

MISURE E STRUMENTAZIONE**10 gennaio 2019****Prof. Michele Norgia****Primo appello AA 2018/2019****Tempo a disposizione 2 h (1 h solo II parte)****Aula F.0.1 e 4.0.1 ore 15.30**

Cognome e nome: _____ (stampatello)

Matricola e firma _____ (firma leggibile)

Esercizi svolti (almeno parzialmente): precompito 1 2 3 4 (7+8+5+7+5 =32p) (croccettare)N.B. si consiglia di croccettare, qui sopra, gli esercizi almeno parzialmente svolti. **Si richiede di croccettare****tutti i sottopunti**, ad es. 1c), 1d), degli esercizi ai quali si è dato risposta.Croccettare **SOLO SECONDA PARTE (ESERCIZI 3 e 4)****SOLUZIONI****(35 min)****Esercizio 1***(svolgere su questo foglio e sul retro)*

1) Il diametro d di una pallina sferica in acciaio è stato misurato con un calibro decimale (**risoluzione 0.1 mm**) ottenendo una singola misura con valore $d=8.0$ mm. La densità ρ dell'acciaio varia da 7.5 kg/dm³ a 8 kg/dm³, in funzione della sua composizione.

1a) Si stimino le incertezze assolute e relative su ρ e d .1b) Si calcoli la massa m della sfera in funzione di densità e diametro e se ne valuti l'incertezza estesa per $k=2$.

1c) La stessa sfera viene pesata 5 volte, ottenendo i seguenti valori per la massa (in grammi):

$$m_{d,i} = 2.0, 2.2, 2.0, 2.1, 2.2 \text{ [g]}.$$

Si ricavi la misura diretta della massa m_d , esprimendo l'incertezza tipo in notazione compatta

1d) Si valuti la compatibilità tra le due misure.

1e) (difficile) In realtà il processo produttivo delle palline non realizza sfere perfette, ma si possono descrivere come un ellissoide, con deviazione standard tra i raggi principali pari al 10%. Ricordando che il

volume dell'ellissoide è pari a $\frac{4}{3}\pi abc$, dove a b c sono i tre raggi principali ortogonali tra loro, come cambia

la stima di incertezza del volume della pallina?

1a) Per la densità ρ , distribuita in un intervallo di valori tra 7.5 kg/dm³ e 8 kg/dm³, possiamo supporre una distribuzione uniforme e dunque un valore medio $\rho=7750$ kg/m³, e una deviazione standard $u(\rho)=\Delta\rho/\sqrt{12}=150$ kg/m³ ($\Delta\rho=500$ kg/m³), con una corrispondente incertezza relativa $u_r(\rho)=u(\rho)/\rho=1.9$ %.

L'incertezza di quantizzazione del calibro decimale è $u(d)=\Delta d/\sqrt{12}=29$ μm , con una incertezza relativa $u_r(d)=u(d)/d=(0.03 \text{ mm})/(8 \text{ mm})=0.36$ %.

1b) La massa della sfera si ottiene dal prodotto della densità per il volume ($m=\rho\cdot V$) ed essendo il volume $V=4/3\cdot\pi\cdot r^3=1/6\cdot\pi\cdot d^3$, con r raggio e d diametro, si ricava l'equazione della misura indiretta:

$$m=1/6\cdot\pi\cdot\rho\cdot d^3=2.08 \text{ g}.$$

Osservando che l'equazione della misura è una produttoria, l'incertezza relativa sulla massa si può ricavare come

$$u_r(m)=[u_r(\rho)]^2+9\cdot[u_r(d)]^2]^{1/2}=[3.47+1.17]^{1/2}\%=2.2 \text{ %}$$

con una incertezza assoluta $u(m)=u_r(m) \cdot m=45$ mg.

L'incertezza estesa con $k=2$ è infine $U(m)=k \cdot u(m)=2 \cdot 45$ mg=**90 mg**.

1c) Il valore della massa della misura diretta si ottiene dalla media delle 5 misure ripetute:

$$m_d = \bar{m}_{d,i} = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 m_{d,i} = \mathbf{2.1 \text{ g}}$$

e la sua incertezza tipo è la deviazione standard sulla singola misura vale:

$$s(m_{d,i}) = \sqrt{\frac{1}{4} \sum_{k=1}^5 (m_{d,i} - \bar{m}_{d,i})^2} = 0.1 \text{ g}$$

la deviazione standard del valor medio vale:

$$u(m_d) = s(\bar{m}_{d,i}) = \frac{s(m_{d,i})}{\sqrt{n}} = 45 \text{ mg}$$

che peraltro è uguale a $u(m)$!

