolare

$f_d = 50Hz$

5 cifre

$f_{lett} = 40 \frac{lett}{s}$

a) T_i - ?

$$T_{disturbo} = \frac{1}{f_d} = \frac{1}{50Hz} = 0{,}02\,s$$

$$T_I = k\cdot T_{disturbo} = \underline{\underline{0{,}02\,k\ s}} \quad \text{reiezione infinita}$$

$f_{lett} < f_{sa} \qquad f_{sa} > 40\frac{Sa}{s} \qquad T_{sa} > T_{lett} = \frac{1}{f_{lett}} = 0{,}025\,s$

b) $V_x = -\frac{V_r N_u}{N_d} \qquad V_r N_u = V_x N_d$

$V_r = V_x \frac{N_d}{N_u} \qquad N_{d_{max}} = 2^n = 2^{16} = 65536$

$T_u = N_u T_c \rightarrow T_c = \frac{T_u}{N_u}$

$T_d = N_d T_c \rightarrow T_c = \frac{T_{d_{max}}}{N_{d_{max}}} = \frac{5\,ms}{65536} = 7{,}63\cdot10^{-8}$

c) $V_x = -\frac{V_r N_u}{N_d} \rightarrow V_r = V_x \frac{N_d}{N_u}$

Metto

$f_c = \frac{1}{T_c} = 13107200\,Hz \cong 13MHz$

$V_{x_{max}} = 1V$

$V_r = 1V\cdot\frac{T_d}{T_{u_{max}}} = -\frac{20\,ms}{5\,ms}\cdot 1V = -4V$

d) Risoluzione num.

$V_x = 250\,mV$

$\Delta V = P.N = \frac{1V}{N_{d\,max}} = 1{,}5 \cdot 10^{-5}$

$\boxed{Es15}$ $V_x = 6{,}668877\,V$

$D = \pm 20V$

$n = 12\,bit$

$f_c = 100\,kHz$

$f_{d1} = 350\,Hz \quad f_{d2} = 800\,Hz$

$V_{d1} = 200\,mV \quad V_{d2} = 1V$

15a) $T_{I\,min}$

$T_{I\,min1} = n_1 T_{D1} = \frac{n_1}{f_{D1}}$

$T_{I\,min2} = n_2\,T_{D2} = \frac{n_2}{f_{D2}} \longrightarrow \frac{n_1}{f_{D1}} = \frac{n_2}{f_{D2}}$

$n_1 = n_2 \cdot \frac{f_{D1}}{f_{D2}}$

$\frac{n_1}{n_2} = \frac{f_{D1}}{f_{D2}} = \frac{7}{16} \qquad n_1 = 7 \quad n_2 = 16$

$T_{I\,min} = 0{,}02\,s = 20\,ms$

15 b) N_u, V_r ?

$T_u = N_u \cdot T_c = \frac{N_u}{f_c} \qquad \boxed{T_u = T_I} = 20\,ms$

$N_u = T_u \cdot f_c = 20\,ms \cdot 100\,kHz = 2000$ conteggi

$N_{D\,max} = \frac{N}{2} = \frac{4096}{2} = 2048$

$V_x = -V_r \cdot \frac{N_D}{N_u}$

$V_x \cdot N_u = -V_r \cdot N_D$

$V_r = -V_{x\,max} \cdot \frac{N_u}{N_{D\,max}} = -\frac{2000}{2048} \cdot 20 = -19{,}53\,V$

15c) <u>dimensionale</u>

$$\Delta = \Delta V_x = \frac{|V_r|}{N_u} = 9{,}765 \cdot 10^{-3}$$

<u>adimensionale</u>

$$\delta = \frac{1}{2^n} = \frac{1}{2^{12}} = 244{,}14 \cdot 10^{-6}$$

15d) T_d ? N_d

per $V_x = 6{,}668877\,V$

$U_q(V_x)$ - ?

