12/04/2010

P2-1

QUADRO DEI DATI

PD $\eta = 50\%$ a $\lambda = 620\,nm \longrightarrow S_{PD} = \eta \frac{\lambda}{1{,}24} = 0{,}25 \frac{A}{W}$

$I_B = 1\,pA$

$S_{i_B}^{1/2} = \sqrt{2 q I_B} = 5{,}7 \cdot 10^{-4}\, pA/\sqrt{Hz}$

PMT S20 $\eta = 4\%$ a $\lambda = 620\,nm \longrightarrow S_{PMT} = \eta \frac{\lambda}{1{,}24} = 0{,}02 \frac{A}{W}$

$G > 5 \cdot 10^6$

corrente di buio al catodo $n_B = 50\ el/s \qquad I_B = q\, n_B = 8 \cdot 10^{-18} A$

$S_{i_B}^{1/2} = \sqrt{2 q I_B} = q\sqrt{2 n_B} = 1{,}6\ 10^{-18} A/\sqrt{Hz}$

$= 1{,}6 \cdot 10^{-6}\, pA/\sqrt{Hz}$

Carico $R_L = 40\,K\Omega \qquad C_L = 1\,pF \qquad T_L = 40\,ns$

$S_{i_L}^{1/2} = \sqrt{\frac{4KT}{R_L}} = 0{,}63\, pA/\sqrt{Hz}$

Preamplificatore

$S_{i_A}^{1/2} = 1\,pA/\sqrt{Hz}$ con $f_c = 1\,KHz$

$S_{v_A}^{1/2} = 2\,nV/\sqrt{Hz} \longrightarrow S_{i_{A2}}^{1/2} = \frac{S_{v_A}^{1/2}}{R_L} = 0{,}05\, pA/\sqrt{Hz}$

Rumore dei circuiti

$S_{ie} = S_{i_L} + S_{i_A} + \frac{S_{vA}}{R_L^2} =$

$= (0{,}63^2 + 1 + 0{,}05^2) \frac{(pA)^2}{Hz} = 1{,}4\ \frac{(pA)^2}{Hz}$

$S_{ie}^{1/2} = 1{,}2\ pA/\sqrt{Hz}$

Potenza ottica del fascio laser

$p_L(t) = P_L + a P_L \cos(2\pi f_0 t)$ con $f_0 = 100\,KHz$, $a = 0{,}1$

Potenza ottica incidente sul rivelatore

$p_T(t) = T(t)\ p_L(t)$

SEGNALE DA RILEVARE

- Le componenti sinusoidali trasmesse è

$$p_{Tm}(t) = T(t)\, a\, P_L \cos 2\pi f_0 t = P_T(t) \cos 2\pi f_0 t$$

- Variazioni di $T(t)$ sono rilevabili a intervalli $T_s \geq 0{,}2\,s$
- le componenti in frequenza significative di $T(t)$ sono: fino a $f_T \simeq \frac{1}{T_s} = 5\ Hz$
- le componenti in frequenza significative del segnale ottico trasmesso sono entro una banda $(f_0 - f_T) \longmapsto (f_0 + f_T)$

RUMORE, utilizzando PD

Il rumore del circuito S_{ie} si confronta direttamente con la corrente di buio del PD e risulta nettamente dominante su S_{iB}

$$S_{ie} \gg S_{iB} \longrightarrow S_{iB} \text{ trascurabile}$$

RUMORE, utilizzando PMT

Il rumore del circuito si confronta con quello di corrente di buio del PMT amplificata da $G > 5 \cdot 10^6$ Riportata al catodo del PMT risulta quindi trascurabile

$$\frac{S_{ie}^{1/2}}{G} \leq 0{,}24 \cdot 10^{-6} \frac{pA}{\sqrt{Hz}} \ll S_{iB}^{1/2} = 1{,}6 \cdot 10^{-6} \frac{pA}{\sqrt{Hz}}$$

Con il PMT il rumore <u>non</u> dipendente dalla fotocorrente è dominato dalla corrente di buio S_{iB} -

Occorre però verificare se occorre tener conto anche del rumore della fotocorrente o no -

a) con Filtro passabanda a parametri costanti

Per frequenza di accordo $f_0 = 100\ KHz$ si può ottenere Q abbastanza alto, tipicamente

$$Q = 10$$

La banda per il segnale attorno a f_0:

$$\Delta f_S = \frac{f_0}{Q} = 10\ KHz$$

è ben maggiore di quella $2f_T = 10\ Hz$ del segnale modulato

La banda per il rumore è

$$\Delta f_n = \frac{\pi}{2} \Delta f_S = 15{,}7\ KHz$$

Il rumore in uscita del filtro è

$$\sqrt{\overline{i_n^2}} = \sqrt{S_{ie} \Delta f_n} = S_{ie}^{1/2} \sqrt{\Delta f_n} = 150\ pA$$

