

## Comunicazioni elettriche A - Prof. Giulio Colavolpe

Compito n. 3

**3.1** Lo schema di Fig. 1 è un modulatore FM (a banda larga). L'oscillatore che genera la portante per il modulatore FM e per la conversione di frequenza opera alla frequenza  $f_0 = 200$  kHz. Il modulatore NBFM è caratterizzato dal parametro  $f_\Delta = 100$  Hz. Si desidera che l'uscita  $y(t)$  del modulatore complessivo abbia frequenza portante pari a 108 MHz e deviazione massima di frequenza di 90 kHz.

- Si scelgano i parametri  $n$  e  $m$  dei moltiplicatori di frequenza in modo da soddisfare le specifiche.
- Se l'oscillatore genera la portante a frequenza  $200 \text{ kHz} \pm 1 \text{ Hz}$ , di quanto varia la frequenza della portante di  $y(t)$ ?
- Se il segnale  $y(t)$  deve avere la frequenza della portante a  $108 \text{ MHz} \pm 1 \text{ Hz}$ , di quanto può variare la frequenza dell'oscillatore a 200 kHz?

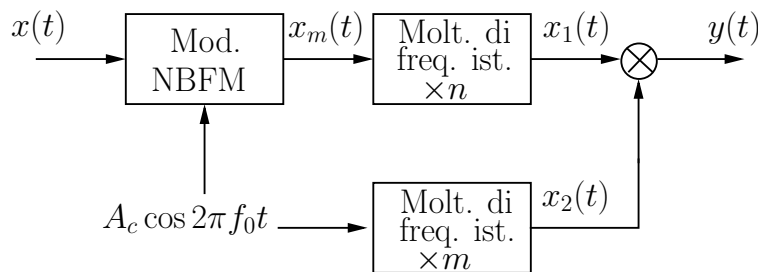


Figura 1:

**3.2** Nel modulatore di Fig. 2, il blocco NL è non lineare e privo di memoria con caratteristica ingresso-uscita  $v_{out} = av_{in}^2$ . Il filtro  $H(f)$  è passa banda ideale di banda  $3f_m$  attorno a  $f_0 = 10f_m$ . Il segnale modulante è  $x(t) = A_m \cos 2\pi f_m t$  mentre il segnale portante è  $p(t) = A_c \cos 2\pi f_0 t$ .

- Si dica sotto quali condizioni il segnale  $x_{c1}(t)$  può ritenersi un segnale modulato in fase e se ne disegni lo spettro in modo accurato
- Si descriva un possibile schema a blocchi per il moltiplicatore di frequenza istantanea  $\times n$ .
- Si determini il segnale  $x_{c2}(t)$  e se ne disegni lo spettro per  $n = 2$  in modo accurato.

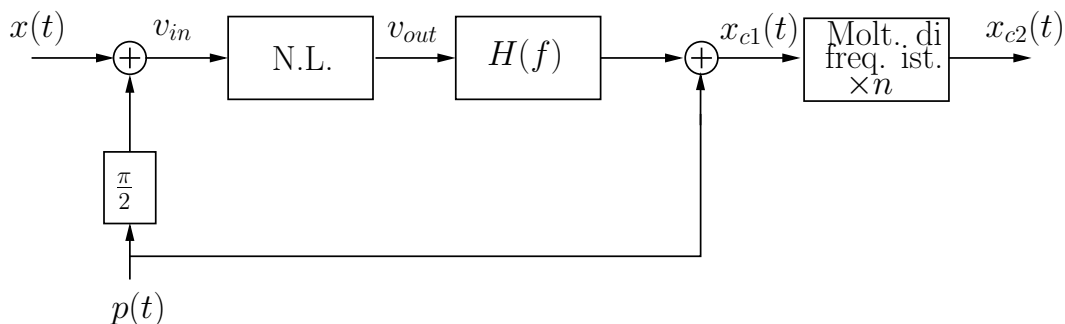


Figura 2:

**3.3** In un sistema di comunicazione analogico, si effettua una moltiplicazione a divisione di frequenza di 2 segnali,  $x_{c1}(t)$  e  $x_{c2}(t)$ , ottenuti modulando in frequenza, con deviazione di frequenza massima  $f_{\Delta 1} = 17 \cdot 10^6$  e  $f_{\Delta 2} = 28 \cdot 10^6$ , due segnali,  $x_1(t)$  e  $x_2(t)$ , di banda rispettivamente  $B_1 = 500$  kHz e  $B_2 = 2$  MHz. Il canale ha una banda limitata  $B_c$  intorno alla frequenza  $f_0 = 1$  GHz. Determinare il valore minimo di  $B_c$  e le frequenze portanti  $f_1$  e  $f_2$  dei due segnali modulati.

**3.4** In una trasmissione via satellite si vuole trasmettere un segnale televisivo di banda  $B = 5$  MHz. Nella tratta in salita (dal trasmettitore Tx al satellite S) si ha a disposizione una banda  $B_c = 500$  MHz intorno alla frequenza  $f_1 = 8$  GHz. Sulla tratta in discesa (da S al ricevitore Rx) si ha a disposizione la stessa banda  $B_c$  ma intorno alla frequenza  $f_2 = 6$  GHz (si veda la Fig. 3).

- Si scelga la modulazione da utilizzare in trasmissione (in modo da impiegare tutta la banda a disposizione) e i relativi parametri.
- Si indichi un possibile schema a blocchi del dispositivo che deve essere presente a bordo del satellite.
- Si disegni lo schema a blocchi del ricevitore illustrando il funzionamento di ogni singolo blocco. Si tenga conto anche dei blocchi introdotti ai fini della riduzione del rumore.

Si tenga conto della presenza di altri utenti occupanti le bande adiacenti.

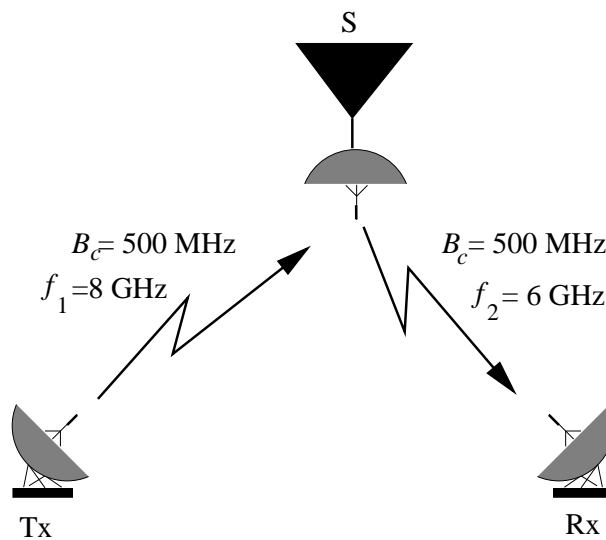


Figura 3:

**3.5** I segnali  $x_1(t)$  e  $x_2(t)$  di banda  $B = 4$  kHz, modulano contemporaneamente in ampiezza e frequenza una stessa portante  $p(t) = A_c \cos(2\pi f_0 t)$ , con  $f_0 = 1$  MHz. Il segnale modulato è dunque

$$x_c(t) = A_c [1 + \mu_a x_1(t)] \cos \left[ 2\pi f_0 t + 2\pi f_{\Delta} \int_{-\infty}^t x_2(\alpha) d\alpha \right]$$

e sia  $\mu_a = 1/3$  e  $f_{\Delta} = 10^4$  Hz.

- Determinare la banda di  $x_c(t)$ .
- Descrivere un possibile schema per rivelare i segnali  $x_1(t)$  e  $x_2(t)$ . Si tenga conto anche degli elementi introdotti ai fini della riduzione del rumore.

**3.6** Ad una emittente televisiva è assegnata la banda di 8 MHz compresa tra le frequenze 100 MHz e 108 MHz. Su tale banda deve trasmettere, senza sovrapposizione degli spettri, sia il segnale video (l'immagine), di banda 5 MHz, sia il segnale audio (il sonoro), di banda 8 KHz.