$$V_x = -V_r \cdot \frac{T_D}{T_u}$$

$$V_x \cdot T_u = -V_r\, T_D$$

$$T_D = \frac{V_x}{|V_r|} \cdot T_u$$

$$T_D = \frac{6{,}668877}{|-19{,}53|} \, 20\,ms = 6{,}8293\,ms \simeq 6{,}83\,ms$$

$$T_D = N_D \cdot T_c \rightarrow N_D = \frac{T_D}{T_c} = \frac{6{,}8293 \cdot 10^{-3}}{1\,10^{-5}} = 6{,}8293 \cdot 10^{2} =$$

$$= 682{,}93 \simeq 683 \text{ conteggi}$$

$$T_c = \frac{1}{f_c} = 1 \cdot 10^{-5}$$

$$V_x = -V_r \cdot \frac{T_D}{T_u} = -19{,}53 \cdot \frac{6{,}83\,ms}{20\,ms} = 6{,}669495$$

$$U_q = |V_x - V_{x\,mis}| = 6{,}18 \cdot 10^{-4}$$

15e) $$U_q(V_x) = \frac{\Delta V_x}{\sqrt{12}} = \frac{9{,}765 \cdot 10^{-3}}{\sqrt{12}} = 2{,}81\ mV$$

$$\Delta V_x = \frac{D}{2^n} = \frac{40V}{2^{12}} = 9{,}765 \cdot 10^{-3}$$

$\boxed{Es7}$ $D = 0 \to 10\,V$

$f_c = 100\,MHz$

$N_{max} = 10^7$

$T_{D_{max}} = N_{DMAX} \cdot T_c = \frac{N_{Dmax}}{f_c} = \frac{10^7}{100 \cdot 10^6} = 0{,}1\,s$

a) T_d ?

n - ?

$u(V)$ - ?

$N = 2^n \to n = \log_2 N = 23{,}25 \simeq 24$ bit

$u(V) = \frac{\Delta V}{\sqrt{12}} = \frac{10^{-6}}{\sqrt{12}} = 2{,}89 \cdot 10^{-7}$

$\Delta V = \frac{D}{N} = \frac{10}{10^7} = 10^{-6}$

b) T_u - ?

T_u min per sopprimere $2 f_{rete}$ - ?

$T_u = N_u \cdot T_c = 0{,}1\,S$

$f_{rete} = 50\,Hz$ $\quad f_D = 2 f_{rete} = 100\,Hz$

$T_I = n \cdot T_D = \frac{n}{100\,Hz} = \frac{1}{100\,Hz} = 0{,}01\,s$

$N_u = \frac{T_u}{T_c} = \frac{0{,}01\,s}{T_c} = 0{,}01\,s \cdot 100\,MHz = 10^6$ conteggi

$\boxed{Es\,8\,c}$ $n = 10$ bit

$A = 5\,V$

$u_q(V)$ - ?

$\delta = \frac{1}{2^n} = 9{,}765 \cdot 10^{-4}$

$\delta = \frac{\Delta V_x}{D_s} \to \Delta V_x = \delta \cdot D_s = 9{,}765 \cdot 10^{-4} \cdot 10 = 9{,}765 \cdot 10^{-3}\,V$

$u_q(V) = \frac{\Delta V_x}{\sqrt{12}} = 2{,}82 \cdot 10^{-3}$

$u(V) = \frac{u_q(V)}{V} = \frac{2{,}82 \cdot 10^{-3}}{5} = 5{,}64 \cdot 10^{-4}$

$V = (5 \pm 0{,}56 \cdot 10^{-3})\,V$

Es9 b) $f_d = 5\,kHz$

$V_{d_{eff}} = 0{,}7\,V$

$T_{...} = 169\,\mu s$

Reiezione ?

$$\boxed{R_{dB} = 20\log_{10}\left(\frac{\pi f T}{\sin \pi f T}\right)} = 20\log_{10}\frac{\pi f_d T_I}{\sin \pi f_d T_I}$$

$$= 35{,}16688096\ ...$$

$$T_I = n \cdot T_d = \frac{n}{f_d} = 2 \cdot 10^{-4}$$

$$R_{169\mu s} = 20\log_{10}\left(\frac{\pi f_d \cdot 169\mu s}{\sin(\pi f_d \cdot 169\mu s)}\right) = 35{,}16555$$