La minima corrente modulata misurabile è

$$I_{M,min} = \sqrt{\overline{i_n^2}} = 150\ pA$$

a cui corrisponde una minima potenza ottica modulata misurabile

$$P_{T\,min} = \frac{I_{M,min}}{S_{PD}} = 600\ pW$$

Dato che la potenza trasmessa è

$$P_T = a P_L T \quad (\text{con } a = 0{,}1)$$

per arrivare a misurare con $T = 10^{-3}$ occorre

$$P_L \geq \frac{P_{T\,min}}{aT} = 10^4 P_{T\,min} = 6\ \mu W$$

b) <u>con Lock-in amplifier (LIA)</u>

- Il segnale a $f_0 = 100\,KHz$ che comanda il modulatore elettro-ottico viene usato come riferimento per il LIA.

- La frequenza di taglio f_p del filtro passabasso nel LIA deve essere adeguatamente maggiore di quella f_T del segnale $T(t)$. Assumiamo

$$f_p = 10\, f_T = 50\,Hz$$

e quindi con filtro passabasso a 1 polo la banda di rumore f_L risulta

$$f_L = \frac{\pi}{2} f_p = 78\ Hz$$

Tenuto conto della selezione in frequenza e fase operata dal LIA si ha

$$\frac{S}{N} = \frac{I_M}{\sqrt{2 S_{ie} f_L}}$$

e quindi

$$I_{M\,min} = S_{ie}^{1/2} \sqrt{2 f_L} = 15\ pA$$

$$P_{T\,min} = \frac{I_{M\,min}}{S_{PD}} = 60\ pW$$

$$P_L \geq \frac{P_{T\,min}}{a\,T} = 10^4 P_{T\,min} = 600\ nW$$

c) con PMT il rumore costante (non dipendente dalla fotocorrente) è dominato dalla corrente di buio S_{iB} -

In uscita dal filtro

$$\sqrt{\overline{i_n^2}} = S_{iB}^{1/2} \sqrt{\Delta f_n} = 2 \cdot 10^{-16} \text{ A}$$

Minima fotocorrente modulata misurabile con filtro passabanda

$$I_{M,min} = \sqrt{\overline{i_n^2}} = 2 \cdot 10^{-16} \text{ A}$$

Attenzione : $I_{M,min} >> I_B$!!

Si noti inoltre che la fotocorrente è

$$i_p(t) = I_p + I_M \cos(2\pi f_0 t)$$

$$I_M = a I_p \qquad \text{con } a = 0{,}1$$

Quindi la fotocorrente media è

$$I_p = \frac{I_M}{a} >>> I_B$$

Conclusione: se $I_p >> I_B$ anche il rumore di I_p è >> di quello di I_B - In queste condizioni il ruolo del rumore di I_B è trascurabile e la minima corrente misurabile è limitata dal rumore di fotocorrente

$$\frac{S}{N} \simeq \frac{I_M}{\sqrt{2q I_p \Delta f_n}} = \frac{I_M}{\sqrt{2q \frac{I_M}{a} \Delta f_n}}$$

$$I'_{M,min} = 2q \frac{\Delta f_n}{a} = 5 \cdot 10^{-14} \text{ A}$$

N.B. Si verifica che $I'_{M,min} >> I_{M,min}$ prima calcolata!

12/07/2010

P2 - 6

$$P_{T\,min} = \frac{I'_{M,min}}{S_{PMT}} = 2{,}5\ pW$$

$$P_L \geq \frac{P_{T\,min}}{a T} = 10^4 P_{T\,min} = 25\ nW$$

Per verifica ulteriore, si può valutare $\left(\frac{S}{N}\right)$ tenendo conto di entrambe le componenti di rumore, (quella dipendente e la non dipendente dalla fotocorrente).

$$\left(\frac{S}{N}\right) = \frac{I_M}{\sqrt{2q I_p \Delta f_n + 2q I_B \Delta f_n}} =$$

$$= \frac{I_M}{\sqrt{2q \frac{I_M}{a} \Delta f_n + 2q I_B \Delta f_n}}$$

Da $\left(\frac{S}{N}\right) = 1$ si ricava

$$I_M = q \frac{\Delta f_n}{a} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{2 n_B a}{\Delta f_n}}\right)$$

che mostra come il risultato sopra ottenuto è una approssimazione valida nei casi in cui la banda di filtraggio Δf_n sia abbastanza ampia da risultare

$$\Delta f_n \gg 2 n_B a = 10\ Hz$$

Con il filtro passabanda visto in (a) si ha

$$\Delta f_n = 15{,}7\ KHz$$

e l'approssimazione è valida