- Si indichi un possibile schema di trasmissione che consenta di trasmettere i due segnali occupando tutta la banda a disposizione, specificando i vari parametri dei modulatori utilizzati.
- In assenza di rumore, si indichi un possibile schema di ricevitore per entrambi i segnali.

**3.7** Si consideri un sistema di trasmissione che deve operare su una banda complessiva  $B_c = 1$  MHz. Su questo sistema si devono trasmettere  $N$  segnali analogici  $x_n(t)$  ( $n = 1, 2, \dots, N$ ), tutti di potenza  $P_x = 0.8$  e di banda  $B = 4$  kHz, utilizzando un'opportuna modulazione. Allo scopo si prendono in considerazione:

1. una modulazione FM a larga banda con  $f_\Delta = 40$  kHz;
2. una modulazione AM a portante soppressa (DSB)

operanti secondo lo schema mostrato in Fig. 4.

- Si valuti il numero massimo di canali  $N_{FM}$  e  $N_{AM}$ .
- Considerando separatamente i casi di impiego della modulazione FM ed AM e con riferimento al primo segnale modulato (frequenze portanti  $f_1$  e  $f_2$ ):
  - (a) Indicare uno schema a blocchi di trasmissione in cui sia evidenziata la portante, il segnale modulante e l'espressione analitica del segnale modulato.
  - (b) Il segnale modulato viene trasmesso su un canale con attenuazione 20 dB (il canale attenua in potenza di un fattore 100 il segnale trasmesso). Progettare in modo dettagliato un ricevitore completo che rivela il segnale in presenza di rumore additivo gaussiano bianco, massimizzando i rapporti  $S_i/N_i$  e  $S_u/N_u$ .
  - (c) Si assuma che la densità spettrale di rumore valga  $N_0/2 = 50 \cdot 10^{-9} \text{ Hz}^{-1}$ . Calcolare la potenza necessaria in trasmissione (potenza del segnale modulato in uscita dal trasmettitore) affinché sia soddisfatta la specifica  $S_u/N_u \geq 36 \text{ dB}$ . Verificare, nel caso di trasmissione FM, di essere sopra soglia assumendo  $(S_i/N_i)_{th} = 10 \text{ dB}$ .
  - (d) Valutare il rapporto tra la potenza trasmessa nel caso FM e nel caso AM.
- Progettare uno schema di generazione degli  $N_{AM}$  segnali modulati nel caso AM utilizzando un solo generatore di portante a frequenza  $f_2$  e supponendo  $f_2 = kB$  con  $k$  numero intero.

**3.8** In Fig. 5 è mostrato uno schema di trasmissione e ricezione di un segnale televisivo. Il segnale video  $v(t)$  è trasmesso utilizzando una modulazione VSB con portante  $f_1$  mentre il segnale audio  $a(t)$  è trasmesso utilizzando una modulazione di fase a banda stretta (NBPM) con portante  $f_2$ . Il segnale video ha banda  $B_1 = 4$  MHz e potenza  $P_1$ , mentre il segnale audio ha banda  $B_2 = 100$  kHz e potenza  $P_2$ . Il rumore  $w(t)$  è gaussiano bianco con densità spettrale di potenza  $N_0/2$ . Il filtro vestigiale  $H(f)$  ha risposta in frequenza (per  $f \geq 0$ )

$$H(f) = \begin{cases} 1 + \sin \left[ \frac{\pi(f-f_1)}{2B_v} \right] & f_1 - B_v < f < f_1 + B_v \\ 2 & f_1 + B_v < f < f_1 + B_1 \\ 0 & \text{altrove} \end{cases}$$

con  $B_v = 2$  MHz.