Es10 e) $$\delta = \frac{1}{2^n} = \frac{1}{N_{d\,max}} = \frac{T_c}{T_{d\,max}} \qquad \boxed{V_x = -\frac{V_r \cdot T_D}{T_u}}$$

dimensionale $$\delta = \frac{\Delta V_x}{D} \rightarrow \boxed{\Delta V_x = \delta \cdot D = \frac{D}{N_{d\,max}} = D \cdot \frac{T_c}{T_{d\,max}}}$$

$$S(V_x \text{ vs } T_u) = \frac{\partial V_x}{\partial T_u} = \boxed{+\frac{T_D V_r}{T_u^2}}$$

$$\Delta V_x = -V_r \cdot \frac{T_c}{T_u} = -\frac{V_r}{N_u}$$

$$\boxed{u_q = \frac{\Delta V_x}{\sqrt{12}}} = \frac{D/2^{12}}{\sqrt{12}}$$

10 f) $n = 13$ bit

$\pm D$

$$\delta = \frac{1}{2^n} = \frac{1}{2^{13}} = 1{,}22 \cdot 10^{-4} = \frac{T_c}{T_{d\,max}}$$

$$u_q = \frac{\Delta V_x}{\sqrt{12}} = 7{,}05 \cdot 10^{-5} \quad \text{con } N = 8192 \text{ livelli}$$

$$\Delta V_x = \delta \cdot D = \frac{1}{2^{13}} \cdot 2D = 2{,}441 \cdot 10^{-4}$$

|Es12| risoluzione di $5\frac{1}{2}$ cifre

$D = 0 \rightarrow 39{,}9999\ V$

$f_c = 10\ MHz = 10 \cdot 10^6\ Hz = 10^7\ Hz$

a) $T_u = 100\ ms$

$f_{D_1} = 120\ Hz \qquad f_{D_2} = 1007\ Hz$

$$R_1 = \frac{\pi f_{D_1} \cdot T_i}{\sin(\pi f_{D_1} T_i)} = \frac{37{,}68}{0{,}61125} = 61{,}64$$

$$R_2 = \frac{\pi f_{D_2} T_i}{\sin(\pi f_{D_2} \cdot T_i)} = \frac{316{,}3378302}{-0{,}69216} = 458$$

b) $V_x = -V_r \cdot \frac{T_D}{T_u} = -V_r \cdot \frac{N_u \cdot T_c}{N_D \cdot T_c} = -V_r \cdot \frac{N_u}{N_D}$

c) $V_r - ? \qquad N_u - ? \qquad N_D - ?$

$T_u = N_u \cdot T_c \qquad T_c = \frac{1}{f_c} = 1 \cdot 10^{-7} \qquad N_u = T_u \cdot f_c$

$V_{xmax} = -V_r \frac{T_u}{T_{Dmax}} \rightarrow -V_r = \frac{V_{xmax} \cdot T_{Dmax}}{T_u}$

$\Delta V = 10^{-4}\ V \qquad \frac{\Delta V}{D} = \frac{1}{N} \qquad N = \frac{D}{\Delta V} = 400000$ livelli

$V_r = -V_{xmax} \cdot \frac{N_u}{N_{Dmax}} = 100\ V$

$N_u = \frac{T_u}{T_c} = T_u \cdot f_c = 100\ ms \cdot 10 \cdot 10^6 = 10^6$

d) $n = \log_2 N = 18{,}6$

e) $V_x = 12{,}34567890\ V$

$T_d - ? \qquad V_x = \frac{-V_r \cdot T_D}{T_u} \rightarrow -V_r T_D = V_x T_u$

$T_D = \left| -\frac{V_x}{V_r} \right| \cdot T_u = 0{,}0123456789$

$= 12\ ms$

$V_x = \frac{-V_r \cdot T_D}{T_u} = 12{,}3456$

Analogico

Oscilloscopi

Quando si chiedono tutte le impostazioni dell'oscilloscopio per visualizzare i segnali, si devono discutere i seguenti punti:

1) Si imposta il canale per ogni segnale (CH_1; CH_2 ...)
2) Si decide da quale dei segnali prelevare il segnale di trigger (lo si imposta nel segnale più forte e pulito)
3) Si sceglie la modalità (auto o normal)
4) Si sceglie l'AC oppure DC
5) Multitraccia o traccia singola
   Alternated o Chopped
6) Coefficienti di sensibilità verticali

$$\boxed{S_y \geq \frac{V_{segnale}}{8 \text{ divisioni}}}$$

, inoltre, a seconda delle ampiezze dei segnali si deve impostare il livello di zero

7) Coefficienti di sensibilità orizzontale

$$\boxed{S_x > \frac{T_{segnale}}{10 \text{ div}}}$$