

## COMUNICAZIONI ELETTRICHE A

Laurea Triennale in Ingegneria Elettronica, Informatica e delle Telecomunicazioni

**Prova intermedia del 25/11/2009**

**Tempo a disposizione: 2 ore**

Si vogliono trasmettere quattro segnali  $x_i(t)$ ,  $i = 1, 2, 3, 4$ , di banda  $B = 10$  kHz e potenza  $P_s = 0.5 \text{ V}^2$  ciascuno. I segnali vengono quindi prima modulati, utilizzando lo stesso formato di modulazione per tutti e quattro i segnali, e poi multiplati in frequenza lasciando tra due segnali adiacenti una banda di guardia pari al 10% della banda dei segnali modulati. Le modulazioni considerate sono le seguenti: (i) la modulazione DSB; (ii) la modulazione FM con  $f_\Delta = 100$  kHz; (iii) la modulazione PM con  $\phi_\Delta = \pi/3$  rad.

1. Si calcoli la banda complessivamente occupata dopo la multiplazione e la distanza tra due portanti successive nel caso dei tre formati di modulazione.
2. Si disegnino gli schemi a blocchi del trasmettitore e del ricevitore, lasciando indicati modulatori e demodulatori come un unico blocco.
3. Nel caso della modulazione FM si esprima, dettagliando i calcoli, il rapporto segnale-rumore all'uscita di un singolo demodulatore in funzione delle varie grandezze e parametri del sistema (domanda di teoria).
4. Si ripeta lo stesso calcolo del punto precedente nel caso della modulazione PM.
5. Nel caso di utilizzo della modulazione DSB, si misura il rapporto segnale-rumore all'uscita di un singolo demodulatore e si trova essere pari a 20 dB. A parità di potenza utile ricevuta e di densità spettrale di potenza del rumore, si calcoli il rapporto segnale-rumore all'uscita di ogni singolo demodulatore FM.
6. Si ripeta lo stesso calcolo del punto precedente per ogni singolo modulatore PM.

**Risultati e soluzione:** <http://www.tlc.unipr.it/people/serena>

**Soluzione:**

La banda del singolo segnale modulato dipende dal tipo di modulazione utilizzata. In particolare è

$$\begin{aligned} B_{DSB} &= 2B = 20 \text{ kHz} \\ B_{FM} &\simeq 2(f_\Delta + B) = 220 \text{ kHz} \\ B_{PM} &\simeq 2(\phi_\Delta + 1)B = 41 \text{ kHz}. \end{aligned}$$

1. La banda complessiva dopo la multiplazione sarà quindi, nei tre casi

$$\begin{aligned} B_{c1} &= 4B_{DSB} + 3 \cdot 0.1 \cdot B_{DSB} = 4.3B_{DSB} = 86 \text{ kHz} \\ B_{c2} &= 4.3B_{FM} = 946 \text{ kHz} \\ B_{c3} &= 4.3B_{PM} = 176.3 \text{ kHz}. \end{aligned}$$

La distanza  $\Delta F$  tra due portanti successive è, nei tre casi

$$\begin{aligned} \Delta F_1 &= 2B_{DSB}/2 + 0.1B_{DSB} = 1.1B_{DSB} = 22 \text{ kHz} \\ \Delta F_2 &= 1.1B_{FM} = 242 \text{ kHz} \\ \Delta F_3 &= 1.1B_{PM} = 45.1 \text{ kHz}. \end{aligned}$$

2. Gli schemi a blocco del trasmettitore e del ricevitore sono mostrati in Fig. 1. Il singolo modulatore ed il singolo demodulatore in figura saranno ovviamente diversi a seconda del tipo di modulazione adottata, così come anche le frequenze delle portanti. BPF è un filtro passa-banda di banda pari a quella del segnale modulato e centrato sulla frequenza della portante  $i$ -esima.

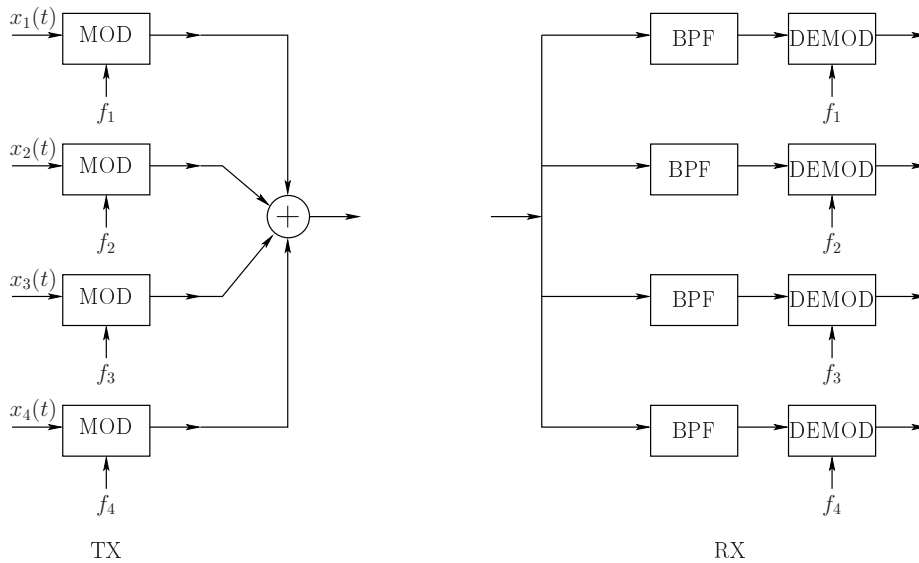


Figura 1:

3. Domanda di teoria. Come è noto, indicando con  $P_s$  la potenza del segnale modulante, con  $A_0$  l'ampiezza della portante al ricevitore e con  $N_0/2$  la densità spettrale di potenza del rumore, è

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{u,FM} = \frac{3f_\Delta^2 P_s A_0^2}{2N_0 B^3} = \frac{3f_\Delta^2 P_s P_{RX}}{N_0 B^3}$$

avendo indicato con  $P_{RX} = A_0^2/2$  la potenza di segnale utile ricevuta.

4. Domanda di teoria. Come è noto, è

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{u,PM} = \frac{\phi_\Delta^2 P_s A_0^2}{2N_0 B} = \frac{\phi_\Delta^2 P_s P_{RX}}{N_0 B}.$$

5. Nel caso in cui si utilizzi la modulazione DSB, il segnale ricevuto è

$$A_0 s(t) \cos 2\pi f_0 t + n(t).$$

La potenza ricevuta è quindi  $P_{RX} = A_0^2 P_s / 2$ . All'uscita del demodulatore si ha invece

$$A_0 s(t) + n_i(t)$$

dove  $n_i(t)$  è la componente in fase del rumore che, come noto, ha densità spettrale di potenza  $N_0$  nella banda del segnale. Il rapporto segnale-rumore all'uscita del demodulatore DSB è quindi

$$\left( \frac{S}{N} \right)_{u,DSB} = \frac{A_0^2 P_s}{2 N_0 B} = \frac{P_{RX}}{N_0 B}.$$

Poiché è

$$\left( \frac{S}{N} \right)_{u,DSB} = 100 \text{ (20 dB)}$$

abbiamo

$$\left( \frac{S}{N} \right)_{u,FM} = 100 \frac{3 f_{\Delta}^2 P_s}{B^2} = 15000 \text{ (41.76 dB)}.$$

6. Nel caso della modulazione PM è invece

$$\left( \frac{S}{N} \right)_{u,PM} = 100 \phi_{\Delta}^2 P_s = 54.83 \text{ (17.39 dB)}.$$