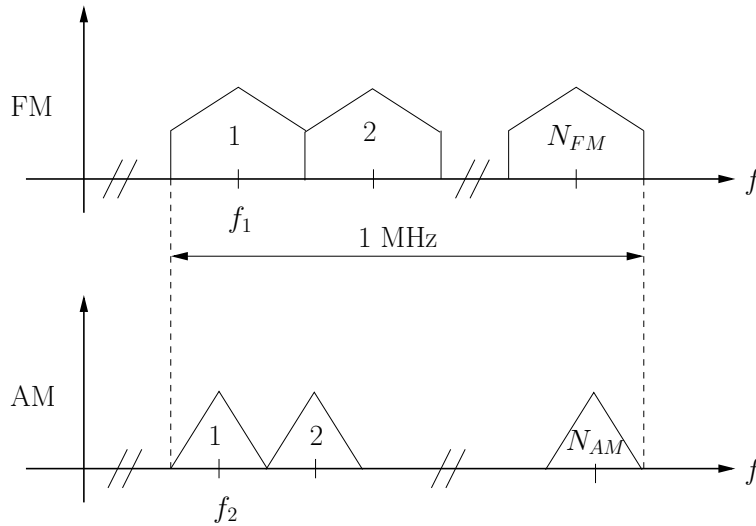


Figura 4:

- Si determini la frequenza portante  $f_2 < f_1$  affinché il segnale passa banda  $x(t)$  abbia la minima occupazione di banda mantenendo la separabilità dei segnali audio e video e sapendo che  $f_1 = 100$  MHz.
- Si disegni lo schema a blocchi di un modulatore VSB equivalente a quello dato e impiegante solo filtri passa basso.
- Si dimensionino i filtri passa banda ideali  $Q_1(f)$  e  $Q_2(f)$  e quelli passa basso  $G_1(f)$  e  $G_2(f)$  dei demodulatori usati per la rivelazione di  $v(t)$  (ramo superiore) e  $a(t)$  (ramo inferiore) rappresentando gli spettri del segnale e del rumore nelle varie sezioni.
- Si determinino i rapporti segnale-rumore  $S_u/N_u$  nei due rami di ricezione.

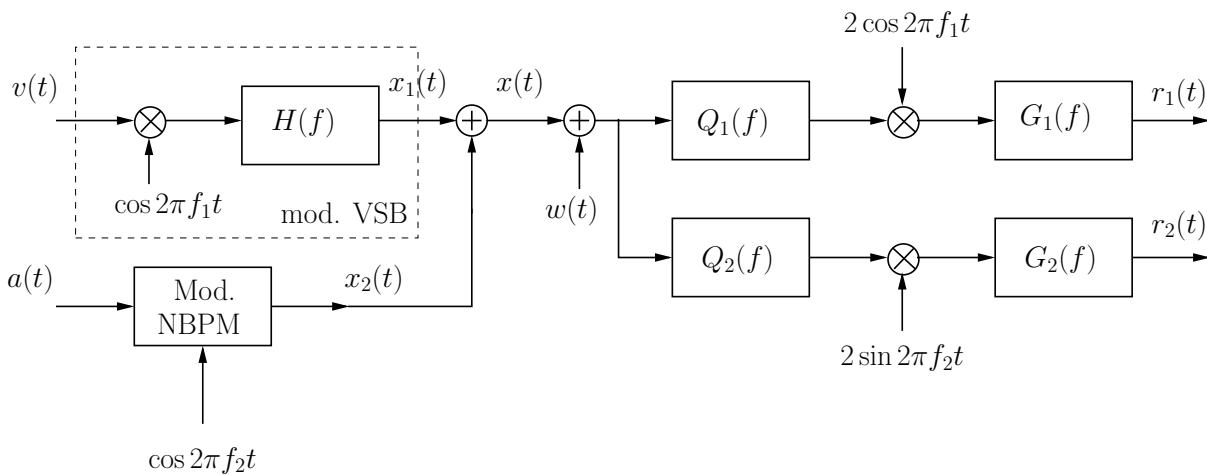


Figura 5:

**3.9** Un segnale  $s(t)$  di banda  $B = 120$  kHz e potenza  $P_s = 1$  V<sup>2</sup> è modulato in frequenza con deviazione  $f_\Delta$ , frequenza della portante  $f_0$  ed ampiezza della portante  $A_0$ . Il canale su cui tale segnale modulato è trasmesso ha banda  $B_c = 1$  MHz tra le frequenze 100 MHz e 101 MHz ed introduce anche rumore additivo gaussiano bianco con densità spettrale di potenza  $N_0/2$  con  $N_0 = 10^{-7}$  V<sup>2</sup>/Hz.