La misura diretta della massa m_d con l'incertezza tipo in notazione compatta è $m_d = \mathbf{2.100(45) \text{ g}}$.

1d) Applicando quindi la nota formula della compatibilità:

$$|m - m_d| \leq k \sqrt{u^2(m) + u^2(m_d)}$$

che, esprimendo i valori in milligrammi, si può scrivere come

$$20 \leq k \sqrt{45^2 + 45^2} \cong k \cdot 64$$

da cui si ricava $k \geq 0.31 \Rightarrow$ **si ha compatibilità per $k=1$** .

1e) In questo caso possiamo supporre di aver misurato con il calibro un diametro in corrispondenza del raggio a (supporre di aver misurato un asse principale è sicuramente il caso peggiore, perché consente la massima variazione degli altri assi rispetto alla nostra misura). Per cui

$$u_r(a) = u_r(d) = 0.36\%$$

Gli altri due raggi hanno una deviazione standard del 10% rispetto alla nostra misura (che è già incerta dello 0.36%), quindi

$$u_r(b) = u_r(c) = \sqrt{0.36^2 + 10^2} \% \cong 10\%$$

In conclusione, l'incertezza relativa del volume si può ottenere come

$$u_r(V) \cong \sqrt{u_r(a)^2 + u_r(b)^2 + u_r(c)^2} \cong 14\%$$

Si noti il "circa uguale", dovuto al fatto che non abbiamo considerato le correlazioni tra i raggi (quello 0.36% è pienamente correlato), in quanto la componente correlata è assolutamente trascurabile rispetto alla componente non correlata.

(25 min)

Esercizio 2

(svolgere su questo foglio e sul retro)

2) Con una scheda di acquisizione dati si vogliono acquisire i seguenti segnali:

S₁: tensione di rete attenuata di 60 dB;

S₂: temperatura T di un forno da cucina, in un range 100-650 °C, letta con un sensore a termocoppia con coefficiente di Seebeck $\alpha=100 \mu\text{V/K}$ e riferita alla temperatura ambiente $T_0=20^\circ\text{C}$;

S₃: segnale audio (banda massima 20 kHz) con ampiezza picco-picco da -5 V a +5 V;

S₄: velocità di rotazione di una ventola a 4 pale misurata da un sensore normalmente a $V_4=0 \text{ V}$, che in corrispondenza del passaggio di ogni pala sale a $V_4=2 \text{ V}$ per 10 μs .

La scheda impiega un ADC ad approssimazioni successive con 14 bit e dinamica d'ingresso, sempre bipolare, di $\pm 10 \text{ V}$. L'amplificatore d'ingresso offre i seguenti guadagni impostabili:

$$G_i \text{ (dB)} = 0 ; 6 ; 20 ; 40 .$$

2a) Si calcoli la velocità di campionamento minima richiesta per l'ADC.

2b) Dopo avere ricavato le dinamiche di variazione dei 4 segnali, si stabiliscano i guadagni ottimali per ciascuno dei 4 ingressi e si calcolino le corrispondenti risoluzioni.

2c) Sarebbe possibile sostituire la termocoppia con un sensore integrato o con un NTC?

2a) Cominciamo col valutare la banda, o frequenza massima, dei 4 segnali da misurare:

$$f_{\max,S1}=f_{\text{rete}}=50 \text{ Hz};$$

$f_{\max,S2}$ ="lenta" e comunque molto minore di 50 Hz, essendo un segnale di temperatura;

$$f_{\max,S3}=20 \text{ kHz (limite della banda audio);}$$

Per S₄ dobbiamo acquisire il segnale di passaggio-pala, della durata di 10 μs .

Per un corretto campionamento, i primi 3 segnali andranno campionati a una frequenza pari almeno al doppio della banda del segnale più veloce (S₃ in questo caso) e dunque con $f_{\text{sample}}=40 \text{ kSa/s}$. Purtroppo tale frequenza non garantisce di acquisire il segnale di passaggio-pala, che dura solo 10 μs e richiede quindi una frequenza di almeno 100 kSa/s (per essere sicuri di intercettarlo)

Poiché la scheda acquisisce "simultaneamente" 4 canali, tutti alla stessa velocità di campionamento -multiplexandoli verso l'unico ADC - il *sample rate* richiesto per l'ADC deve essere $f_{\text{sample,min,ADC}}=4 \times f_{\text{sample}}=400 \text{ kSa/s}$, un valore che è compatibile con le caratteristiche degli ADC ad approssimazioni successive.

2b) Ricaviamo dapprima le **dinamiche** di variazione dei 4 segnali:

Per la tensione di rete attenuata: $D_1 \cong \pm 311 \text{ V}/1000 \cong \pm 311 \text{ mV}$ (dove il fattore 1/1000 corrisponde ai 60 dB di attenuazione sulla tensione di rete, che è una sinusoide alternata a 50 Hz con valore efficace 220 V e dunque con valore di picco $V_p = \sqrt{2} V_{\text{eff}} \cong 311 \text{ V}$).

Per la termocoppia: $D_2 \cong 8\text{-}63 \text{ mV}$, infatti,

$$S_{2,\min} = V_{2,\min} = K_{T \rightarrow V} \times (T_{\min} - T_{0,\max}) = 100 \mu\text{V/K} \times (100 - 20) \text{ K} = 8 \text{ mV};$$

$$S_{2,\max} = V_{2,\max} = K_{T \rightarrow V} \times (T_{\max} - T_{0,\min}) = 100 \mu\text{V/K} \times (650 - 20) \text{ K} = 63 \text{ mV};$$

Per il segnale audio: $D_3 = \pm 5 \text{ V}$.

Per il segnale di rotazione della ventola: $D_4 = 0\text{-}2 \text{ V}$.

In unità lineari, come guadagni tra la tensione in ingresso alla scheda e la tensione in ingresso all'ADC, sono disponibili i seguenti valori: $G_{i,\text{lin}} = 1 ; 2 ; 10 ; 100$, ottenuti da $G_{i,\text{lin}} = 10^{(G_{i,\text{dB}}/20)}$

I guadagni ottimali per i 4 canali sono:

$$G_{1,\max} = D_{\text{ADC}}/D_1 = \pm 10 \text{ V} / \pm 311 \text{ mV} \cong 32 \rightarrow G_1 = 10;$$

$$G_{2,\max} = D_{\text{ADC,unip.}}/V_{2,\max} = 10 \text{ V} / 63 \text{ mV} \cong 154 \rightarrow G_2 = 100;$$

$$G_{3,\max} = D_{\text{ADC}}/D_3 = \pm 10 \text{ V} / \pm 5 \text{ V} = 2 \rightarrow G_3 = 2;$$

$$G_{4,\max} = D_{\text{ADC,unip.}}/V_{4,\max} = 10 \text{ V} / 2 \text{ V} = 5 \rightarrow G_4 = 2;$$

Le corrispondenti risoluzioni dimensionali sono:

$$\Delta V_1 = (D_{\text{ADC}}/G_1)/2^n = (20 \text{ V} / 10) / 16384 = 0.12 \text{ mV};$$

$$\Delta V_2 = (D_{\text{ADC}}/G_2)/2^n = (20 \text{ V} / 100) / 16384 = 12 \text{ } \mu\text{V};$$

$$\Delta V_3 = (D_{\text{ADC}}/G_3)/2^n = (20 \text{ V} / 2) / 16384 = 0.61 \text{ mV};$$

$$\Delta V_4 = (D_{\text{ADC}}/G_4)/2^n = (20 \text{ V} / 2) / 16384 = 0.61 \text{ mV};$$

2c) No, perché la temperatura del forno è troppo alta per entrambi questi sensori.

(40 min)

Esercizio 3

(svolgere su questo foglio e sul retro)

3) Con un analizzatore di spettro a eterodina si misura lo spettro risultante dalla somma di un primo segnale sinusoidale a **102.5 MHz**, con **ampiezza efficace 200 μV** , e un secondo segnale $v_2=(7 \mu\text{V})\cos[2\pi(0.109\times 10^9 \text{ Hz})t+3.14 \text{ mrad}]$.

Il primo segnale presenta, attorno alla portante a 102.5 MHz, due bande laterali di modulazione a $\pm 1500 \text{ kHz}$ dalla portante con livello -30 dBc. L'analizzatore di spettro ha una figura di rumore di 27 dB.