1. Si calcolino  $f_0$  e  $f_\Delta$  in modo da occupare interamente la banda del canale.

2. Si progetti in modo dettagliato un ricevitore completo che rivela il segnale in presenza di rumore massimizzando i rapporti segnale-rumore  $S_i/N_i$  e  $S_u/N_u$  all'ingresso ed all'uscita del demodulatore.
3. Se il canale di trasmissione attenua di 10 dB, si calcoli l'ampiezza della portante  $A_0$  in modo da garantire un rapporto segnale-rumore  $S_u/N_u = 40$  dB. Si verifichi di essere al di sopra della soglia del ricevitore [ $(S_i/N_i)_{th} = 15$  dB].

**3.10** I segnali  $s_i(t)$ ,  $i = 1, 2, 3$ , ciascuno di banda  $B = 4$  kHz, modulano in ampiezza, con indice di modulazione  $\mu = 0,5 \text{ V}^{-1}$ , rispettivamente tre portanti a frequenza  $f_i$ ,  $i = 1, 2, 3$ , con  $f_1 = 100$  kHz,  $f_2 = f_1 + 2B$ ,  $f_3 = f_1 + 4B$  e sono poi multiplati in frequenza. Il segnale composito, normalizzato ad ampiezza massima unitaria, modula in frequenza, con indice di modulazione  $f_\Delta = 1$  MHz, una portante a frequenza  $f_0 = 100$  MHz.

1. Si determini la banda del segnale FM.
2. Si disegni lo schema a blocchi di un ricevitore per i tre segnali  $s_i(t)$  dimensionando opportunamente i filtri passa banda e passa basso ideali presenti.

**3.11** Si consideri il ricevitore per segnali DSB riportato in Fig. 6. Il rumore  $n(t)$  è gaussiano bianco con densità spettrale di potenza  $N_0/2 = 0,5 \cdot 10^{-8} \text{ V}^2/\text{Hz}$ . Il filtro di prerivelazione  $H_1(f)$  è passa banda ideale di banda  $2B = 1$  MHz attorno alla frequenza  $f_0$ . Il filtro  $H_2(f)$  è passa basso ideale di banda  $B$ . Il demodulatore è affetto da un errore  $\theta(t) = 2\pi\Delta f t + \theta_0$  nella fase della portante ricostruita con  $\Delta f = 100$  kHz e  $\theta_0 = \pi/4$  rad.

1. Si ricavi l'espressione della densità spettrale di potenza della componente di rumore in uscita dal ricevitore e la si rappresenti graficamente.
2. Si calcoli la potenza di rumore in uscita dal ricevitore.

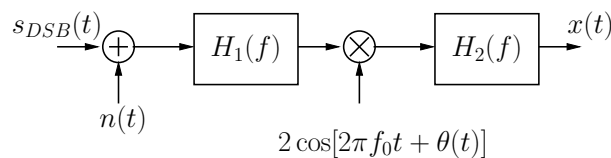


Figura 6:

**3.12** In un sistema di trasmissione analogico, il segnale  $m(t)$  modula in DSB una portante a frequenza  $f_0$ . In ricezione, la portante è ricostruita perfettamente in fase ma con un errore di frequenza pari a  $\Delta f$ .

1. In assenza di rumore, si calcoli l'espressione dello spettro del segnale all'uscita del demodulatore in funzione dello spettro del segnale  $m(t)$ .
2. Nell'ipotesi che sia  $\Delta f = 100$  Hz e che il segnale modulante  $m(t)$  sia un segnale telefonico (e quindi con spettro che si estende da 300 Hz a 3400 Hz), si disegni un possibile spettro per il segnale  $m(t)$  ed il corrispondente spettro del segnale all'uscita del demodulatore.