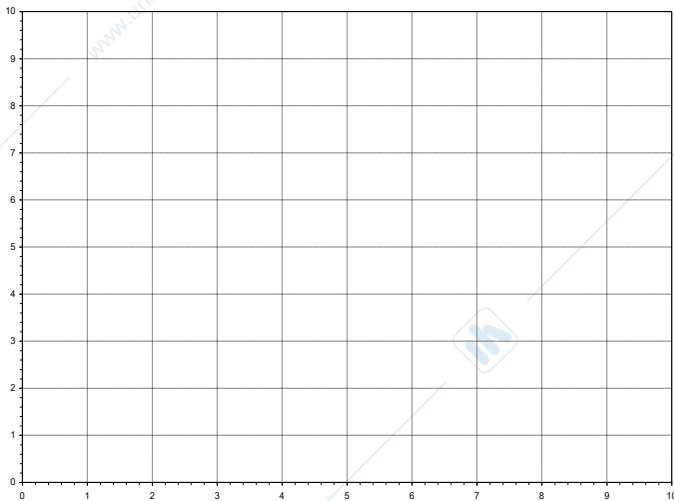
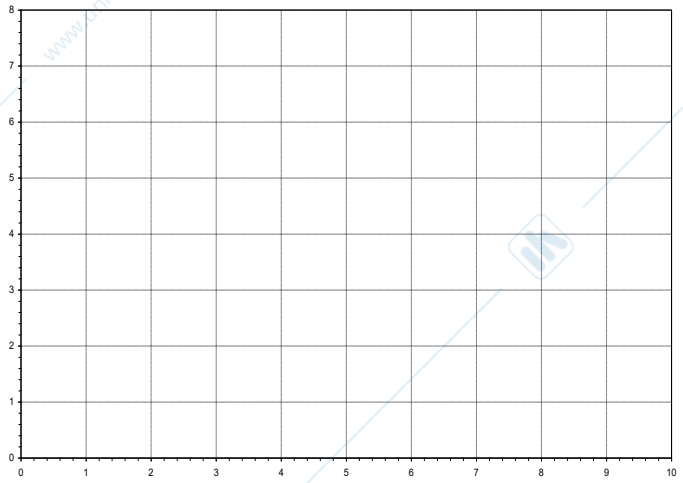
3a) Si calcolino tutti i livelli di potenza di segnale, alle diverse frequenze, esprimendoli in dBm.

3b) Si scelgano le impostazioni dello strumento al fine di minimizzare il tempo di scansione, visualizzando però "bene" i diversi segnali (risolti in frequenza e superiori al fondo di rumore).

3c) Si riporti il grafico della misura spettrale.

3d) Vogliamo misurare lo stesso segnale con un oscilloscopio digitale, dopo un amplificatore di 20 dB. Si descrivano le impostazioni dell'oscilloscopio e se ne disegni la schermata corrispondente.

Nota: La costante di Boltzmann è $k=1.38\times 10^{-23} \text{ J/K}$

ANALIZZATORE DI SPETTRO**OSCILLOSCOPIO**

$$3a) P_1 = \frac{V_{1,\text{eff}}^2}{R} = \frac{(200 \times 10^{-6} \text{ V})^2}{50 \Omega} = 8 \times 10^{-10} \text{ W} = \mathbf{800 \text{ pW}}$$
 corrispondenti a **-61 dBm** a $f_1=102.5 \text{ MHz}$, con due

bande laterali di potenza $P_{\text{SB1}}=P_1-30 \text{ dB}=\mathbf{-91 \text{ dBm}}$ ciascuna alle frequenze **101 MHz** e **104 MHz**

$$P_2 = \frac{V_2^2}{2R} = \frac{(7 \times 10^{-6} \text{ V})^2}{100 \Omega} = 49 \times 10^{-14} \text{ W} \cong \mathbf{0.5 \text{ pW}}$$
 corrispondenti a **-93 dBm** a frequenza $f_2=109 \text{ MHz}$

3b) La minima frequenza da visualizzare è 101 MHz e la massima è 109 MHz, pertanto conviene scegliere per la scansione orizzontale $f_{\text{START}}=100 \text{ MHz}$ e $f_{\text{STOP}}=110 \text{ MHz}$, dunque con **SPAN=10 MHz**.

La scelta della *resolution bandwidth* condiziona la risoluzione e il fondo di rumore. Essendo la minima differenza di frequenza pari a 1.5 MHz, possiamo scegliere una *resolution bandwidth* $RBW=100 \text{ kHz}$. Con tale valore di RBW si ottiene un fondo di rumore che consente di visualizzare anche il più piccolo segnale:

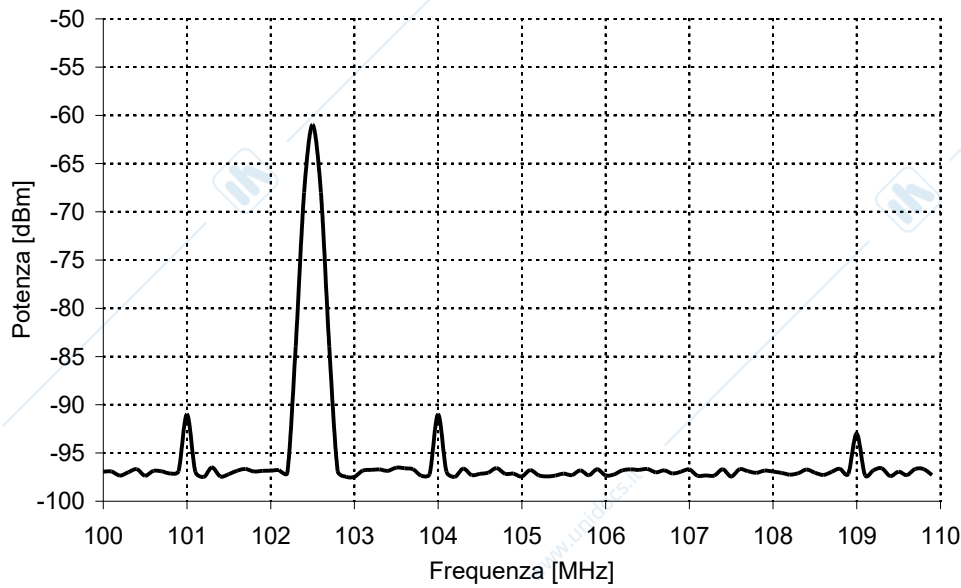
$$P_{\text{FLOOR}}=NF \cdot kT \cdot RBW = +27 \text{ dB} - 174 \text{ dBm/Hz} + 50 \text{ dB} \cdot \text{Hz} = \mathbf{-97 \text{ dBm}}$$

Con la RBW scelta il segnale più piccolo è 4 dB al di sopra del fondo di rumore.

Il massimo livello di potenza da visualizzare è $P_1=-61 \text{ dBm}$ mentre il minimo è $P_{\text{FLOOR}}=-97 \text{ dBm}$, pertanto conviene scegliere un *reference level* $RL=-50 \text{ dBm}$ con amplificazione verticale $A_y=5 \text{ dB/DIV}$ e conseguente

dinamica di visualizzazione da -50 dBm fino a -100 dBm (anche $RL=-60$ dBm potrebbe andare bene, con un fondo di visualizzazione a -110 dBm, oppure 4 dB/DIV).

3c)



Tutte le righe spettrali visualizzate hanno una piena larghezza a metà altezza (FWHM) dal picco che è uguale a $RBW=100$ kHz (1/10 di divisione a -3dB dal picco)

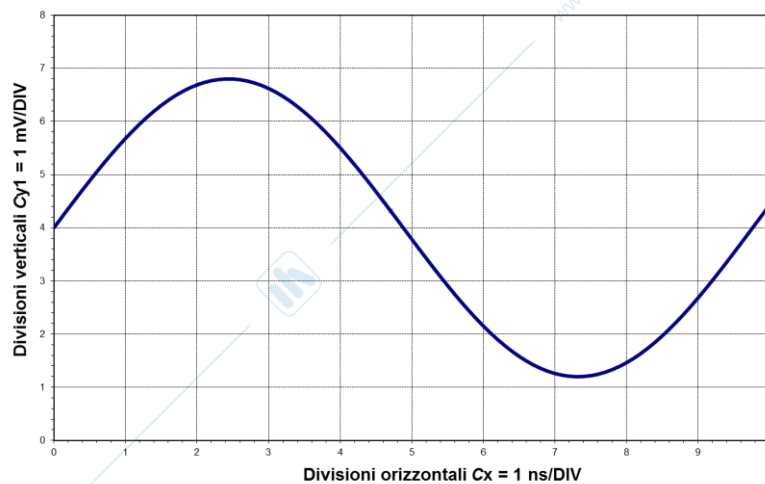
3d) Il segnale è composto da più componenti spettrali, però solo quella a 102.5 MHz ha un'ampiezza tale da poter essere misurata da un oscilloscopio: dopo l'amplificazione di 20 dB (fattore 10 in tensione) la sua ampiezza di picco è pari a $200 \mu V \cdot 10 \cdot \sqrt{2} = 2.8$ mV.

Connettiamo il segnale su CH1, in DC.

Trigger in DC su CH1, level 0V, slope positiva, posto a inizio schermo

Amplificazioni verticale: **1 mV/DIV**.

Amplificazione orizzontale: **1 ns/DIV** (così si visualizza poco più di un periodo).



(20 min)

Esercizio 4

(svolgere su questo foglio e sul retro)

4) Un voltmetro integratore a doppia rampa che fornisce 25 letture al secondo presenta un tempo di salita $T_{up} = 15$ ms e lavora ad una frequenza di clock $f_{clock} = 10$ MHz, con una tensione interna di riferimento con modulo $|V_r| = 15$ V.

4a) Si ricavi il fondo scala di questo voltmetro.

4b) Si ricavi la risoluzione dimensionale e il numero di livelli del voltmetro che ha una dinamica bipolare.

4c) Si ricavino le frequenze di massima reiezione del voltmetro. Si calcoli la reiezione ad un disturbo a 350 Hz.

4d) Intendiamo impiegare il voltmetro per misurare un segnale inferiore a 1 mV. Come conviene effettuare la connessione con il voltmetro, al fine di minimizzare i disturbi?

Nota: il voltmetro è progettato in modo da avere la migliore risoluzione possibile, dato $T_{up} = 15$ ms e le 25 letture al secondo.

4a) Alla tensione di fondo scala del voltmetro corrisponde un tempo di discesa pari al massimo tempo di discesa disponibile per il voltmetro. Il tempo di una singola conversione è:

$$T_{conv} = T_{up} + T_{down, max} = 1/f_{conv} = 40 \text{ ms.}$$

Il tempo massimo di discesa sarà quindi: $T_{down, max} = T_{conv} - T_{up} = 25$ ms.

Il legame che sussiste tra tensione in ingresso e il tempo di discesa è esprimibile come: $V_{in} = -(T_{down}/T_{up})V_r$.

La tensione di fondo scala misurata da questo voltmetro sarà quindi:

$$V_{in, max} = -(T_{down, max}/T_{up})V_r = (25 \text{ ms} / 15 \text{ ms}) \cdot 15 \text{ V} = \mathbf{25 \text{ V.}}$$

4b) Il numero di livelli contati in salita è: $N_{up} = T_{up} / T_{clock} = 150\,000$. La risoluzione dimensionale ΔV dello strumento è ricavabile sapendo individuerà anche la minima tensione misurabile (un singolo conteggio della rampa di discesa): $\Delta V = (N_{down, min}/N_{up}) \cdot V_r = \mathbf{100 \text{ } \mu\text{V.}}$

Il numero di livelli è il doppio del massimo conteggio di discesa (dinamica bipolare):

$$N_{down, max} = T_{down, max} / T_{clock} = 250\,000 \text{ (ovviamente uguale al fondo scala diviso } \Delta V)$$

Per cui $N = 2 N_{down, max} = \mathbf{500\,000.}$

4c) Le frequenze di massima reiezione del voltmetro sono tutte le frequenze il cui periodo è un multiplo intero del periodo d'integrazione. Quindi le frequenze di reiezione sono: $f_{int} = 1 / T_{up} = 66.67$ Hz e tutti i suoi multipli interi.

La reiezione, in ampiezza, ad un generico disturbo a frequenza f vale $R = \frac{\pi f T_{up}}{|\text{sen}(\pi f T_{up})|}$ e dunque, alla

frequenza di 350 Hz la reiezione vale:

$$R = \frac{\pi f T_{up}}{|\text{sen}(\pi f T_{up})|} \cong 23 \text{ corrispondente a circa } 27 \text{ dB}$$

4d) Si può utilizzare un doppino intrecciato e schermato, con schermo connesso a massa solo da un lato. L'intreccio è utile per minimizzare gli accoppiamenti induttivi, la schermatura attenua gli accoppiamenti capacitivi.

Esercizio ____ (continua)

[foglio aggiuntivo per eventuale esercizio "lungo"]

INDICARE IL RICHIAMO IN FONDO ALLA PAGINA DELL'ESERCIZIO CORRISPONDENTE

www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari

www.unidocs.it - Appunti e dispense per superare i tuoi esami universitari